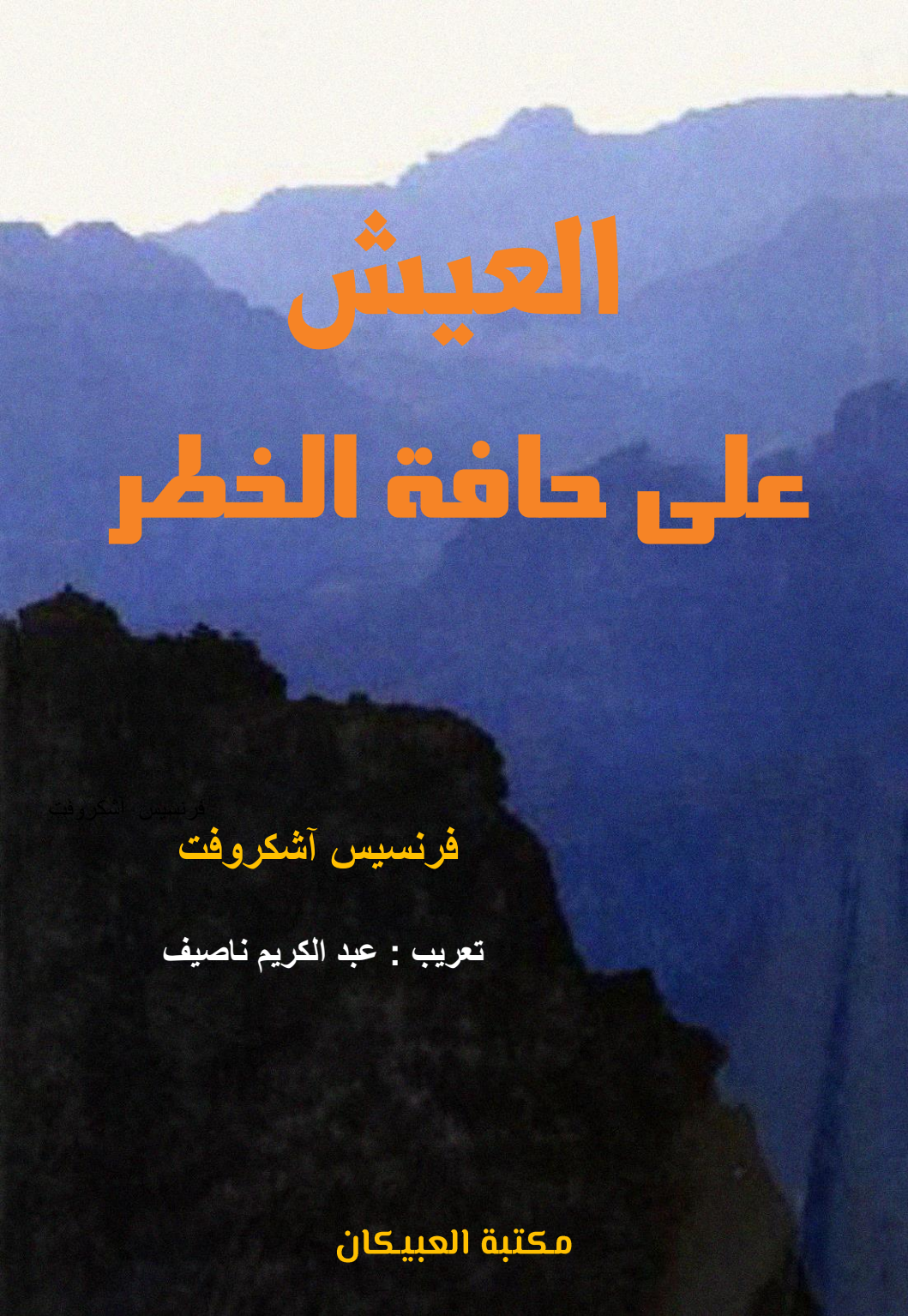


العيش على حافة الخطر

فرنسيس آشكروفت

فرنسيس آشكروفت

تعريب : عبد الكريم ناصيف

مكتبة العبيكان

العيش على حافة الخطر

العيش على حافة الخطر

فرنسيس آشكروفت

تعريب

عبد الكريم ناصيف

مكتبة العبيكان

مقدمة

في تشرين الثاني (نوفمبر) 1999، طغت على الصحف قصص موت بطل الغولف باين ستيوارت وأربعة آخرين في حادثة طيران. إذ فقدت طائرتهم النفاثة «لير» الاتصال ببرج المراقبة بعد إقلاعها مباشرة من مطار أورلاندو، فلوريدا، على ارتفاع حوالى 11300 م (37000 قدم) ولخشيتهم من أن تسقط في منطقة سكنية، أرسل المسؤولون هناك، مقاتلتين من القوات الجوية الأمريكية لإسقاطها، إذا لزم الأمر. وقد ذكروا في تقاريرهم أنه لم يكن هناك أي علامة تدل على الحياة على متن النفاثة «لير» وكانت النوافذ مغطاة بالصقيع، مما يدل على أن الطائرة كانت قد أفرغت من الضغط وأن الهواء الخارجي المتجمد تسرَّب إلى الداخل وغمر الحجرة. وقد ظلَّت الطائرة تطير آلياً إلى أن نفد وقودها أخيراً وسقطت في داكوتا الجنوبية. لكن ربما مات ركابها قبل ذلك بكثير لافتقادهم الأوكسجين. على أن تلك لم تكن المرة الأولى التي تقع فيها مأساة كهذه، ولن تكون الأخيرة بالتأكيد. وذلك ببساطة، لأنه لا يوجد في مثل تلك الأعالي ما يكفي من الأوكسجين للحفاظ على الحياة وأي خلل في الانغلاق المحكم لنافذة أو باب يمكن أن تكون له عواقب مميتة.

يعيش الكثيرون منا، شأن ستيوارت وزملائه، حياتهم على الحافة، وغالباً دون أن يدركوا ذلك، حتى إننا نطير بشكل عادي هنا وهناك في

العالم وعلى ارتفاعات أعلى بكثير من أن تحفظ لنا حياتنا. كما نمخر عباب الحياة القارسة البرد ونعرِّض أنفسنا لمخاطر الالتواءات عندما يمارس غوص السكوبا في عطلنا، أو ببساطة نعيش في أمكنة شتاؤها قاس جداً إلى حد أنه من غير الممكن أن نبقى على قيد الحياة في الخارج ليلة واحدة بغير مساعدة. لكن بلوغ الحدود البيئية القصوى ليست حقاً مقصوراً على القلة من المغامرين، فكلنا، بمساعدة التكنولوجيا، نستطيع تحمل الشروط القاسية برباطة جأش. بيد أن المسألة تختلف كثيراً إن لم يكن هناك حماية ملائمة، لذا يقضي آلاف الناس نحبهم كل سنة بسبب شدة الحر أو شدة البرد أو الإصابة بمرض الجبال.

مع ذلك، وعلى الرغم من (أو ربما بسبب) الخطر، يُسحر الناس دائماً بالحياة على حافة الخطر. ثمانمئة مليون إنسان من تسعة وخمسين بلداً راقبوا مع نيل أرمسترونغ وهو يطأ بقدمه سطح القمر. وما تزال الأعمال الباهرة للمكتشفين القطبيين، متسلقي الجبال، والمغامرين الآخرين تأخذ بألبابنا. إننا، بالنيابة، نشارك في أخطارهم، وتزداد الإثارة أكثر كلما ضاق هامش الحياة أكثر. بل إن هناك سحراً مخيفاً في المأساة و«قصة» ذلك المتسلق، الذي مات وحيداً هناك في أعالي الجبال، محروماً من أي مساعدة بسبب الطقس العاصف، على الرغم من أنه كان ما يزال قادراً على استخدام هاتفه الجوال ليقول لزوجته وداعاً، أقول قصته ما تزال تؤثر في مشاعرنا وتثيرنا أكثر من المئات الذين قتلتهم الفيضانات أو الزلازل.

منذ القديم، عرف الناس مخاطر الشتاءات الجليدية والمياه المتجمدة وفصول الصيف الحارقة. لكن في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين فقط، ظهرت المناطيد، الطائرات، الغواصات، والغوص في أعماق البحار، وتنامي حركة الاستكشاف للجبال والقطبين، حاملة معها مخاطر جديدة تتطلب فهماً أعمق للفيزيولوجية البشرية إذا كان ينبغي أن تنقلب علينا. تشكل هذه المخاطر بالنسبة إلى أناس كثيرين، كغواصي الأعماق

وروّاد الفضاء، جانباً من عملهم لا يمكن تجنبه. لكن، هناك أناساً آخرين يعرّضون حياتهم للخطر طلباً للمتعة. فالرجال ـ وبصورة متزايدة النساء ـ يبحثون عن تحديات جسدية باستمرار. ذلك أن حياتنا محمية من الخطر والموت إلى درجة بتنا معها ننشد المغامرة. إذ يؤثر كثير من الناس، بدلاً من الجلوس على المقعد وقضاء عطلة تقليدية، اندفاعة من الأدرينالين لرياضة يمارسها، كالتزلج، وتسلق جبال الأنديز العالية، وغوص ـ السكوبا، قفز ـ البونجي (سنرى ذلك فيما بعد)، والهبوط بالمظلات. لقد تطوَّرت قدرتنا على خوض هذه المغامرات بشيء من السلامة النسبية نتيجة المشاركة التي حدثت بين الفيزيولوجيين المهتمين بكيفية عمل الجسم البشري والمغامرين الجسورين الباحثين دائماً عن دفع الحدود القصوى أبعد وأبعد.

يصف هذا الكتاب الفعل الفيزيولوجي للجسم تجاه الحدود البيئية القصوى ويستكشف الحدود المفروضة لبقاء البشر على قيد الحياة. إنه يلقي نظرة على ما يحدث عندما تجد نفسك حبيساً في ثلاجة، أو محتجزاً تحت الجليد، أو تائهاً في صحراء بلا ماء، ولماذا يمكن لمتسلق من متسلقي النخبة أن يتسلق إڤريست بغير أوكسجين إضافي، رغم أن ركاب طائرة أفرغت من ضغطها على الارتفاع نفسه، يمكن أن يفقدوا وعيهم خلال ثوان. كذلك لماذا يجد رواد الفضاء صعوبة في الوقوف على أرجلهم دون أن يصابوا بالإغماء لدى عودتهم إلى الأرض، ولماذا يعاني غواصو أعماق البحار أمراض العظام إلى آخر ما هنالك من ألغاز. إن حل هذه المعضلات يمثل تحديات جمة للفيزيولوجيين، بدنية وذهنية على حدٍّ سواء.

كتب الفيلسوف هيراقليطس ذات يوم ملاحظة تقول «الحرب أخ الأشياء كلها». ولقد أصاب كبد الحقيقة، بقدر ما يتعلق الأمر بفيزيولوجيا الحدود البيئية القصوى، ذلك أن الجنود يتعرضون بشكل عادي لشروط قاسية، ففي السنوات الأخيرة فقط، شاهدنا حروباً في الشتاء المتجمد للبلقان، والحر الحارق لصحراء الكويت.. والممرات الجبلية العالية في الهند وباكستان.

وبوشرت أبحاث كثيرة حول تأثيرات الحر، والقر، والضغط والارتفاع على البشر بشكل مباشر أو غير مباشر، نتيجة لهذا المطلب العسكري. كذلك من المفيد أن ندرك أن مغامرة الإنسان في الفضاء لم تكن في البداية لأسباب علمية بل بسبب الحرب الباردة.

قامت الرياضة، وهي شكل من أشكال المنافسة بين الأمم، مقبول أكثر بكثير من الحرب، بإثارة المزيد من الاهتمام بجسم الإنسان وتركيبته الفيزيولوجية. وقد تطورت في السنين الأخيرة فيزيولوجيا الرياضة لتصبح فرعاً قائماً بذاته. يمارس معظمنا شكلاً من أشكال الرياضة، حتى ولو كان مجرد اللحاق بالحافلة أحياناً. لكن، ثمة حداً لمقدار السرعة التي يمكن أن نجري بها. حتى مع التدريب، كما أن الرياضة تترك جهداً وضغطاً على الجسد. وفي الفصل الخامس ناقشت هذا النمط من أنماط حافة الخطر المختلف نوعاً ما لكن الوثيق الصلة.

تقوم الدراسة العلمية للفيزيولوجيا البشرية أساساً على التجريب المتحكم به. ونظراً لأنه يصعب أحياناً فهم المخاطر المحتملة ومعرفة حدود البقاء على قيد الحياة، غالباً ما تستخدم الحيوانات في التجارب الأولية للتعرف إلى نمط الأخطار التي قد تنشأ للحصول على دليل السلامة بالنسبة إلى الإنسان. لكن، في النهاية، لا بديل للإنسان، وغالباً ما كان الفيزيولوجيون يجرون تجاربهم على أنفسهم، وما يزالون. بل إن بعضهم استخدم أولاده.

كتب العالم البارز جـ. ب. س. هالدين ذات يوم ملاحظة تقول إن أباه كان يستخدمه كحقل تجارب منذ كان في الرابعة من عمره (أن تلك التجارب لم تثبط عزيمته على نحو غير ملائم، على ما يبدو نظراً لأنه سار على خطى أبيه وكان فيزيولوجياً متميزاً).

ثمة أسباب قوية تفسر لماذا يستخدم الفيزيولوجيون أنفسهم وزملاءهم

كأدوات تجارب، إذ من الأسهل غالباً أن تفهم شيئاً تجربه من أن يصفه لك شخص آخر. كما أن العمل، لا سيما في الماضي، كان في الغالب خطراً وغير قابل للتكهن إلى درجة أن كثيراً من العلماء كانوا يفضلون أن يتلقوا الخطر بأنفسهم على أن يطلبوا من متطوع ما أن يفعل ذلك. كذلك كان أسرع، فإيجاد متطوّع يأخذ وقتاً. من هنا، كان لا بد للفيزيولوجيين الأوائل أن يتوفر لهم قدر كبير من الشجاعة، إضافة إلى المهارة وباب الاستطلاع العلمي. فالجلوس في حجرة فولاذية ضيقة ملأى بالأوكسجين الخالص في الوقت نفسه الذي يتزايد فيه الضغط، وأنت تعلم أنك ستصاب حتماً بتشنجات قد تسبِّب لك أذية دائمة، لكن دون أن تعلم متى يحدث ذلك تماماً. تجربة أبعد بكثير من أن تكون سارة. لكن، كما نناقش ذلك في الفصل الثاني، مثل تلك التجارب كانت حيوية بالنسبة إلى سلامة غواصي الأعماق.

تختلف ردود الفعل لدى الناس تجاه ضغط أو جهد فيزيولوجي اختلافاً بيّناً، كما أن تصرفهم في شروط الحياة العادية ليس دليلاً على الطريقة التي سيتصرفون بها تحت التوتر أو الجهد: فمغاوير أشداء يمكن أن يصابوا سريعاً بمرض الجبال، رغم أن رفيقات لهم أكثر هشاشة قد لا يعانين من أي آثار مرضية. وهكذا أنه قد لا يكون ذلك ضرورياً من أجل فهم المبادئ العلمية ذات العلاقة، عندما يصل الأمر إلى التطبيقات العملية، إلاّ أنه لا بد من تكرار التجربة على عدد أكبر من المتطوعين. لكن لسوء الحظ، لم يكن كل أشخاص التجارب من المتطوعين. فهناك عدد من الحالات غير المشهورة أُجريت فيها التجارب على أناس بغير رضاهم. لقد استخدم النازيون مُعتقلي داشو، والروس أسرى الحرب، واليابانيون سكان منشوريا، بل إن الحكومات الغربية استخدمت حتى وقت قريب المجرمين المحكومين بالإعدام لإجراء التجارب. رغم أن هؤلاء قد يكونون نظرياً، متطوعين، إلاّ أن الاختيار بين تنفيذ الإعدام وإرجائه مؤقتاً للمشاركة في تجربة قد تكون

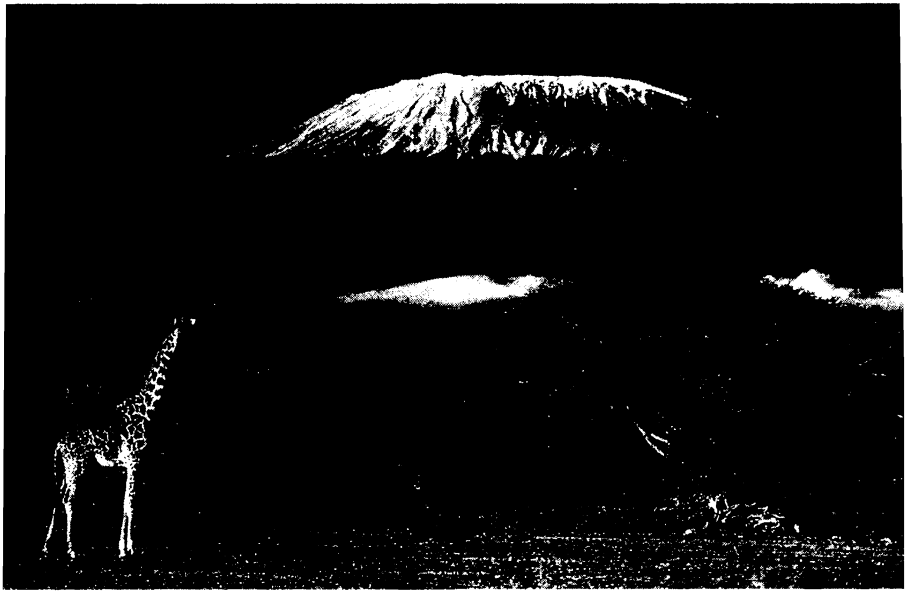
خطرة، ليس اختياراً حقاً. فكثير من هذه التجارب كانت تتعلق باختبار تأثير مواد كيماوية أو إشعاعية. لكن ليست كلها. إذ كان بعضها مصمماً لتحسين فهمنا للكيفية التي يتغلب بها الإنسان على شروط حافة الخطر. وكما سنرى، هناك أيضاً جانب معتم لدراسة الحياة.

لا تزال هناك حاجة ماسة للتجارب البشرية، إذ إن هناك أنماطاً جديدة من بدلات النجاة خاصة بالغطس في الماء البارد لا بد من اختبارها باستمرار، كما أن بدلات الفضاء ما تزال تكنولوجياً متطورة. لكن تجارب اليوم تجرى وفق شروط سلامة مشددة، كما أن حدود الخطر على الحياة، التي تم الحصول عليها من الحوادث والتجارب، باتت موثقة جيداً.

ثمة تطبيقات عملية واضحة لدراسة الفزيولوجية البشرية. لكن الدافع الحقيقي بالنسبة إلى كثير من العلماء (وربما إلى غالبيتهم العظمى)، هو حب الاستطلاع. يسوقهم، كما قال الشاعر كيبلنغ، «الخدم الشرفاء الستة» ـ أي «ماذا وأين ومتى، كيف ولماذا ومن». ونتيجة لذلك، فإن حياة الفيزيولوجي، شأنه شأن كثير من العلماء التجريبيين، مزيج غريب من الزهو والإحباط ـ يزهو ويفخر حين يتبين أن نظريته صحيحة، ويُحبط، حين تخفق، لأسباب تقنية، تجربته، والسؤال الذي طرحه للاختبار لن يجد له جواباً. وعلى ما يبدو كثيراً ما نجد أن هناك الكثير من هؤلاء القلة من أولئك. لكن مجرد تجميع عناصر لغز من الألغاز معاً أو حل تحدٍّ فكري أو اكتشاف حقيقة جديدة يمكن ألاَّ يكون بحد ذاته مكافأة. فالإثارة الحاوية للاكتشاف هي مبعث نشوة وسعادة لم أجرب مثيلاً لها قط. إنها تلك الإثارة العاطفية العالية التي قد تدفعك على مدى ساعات طويلة لا بد منها للتوصل إلى نتائج.

وعلى الرغم من أن كثيراً من الناس قد يجدون من الصعوبة بمكان أن يقدروا مباهج الحياة العلمية حق قدرها، إلاَّ أن معظمهم يفهمون الزهو الذي

يشعر به المرء حين يصل إلى ذروة جبل، والإحساس بالإنجاز الذي يتأتى عن جري سباق ماراتوني. بعض الفزيولوجيين محظوظون لأنهم يستطيعون الجمع بين المغامرة الفكرية والجسدية؛ فأولئك الذين يطرحون أسئلة مثل: كيف يتصرف الجسم البشري إن اضطر لبلوغ حافة الخطر، عند تسلق قمم الجبال. والغوص إلى أعماق البحار، في حقول الجليد القطبية الجنوبية، أو حتى في الفضاء، ثم يبحثون بأنفسهم عن ذلك أو يجدون الأجوبة. إن المعرفة التي يحصلون عليها لا تقدر بثمن. ذلك أن الفيزيولوجيا، كما سنرى في هذا الكتاب، ليست مجرد علم مختبرات، بل هي شيء قابل للتطبيق على الحياة اليومية. ومعرفة الفيزيولوجيا. «منطق الحياة»، في معركتنا للبقاء، ونحن على حافة الخطر، مسألة حاسمة الأهمية.



منظر كليمنجارو من حديقة أمبوسيلي الوطنية في كينيا

تسلق كليمنجارو

كليمنجارو واحد من أجمل الجبال في العالم. إنه مخروط بركاني كامل يتوضع على جانبي الحدود بين كينيا وتنزانيا، مرتفعاً إلى ما يصل إلى 5896 م. (19340 قدماً) فوق السهول الإفريقية. عند أسفله تقع محمية أمبوسيلي بقطعانها الحاشدة من ثيران النو، والظباء، والفيلة. أمّا ذروته فتكللها حقول من الجليد ساحرة الجمال، وعلى الرغم من ارتفاعه الشاهق، لا تُطلب مهارات خاصة في التسلق للوصول إلى قمته. إنها مسيرة تستغرق أقل من ثلاثة أيام ونصف من القاعدة إلى القمة. لكن لسوء الحظ إن الإسراع في الصعود يكون محفوفاً بالمخاطر لغير الحذرين.

إننا ننطلق مع الصباح الباكر عبر غابة الأمطار. الهواء دافئ، ثقيل ورطب وعابق بكل ما هو استوائي، له رائحة كرائحة بيت النخيل في كيو، ولأقدامنا حفيف خفيف على التربة الرطبة الناعمة لأرض الغابة. وفوق رؤوسنا تتدلى القردة معلقة مثرثرة عبر أغصان الأشجار. كان من الصعوبة بمكان أن ندرك أننا كنا نتسلق طوال النهار ونحن نلف وندور دوران طريقنا عبر ظلال الغابة المعتمة الباردة. لكن أواخر العصر، خرجنا من بين الأشجار لنجد كوخاً مثلثياً صغيراً يعشش في سفح الجبل وبين مروج تذكر بمروج الألب. كانت الشمس قد أَفَلت، والليل قد خيم فوراً تقريباً، فكليمنجارو يقع على خط الاستواء.

في اليوم التالي، تسلقنا حتى ارتفاع 3700 م تقريباً، مجتازين مراعي عالية، مارين بنباتات لا تراها إلاّ في تلك الأعالي من أفريقيا وجنوبي أمريكا. فالسينسيو العملاقة، وهي من عائلة زهرة الشيح المعروفة، كانت تسمق كالأبراج فوق رؤوسنا، وأزهار اللوبيليا الضخمة، كالشموع الزرقاء العملاقة، كانت تنتصب حراساً على جانبي الطريق. أمّا الهواء الأقل كثافة فكان ينعشني، مقنعاً إياي بأن لدي مناعة ضد دوار الجبال.

غير أن الصباح التالي كان بارداً. إذ كنا، ونحن نمشي، قد غادرنا الغطاء النباتي خلفنا ودخلنا سرجاً صخرياً عالياً معلقاً بين القمتين التوأمين لكليمنجارو. إلى يميننا كانت تنتصب ماوينزي، وإلى يسارنا القمة الأعلى «أوهورو»، هدفنا النهائي. أحسست بالتعب، رغم أن السفح كان مسطحاً مستوياً، وبدا الطريق طويلاً عبر السرج بل أبعد إلى الأكواخ الصحيفية الواقعة عند منطلق التسلق الأخير، وهو مخروط رمادي عملاق.

قضينا ليلتنا الثالثة الباردة وغير المريحة على ارتفاع 4600 م. كان النوم مستحيلاً، فقد كان رأسي يضج والدنيا تلف بي وتدور ما إن أُغمض عيني. وبرغم نقص الشهية، فقد أجبرت نفسي على تناول طعام وشاي فاترين، (في ذلك الارتفاع يغلي الماء بدرجة حرارة 80 مئوية)، لإدراكي أنني بحاجة إلى الطاقة من أجل التسلق المقبل. حينذاك شعرت بالمرض، فيما أنفاس رفاقي تحولت إلى شهقات ذات أصوات مؤذية للأذن تفصل بينها فترات صمت طويلة إلى درجة وددت معها أن أحفزهم كي يستيقظوا خشية أن يكونوا قد توقفوا توقفاً دائماً عن التنفس. كنت أنتظر، وأنا أرتعش، أن يمر الوقت.

في الساعة الثانية صباحاً نهضنا كي نبدأ شق طريقنا الطويل إلى القمة. إذ أقنعنا دليلنا بأن نرى الفجر يبزغ ونحن فوق ماونزي. إنني الآن أعرف السبب الحقيقي الداعي لانطلاقنا باكراً وهو أكثر من مجرد سبب عادي: لقد تسلقنا في حلكة الظلام كي لا نرى ضخامة المهمة التي كانت بانتظارنا. كان

الطريق يلتف متعرجاً للغاية فوق مخروط ارتفاعه 1200 م من رماد ناعم رماديّ اللون وحجارة صغيرة تصل إلى حافة الفوهة. عمل شاق هو تسلق الكثبان الرملية، حتى ولو كانت بمستوى سطح البحر. أمّا على ذلك الارتفاع فقد كان ضنى وعذاباً. إذ مقابل كل ثلاث خطوات أصعدها، كنت أنزلق خطوتين إلى الوراء وقد امتلأ حذائي بالرمل الدقيق المخرِّش. كما أحسست بأن ساقيَّ تتدحرجان وأنهما خارج سيطرتي، بحيث كنت أتمايل بشدة كي أحقق نوعاً من التوازن الأبعد لتقدمي على الرمال المتحركة. أحد رفاقي انهار، عاجزاً عن المضي قدماً. ولم يكن من اليسير أن تعلم من سيصاب بدوار الجبال. ولعله الأقوى والأكثر لياقة بين أفراد فريقنا، لكن ها هو ذا يجلس يشهق مقطوع الأنفاس طلباً للهواء، كسمكة جرفها البحر إلى الشاطئ، وخياره الوحيد أن يعاود الهبوط. أمّا نحن فتابعنا، يضيء دليلنا الطريق أمامنا بمصباح عواصف يحمله منخفضاً إلى جانبه. لم يكن التقدم سهلاً، فقد كنت أكافح طلباً للنَفَس. كنت أصارع كي أخطو بضع خطوات بين فترات استراحة راحت تطول وتطول. ثم لم أتدبر أمري في قطع المئات القليلة الأخيرة من الأقدام إلاّ بشق النفس وبقوة الإرادة الخالصة والتصميم (الأحمق تماماً) على ألاّ أنهزم. انهرت عند القمة وقد بلغت حافة الفوهة، فيما بدا رأسي وكأن سكاكين تنغرز فيه، ورؤيتي تتشوش بنقاط سوداء.

ثمة خليط من الصور كان يتراقص في ذهني. كنت أجلس في قاعة محاضرات مُغبرة من قاعات كامبريدج، فيما تتخلل المقاعد حزم من أشعة الشمس، وأنا أصغي إلى حديث عن دوار الجبال. ما الذي كان يقول المحاضر بالضبط؟ لقد بدا مهماً لكنه كان ينزلق بعيداً كما كانت تنزلق الترهات الملونة اللامعة شديدة المهابة أمام عيني. الهواء نفسه كان يرتعش، فيما كان ينسل نمر ثلجي حول حافة الأطراف الجليدية التي تبحر داخل فوهة كليمنجارو. حدق النمر إلي بعينين صفراوين ثم صفق بذيله. أشحت بناظري وكانت الشمس تبزغ غامرة الجو بألق برتقالي وقرمزي خفيف، ملونة باللون

الذهبي حواف السحاب الرقيق فيما تنعكس قمة ماونزي ظلاً أسود قاتماً على سماء بوتيسللي. كنت أجلس على حافة فوهة أوهورو، يتطاير شعري مع الرياح الباردة، وأنا أعلم أنا ما تراءى لي من أوهام مجرد نذير، فدماغي كان ينغلق شيئاً فشيئاً بسبب نقص الأوكسجين وكان قد فات الأوان على المغادرة.

كالسكرىٰ بدأت أنزلق وكالحية رحت أزحف نازلة المنحدر الشديد، خائفة فجأة من أن أُصاب بوزمة دماغية. لكن في الوقت نفسه كنت خائفة من السقوط إلى الأسفل وعلى نحو لا أستطيع التحكم به إذا انحدرت بسرعة كبيرة. مع كل خطوة بدأت أشعر أنني أكثر حياة فيما كان الأوكسجين يغمر دماغي. كنت أجري على ركام الحجارة متزلجة على سفح الجبل منزلقة عليه انزلاقات طويلة كبيرة. متعرجة حول الصخور والكتل الكبيرة. نصف ساعة فقط استغرق مني الوقت لاجتياز المسافة التي قضيت أكثر من خمس ساعات في تسلقها وعلى نحو بالغ الإيلام.

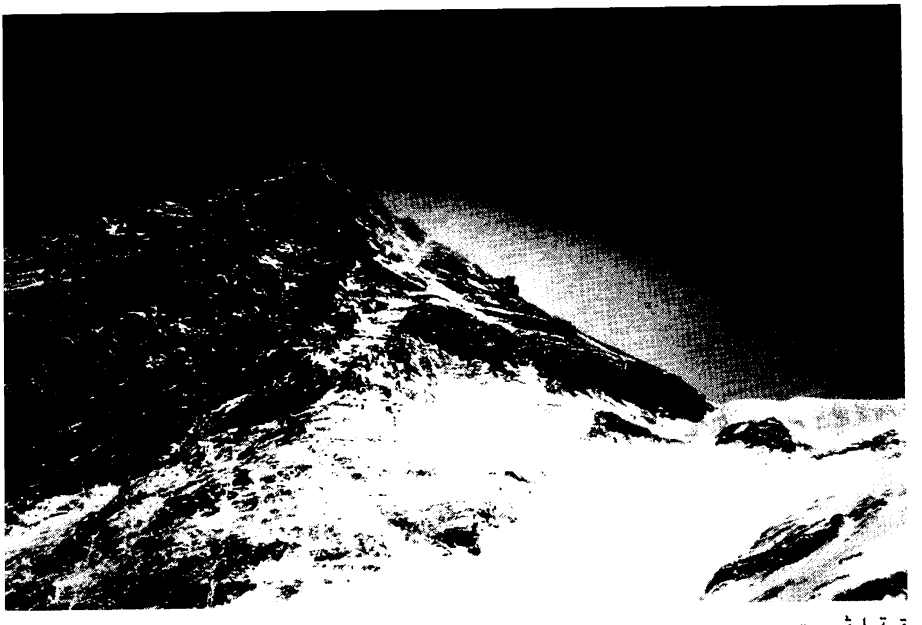
إلاَّ أن حظي كان حسناً، ففي الأسبوع السابق، كان اثنان قد لقيا حتفهما بدوار الجبال وعلى الطريق نفسه. لكن مناوشة دوار الجبال لي، تلك المناوشة الحقيقية، لم تترك آثاراً دائمة. إلاَّ أنني كنت حمقاء. إذ كنا قد تسلقنا عالياً جداً وبسرعة كبيرة جداً: 5896 م بثلاثة أيام ونصف. فالقمم العالية قد لا تكون حكراً على الآلة. لكن لا بد من التعامل معها باحترام.

1

العيش في الأعالي

«تُصنع الأشياء العظيمة حين يلتقي الرجال والجبال»

«ويليم بليك، أقوال شعرية مأثورة»



قمة إيڤرست

تعد قمة إيڤرست، بارتفاعها البالغ 8848 م (29029 قدماً)، أعلى جبل على الأرض. ولو كان بالإمكان أن تنتقل فوراً من سطح الأرض إلى ذروة الجبل لكنت ستفقد وعيك وتدخل في غيبوبة خلال ثوان لنقص الأوكسجين. مع ذلك، وصل المتسلقان النمسويان پيتر هابلير وراينولد ميسنر سنة 1978 إلى قمة إيڤرست دون إمدادات إضافية من الأوكسجين، ثم فعل ذلك أيضاً أكثر من خمسة وعشرين رجلاً آخر بعد عشر سنوات. فما هو يا ترى تفسير مأثرتهم المستحيلة ظاهرياً؟ إن قصة الكشف العلمي لكيفية الإجابة عن هذا السؤال قد حل لغزها، كما أن الانعطافات والالتفافات على طول الطريق، الإثارات، أعمال التحمل البطولية الخارقة والشخوص المتكونة ذات العلاقة، كلها موضوع هذا الفصل.

طوال قرون، ظلت الجبال تسحر الناس وتشكل تحدياً لهم. فهي الجميلة لكن الممتنعة. كان يعتقد بادئ ذي بدء أنها موطن الآلهة، فآلهة الإغريق كانت تقيم على ذروة جبل الأولمپ، أعلى جبل في بلاد الإغريق. كما كان الهنود ينظرون إلى جبال الهملايا باعتبارها مقر الآلهة. كذلك وجدت أدلة في جبال الأندز على تضحيات كان يقدمها الإنسان القديم ربما

---

(1) و. جـ تيرنر (1889 ـ 1946) «رومانس».

لآلهة الجبال. بل حتى اليوم، ثمة ثقافات كثيرة تنظر إلى الجبال بقدسية واحترام. فقد قام تنزينغ نورغي بدفن الشوكولاتة والبسكويت في قمة إيفرست عند أول وصول ناجح له، تقدمة منه للآلهة التي تقيم هناك. ذلك أن الجبال ما انفكت تحتجب خلف الأساطير والحكايات، ذراها وجروفها لا يسكنها، كما يتخيل الناس، الآلهة وحسب بل أيضاً مخلوقات غامضة مثل «اليتي الهيملاوي» و«تروكو» التشيلي الجنوبية (الذي يتغذى على دم البشر). بل حتى أسماؤها ساحرة: «تشيمبورازو، كوتوپاكسي، لقد اختلست مني روحي»!. مع ذلك وعلى الرغم، أو ربما بسبب هذه الحكايات، كان الناس ينجذبون دائماً إلى الجبال، سواء للإنعاش الروحي، أو لوعد بكنز مخبوء، أو كوسيلة للهروب من أنظمة استبدادية، أو للإثارة الكامة في اكتشاف أرض جديدة، أو، بصورة دنيوية أكثر، لشق طريق إلى الجانب الآخر، أو كما وردت في عبارة جورج مالوري الشهيرة، وبكل بساطة، «لأنها هناك»[2].

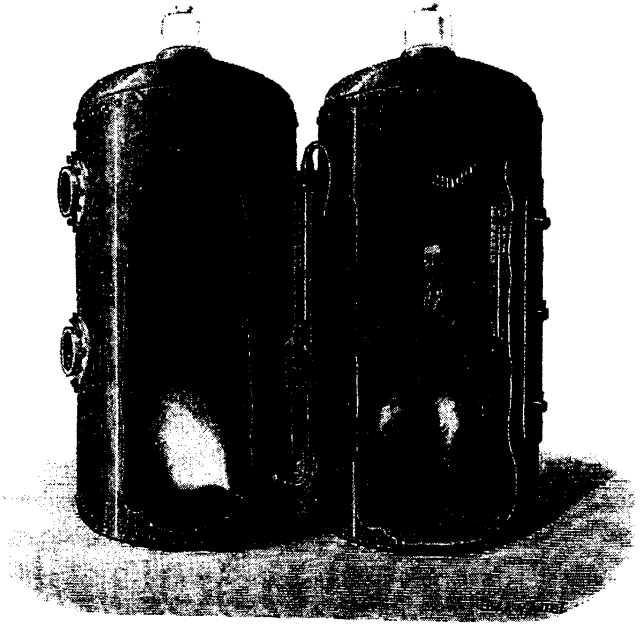
نتيجة لذلك، عُرف دوار الجبال منذ قرون. غير أن سببه ظل لغزاً غامضاً على القدماء الذين كانوا يعزونه لوجود الآلهة (التي تدفع الرجال للجنون) أو لانبعاثات سامة من النباتات، وهو ما أفضى إلى النظرة الأوروبية للجبال، باعتبارها خطرة وغامضة. لكن، قرابة النصف الأخير من القرن التاسع عشر، بدأ تسلق الجبال يظهر كرياضة وبدأ الرجال يتنافسون مع العوامل والقوى الجوية ومع بعضهم بعضاً في من يصل أولاً إلى أعلى القمم. كما أصبح الفيزيولوجيون، شيئاً فشيئاً يهتمون بتأثيرات الارتفاع على الجسم، وشيئاً فشيئاً صاروا أكثر معرفة بأسبابها، كما أسهمت دراساتهم إلى حد كبير في نجاح أول حملة للوصول إلى قمة إيفرست. مع ذلك، كانوا المرة تلو المرة يندهشون بقدرة متسلقي الجبال على بلوغ ارتفاعات أعلى من توقعاتهم.

يُحدّد الارتفاع العالي، وعلى نحو اعتباطي نوعاً ما، بأنه الأعلى من

(2) جواب مالوري الشهير عن سؤال: «لماذا تريد أن تتسلق قمة إيفرست؟»

3000 م (10000 قدم) فوق سطح البحر. على أن كثيراً من الناس، ربما قرابة 15 مليوناً، يعيشون فوق هذا الارتفاع في مناطق جبلية من العالم، وبأعداد أكبر من الأندز، الهملايا، والمرتفعات الإثيوبية. كما أن كثيراً من الناس الآخرين يزورون ارتفاعات تربو على الـ 3000 م كل سنة بغرض التزلج. السياحة، والتجوال وأشياء المرء على ظهره. إن أعلى موطن دائم للبشر هو مستوطنات التعدين على قمة أوكانكيلك في جبال الأندر، على ارتفاع 5340 م. وعلى الرغم من أن مناجم الكبريت تقع على ارتفاع 5800 م، إلاّ أن عمال المناجم يفضلون أن يصعدوا كل يوم 460 متراً إضافياً إلى عملهم على أن يناموا على ارتفاع أعلى. كذلك من المعروف عن الجيش الهندي أنه يبقي جنوده شهوراً عديدة، على ارتفاع 5490 م لحراسة حدوده مع الصين، لكن ربما هذا هو الحد الذي يمكن للإنسان أن يعيش فيه فترة مديدة من الزمن. لأن الحياة في ارتفاعات كهذه مشحونة بالمصاعب. على رأس هذه المصاعب انخفاض نسبة الأوكسجين في الهواء، بيد أن البرد، التجفف والإشعاع الشمسي المكثف كلها مشكلات هامة أيضاً.

إن النقص في كثافة هواء الارتفاعات يعني أنه يحوي أوكسجيناً أقل، مما يثير مشكلة كبيرة بالنسبة إلى معظم المقتضيات، بما فيها الإنسان، تلك التي تحتاج باستمرار إلى الأوكسجين لتزود به خلاياها كلها. يحترق الأوكسجين، داخل كل خلية، جنباً إلى جنب مع الأغذية كمائيات الفحم مثلاً، لإنتاج الطاقة، والخلايا التي تبذل جهداً أكبر، كالخلايا العضلية مثلاً، تحتاج نسبياً إلى أوكسجين أكثر. وكل زيادة في ممارستها الرياضة تزيد من متطلباتها. لقد اكتشف الأوكسجين سنة 1775، على نحو ما ذكرنا في الفصل السابع، وعلى الفور تم تفهم آثاره المفيدة. لكن كان لا بد من مرور مئة سنة أخرى تقريباً قبل أن يكتشف الفرنسي پول بيرت أن نقص الأوكسجين هو السبب الرئيسي لدوار الجبال. ثم انقضى وقت أطول قبل أن تصبح فكرته مقبولة على نطاق واسع.



يدعى پول بيرت (1833 ـ 1886) وعلى نطاق واسع بأنه أبو فيزيولوجيا الارتفاعات وطب الطيران. لقد صنع، وهو تلميذ للفزيولوجي الفرنسي الشهير كلود برنار، حجرة لإزالة الضغط كبيرة إلى حد يكفي لأن يجلس داخلها رجل بصورة مريحة في مختبره الواقع في السوربون في باريس، كي يحدث ما يحاكي آثار الارتفاع. ويجسد عمله الشهير، «الضغط البارومتري» الدليل على دعم فكرته بأن الآثار المؤذية للصحة الناجمة عن الارتفاعات العالية إنما تعود لنقص الأوكسجين. كذلك كان أول من بيّن أن مرض زوال الضغط (الالتواء) يعود لتشكل فقاعات في الدم (أنظر الفصل الثاني).

القصص الأولى عن دوار الجبال

كان الصينيون أول من سجل آثار الارتفاعات في النص الكلاسيكي «شيين هان شو» الذي يصف الطريق بين الصين وما يمكن أن يكون أفغانستان الآن، وذلك قرابة 37 ـ 32 قبل الميلاد: «مرة ثانية وعند اجتياز جبل الصداع الكبير، جبل الصداع الصغير، الأرض الحمراء وسفح الحمى، أصبحت أجسام الرجال كأنها مصابة بالحمى، إذ فقدوا ألوانهم وأصيبوا بنوبة من الصداع والإقياء، وهي الحالة التي أصيب بها الحمير والماشية أيضاً». لقد أشار الباحث الصيني البارز جوزيف فيدهام إلى أن تجارب كهذه أقنعت

الصينيين بأن المقصود من ذلك هو أن يبقوا ضمن الحدود الطبيعية لبلادهم. كذلك فإن الإغريق، الذين وجدوا أن أنفاسهم انقطعت على قمة جبل الأولمپ (قرابة 2900 م)، زعموا أن القمة هي حكر للآلهة وأنها خارج نطاق البشر الفانين.

لقد نشر الأب خوسي دي أكوستا، وهو من الإرسالية الجزويتية الإسبانية التي عبرت الأندز وقضت فترة من الزمن فوق الهضبة المعروفة باسم التيپلانو، واحداً من أول الأوصاف الواضحة لتأثير دوار الجبال الحاد وذلك سنة 1590 إذ أصيب الكثير من أفراد جماعته بالمرض حين عبروا الممر العالي في پارياكاركا (4800 م) «بل أنا نفسي فوجئت بوخز ألم شديد وغريب إلى درجة كدت معها أن أسقط «فاعتبر أن» الهواء هناك رقيق وخفيف بحيث لا يتناسب مع تنفس الإنسان: «كما كتب أنهم وجدوا أن ذلك الممر والممرات الأخرى على طول حواف الجبال هي ذات برودة غريبة، مع أنها أكثر غرابة في بعض النواحي مما هي في نواح أخرى، وهي نوعاً ما أكثر غرابة بالنسبة لمن صعدوا من ساحل البحر مباشرة. والآن يشير الباحثون إلى أن الحالة ربما ليست كذلك، نظراً لأن النص الإسباني الأصلي ترجم ترجمة غير صحيحة على ما يبدو.

مع ذلك، كان سكان الإنكا المحليون يدركون جيداً آثار الارتفاعات وكم تستغرق عملية التأقلم من وقت. لقد كانوا يعرفون أن سكان الأراضي الواطئة يموتون بأعداد كبيرة إذ إما نقلوا إلى ارتفاعات عالية للعمل في المناجم. وكانوا يحتفظون بجيشين، أحدهما يحتفظ به بصورة دائمة في الارتفاعات العالية لضمان تأقلمه والثاني يستخدم للقتال في المناطق الساحلية. ولكي ينجوا من وحشية الغزاة، كان الإنكا يتراجعون إلى الجبال صاعدين إلى الأعلى والأعلى حيث كان الغزاة الإسبان يجدون صعوبة في الذهاب في أثرهم. وعلى الرغم من أن الإسبان أقاموا، أخيراً، مدينة في پوتوسي (4000 م) إلاّ أنها كانت إلى حد كبير مدينة حدودية وكان يتعين

على النساء والمواشي العودة إلى ساحل البحر للإنجاب وتربية النسل في السنة الأولى. ورغم أن خصوبة النساء المحليات وإنتاجيتهن لم تكن تتأثر، إلاّ أن الأطفال الإسبان الذين كانوا يولدون في الأعالي كانوا يموتون لدى الولادة أو في الأسبوعين الأولين من العمر. وأول طفل من سلالة إسبانية بقي على قيد الحياة لم يولد إلاّ بعد ثلاث وخمسين سنة على تأسيس المدينة وذلك عشية عيد الميلاد سنة 1598، وهو الحدث الذي قوبل بالتحية والتهليل باعتباره معجزة من معجزات القديس نيقولا تولنتينو. لكن من المحزن أنه ما من أحد من أطفال «المعجزة» الستة عاش حتى البلوغ. غير أن المعضلة حلت نفسها بنفسها بعد جيلين أو ثلاثة، ربما بسبب التزاوج مع السكان الأصليين. أمّا الماشية والخيول فقد بقيت عقيمة نسبياً. نتيجة لذلك، نقل الإسبان العاصمة أخيراً إلى ليما. على أن دوار الجبال الطفولي ليس مجرد مشكلة من مشكلات الماضي. إذ إنه يؤثر حتى اليوم على صينيي المكان من الأراضي الواطئة الذين يستوطنون التيبت.

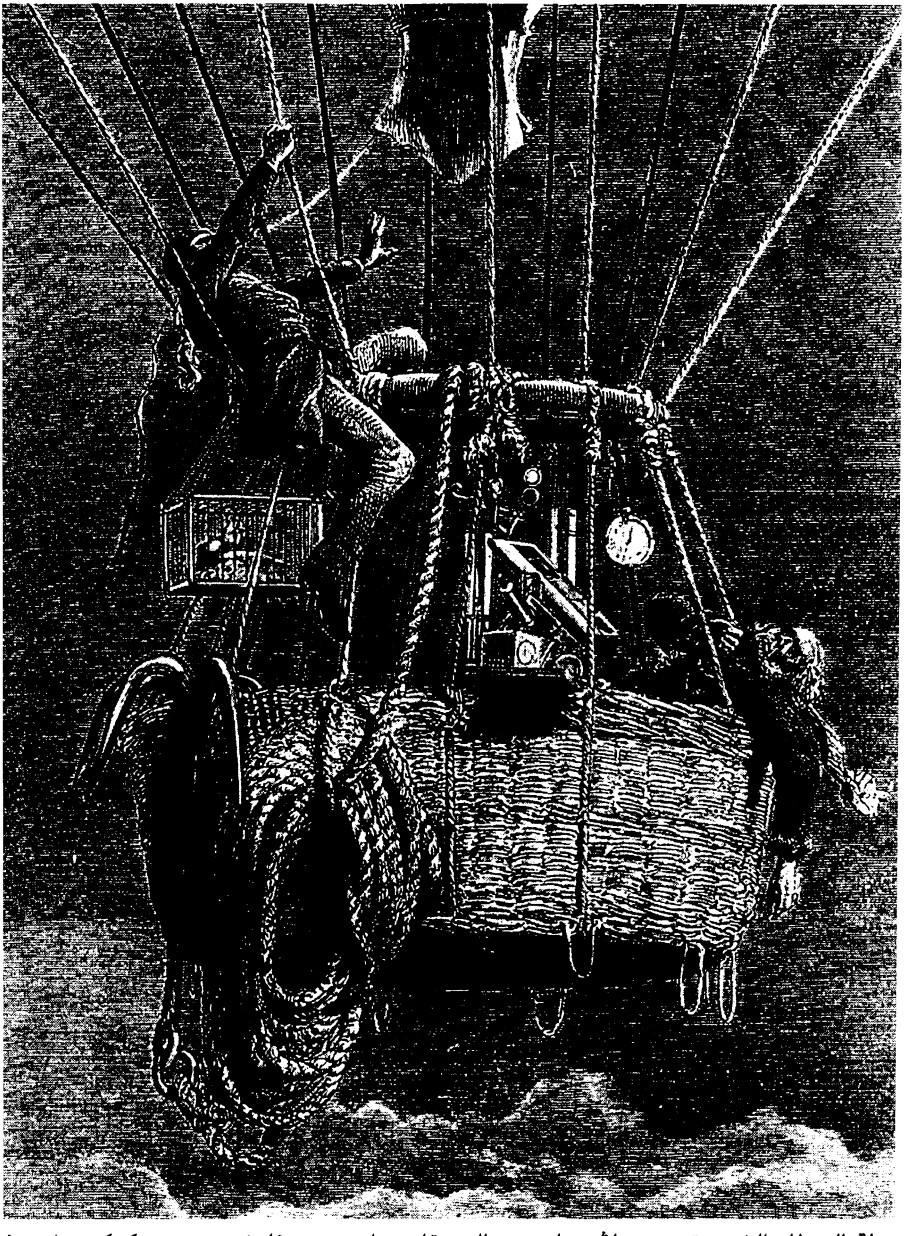
يكون دوار الجبال، كما قدر الإنكا، أقل حدة لدى الناس الذين يتعودون الارتفاعات بصورة تدريجية. أمّا النتائج الفظيعة والمميتة غالباً التي تنجم عن الصعود السريع جداً إلى الارتفاعات العالية فقد واجهها أول مرة المنطاديون الأوائل. إن أول طيران بمنطاد يعمل بالهواء الحار قام به سنة 1783 جان فرانسوا پيلاتر دي روزييه والماركيز دار لاندز في منطاد صنعه الأخوان مونغولفيي، إتيين وجوزيف، بعدئذ. وفي السنة نفسها، اخترع الفرنسي جاك شارل منطاد الهدروجين وبلغ، في صعوده الأول، ارتفاع 1800 م، دون أي آثار ظاهرة لأي مرض. لكن باستطاعة المناطيد أن تصل إلى ارتفاعات يمكن أن تكون ذات نتائج خطيرة.

وصفت أعراض مرض الارتفاع، التي تصاحب الطيران بالمنطاد، في تقرير شهير كتبه جيمس غليشر، وهو عالم أرصاد جوية رافق المنطادي هنري كوكسويل في رحلة جوية من وولڤر ـ هامپتون سنة 1862. لقد صعدا، خلال

ساعة إلى ارتفاع سجل فيه مقياس الضغط 247 مليمتراً زئبقياً ـ أي قرابة 8850 م. ثم استمرا في الارتفاع، غير أن الارتفاع الذي بلغاه بالضبط غير واضح نظراً لأن فليشر لم يعد قادراً، في ذلك الارتفاع، أن يرى مقياس الضغط بوضوح، ولم يعد واثقاً من أن مقياسه صحيح، لكنه يحتمل أن ما سجله كان يقارب 11000 م. لقد وصف بكل وضوح كيف اكتشف أن ذراعيه ورجليه جميعاً قد شلت وأنه بات عاجزاً عن قراءة ساعته أو رؤية رفيقه بوضوح، وأنه حاول أن يتكلم لكنه وجد أنه لا يستطيع ذلك ثم أصيب بعد ذلك بالعمى المؤقت. أخيراً، فقد الوعي. ولحسن الحظ أن كوكسويل لم يصب بالعجز تماماً بل ظل قادراً على إنزال المنطاد، إنما بكثير من المشقة، وذلك بتفريغ الهدروجين. لقد اضطر، نظراً لأن ذراعيه شلتا عن الحركة، لأن يسحب الحبل الذي يحرر صمام التفريغ، بأسنانه. في الطريق إلى الأسفل، استعاد غليشر وعيه وبات قادراً على تسجيل الملاحظات ثانية على ارتفاع قدّره هو نفسه بنحو 8000 م. وهو ما يوضح الشفاء السريع الذي يمكن أن يحدث عن إصابة حادة بنقص الأوكسجين.

بعد بضع سنوات، وقعت الإصابات القاتلة الأولى وذلك سنة 1875، عندما صعد ثلاثة علماء فرنسيين هم سيڤل، تيساندييه، وكروس سپيننللي، إلى ما يزيد عن 8000 م بالمنطاد «فزنيث». إذ على الرغم من أنه كان لديهم معدات أوكسجين أولية إلاّ أن مقدار الأوكسجين الذي كان يصل إليهم كان ضئيلاً، فاتفقوا على ألاّ يستخدموه إلاّ عند الضرورة[3]. لكن لسوء الحظ أن فرط الثقة بالنفس والإحساس بأنهم على أحسن ما يرام، وهو الإحساس الذي يتميز به نقصان الأوكسجين الحاد، كان معناه أن لا يستخدموه أبداً وأن يفقدوا وعيهم جميعاً. وحده تيساندييه نجا من الموت ليروي فيما بعد أنه

(3) لقد تم تحذيرهم من هذه المشكلة من قبل پول بيرت، إلاّ أن رسالته وصلت متأخرة جداً. إذ كان تاريخ الرحلة قد حدد مسبقاً، واتخذ القرار بالمضي قدماً أيّاً كان.



حلة المنطاد الشهيرة من وولڤر هامپتون التي قام بها جيمس غليشر وهنري كوكسويل. هذ طباعة الحجرية تصورهما وهما في ذروة صعودهما، حيث يقدر الارتفاع بنحو 11000 م (عل سبعة أميال). هنا غليشر فاقد الحس وقد انهار في السلة. أمّا كوكسويل الذي فقد القدرة عل ستخدام يديه بسبب البرد الشديد ونقص الأوكسجين معاً فإنه يكافح لتحرير صمام الغاز وذلا سحب الحبل الذي يحرره بأسنانه. بالمقابل، يبدو الحمام (في السلة المعلقة بالحلقة) غير متأث الارتفاع.

طبعة حجرية لسيڤل، تيساندييه، وكروس سپينللي في المنطاد «زنيث». هنا، سيڤل (إلى اليسار) يهم بقطع الخيوط التي تمسك بأكياس الصابورة كي يصعد أعلى وأعلى. فيما تيساندييه (في الوسط) يقرأ مقياس الضغط، بينما أخذ كروس ـ سپينللي القطعة الفمية بجهاز الأوكسجين بين يديه. وهذه تتصل بالمنطاد المخطط، الذي يحوي مزيجاً من الهواء بنسبة 72 بالمئة أوكسجين.

أقلع المنطاد في 15 نيسان / أبريل 1875 من مصنع غاز في ڤيليت خارج باريس ثم صعد إلى ارتفاع 7500 م. عند هذه النقطة سأل سيڤل، وكان على حق، زميليه إن كان عليهما أن يصعدوا أعلى، ولدى تلقيه موافقتهما حرر ثقل الموازنة فارتفع المنطاد ارتفاعاً سريعاً إلى 8600 م ليغدو الرجال الثلاثة جميعاً وقد شلوا عن الحركة وغامت عيونهم قبل أن يشعروا بالحاجة إلى تنفس الأوكسجين. بعدئذ استعاد كل من تيساندييه وكروس سپينللي فترة وجيزة من الزمن، وعيهما وبأوقات مختلفة لكن، وقد أصابهما نقص الأوكسجين بالارتباك، عمل كل منهما على تحرير المزيد من الصابورة، مما ساهم في تفاقم الوضع سوءاً، أو جعل المنطاد يرتفع أكثر وأكثر. وعندما أفاق تيساندييه أخيراً، كان المنطاد على ارتفاع 6000 م وكان يهوي سريعاً. لكن زميليه كليهما كانا قد فارقا الحياة.

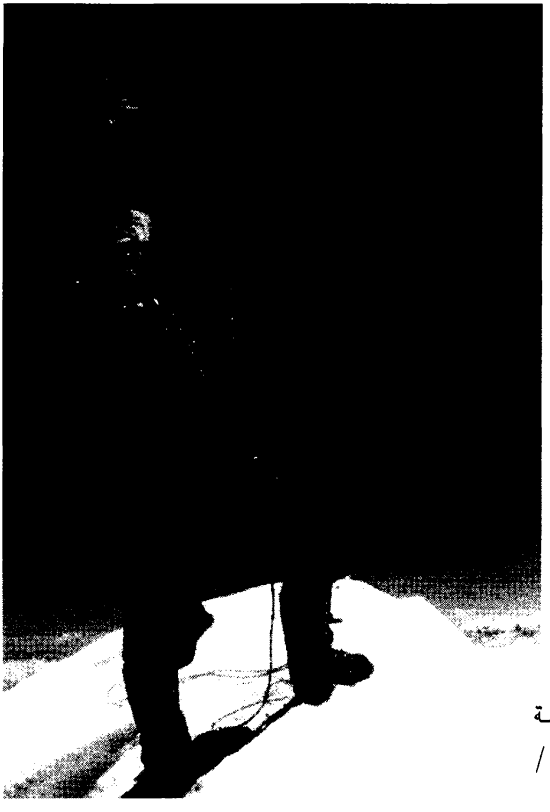
حاول أن يستخدم جهاز الأوكسجين لكنه لم يستطع تحريك ذراعيه. مع ذلك، وبعيداً عن الشعور بأنه معني، فقد كتب: «لا يعاني المرء على أي حال، بل العكس صحيح إنه يشعر بفرح داخلي وكأنه ممتلئ بفيض مشع من النور. كما يصبح غير مبال ولا يعود للتفكير بالوضع الخطر أو بالخطر أصلاً».

صعود إيرست

مع ظهور رياضة التسلق، أصبحت آثار دوار الجبال معروفة على نطاق أوسع ومفهومة على نحو أفضل. لقد قدر، في أواسط عشرينيات القرن العشرين، أن باستطاعة الناس أن يتسلقوا إلى ارتفاع 8000 م ويبقوا هناك سالمين بضعة أيام، شريطة أن يكونوا قد قضوا أسابيع كثيرة على ارتفاع متوسط وتأقلموا تدريجياً. وعلى العكس، حين يتعرضون لضغط بارومتري مماثل في حجرة إزالة الضغط، فإنهم سيغيبون عن الوعي خلال بضع دقائق.

في سنة 1953، تمت الرحلة البريطانية إلى قمة إيڤرست، بقيادة السير جون هونت (اللورد فيما بعد)، وكان كل من فيها يدرك جيداً أهمية التأقلم. إن المسيرة الطويلة من كتماندو وإلى خمبو، عند أسفل الجبل، استغرقت عدة أسابيع وفرضت فترة إجبارية من التأقلم. فمعظم الطريق كان على ارتفاع 1800 م، مرتفعاً أحياناً إلى 3600 م. بعدئذ، كرست أربعة أسابيع أخرى للتأقلم في منطقة خمبو (4000 م) قبل أن يحاولوا إقامة مخيمات أعلى في الجبل. كذلك تبنى الفريق سياسة محددة وهي إقامة تلك المخيمات على الارتفاعات التي يستطيعون فيها أن يناموا ويأكلوا بسهولة. ثم النزول إلى ارتفاعات أدنى لقضاء فترات راحة لبضعة أيام ينتعشون ويستعيدون توازنهم، وهي العملية التي اعتمدتها معظم الرحلات الحديثة، وكان لها، كما سنرى، أساس فزيولوجي سليم.

كذلك، كان هناك، وللمرة الأولى، سياسة شاملة تقوم على استخدام



تنزينغ نورغي، وقد صوره على قمة إيڤرست إدموند هيلاري في 29 أيار / مايو 1953، أول صعود ناجح

أوكسجين إضافي، حيث الأوكسجين لم يكن، سابقاً، يستخدم على نطاق واسع، لأن ثقة معظم المتسلقين بالجهاز المخترع حديثاً كانت ضئيلة، فيما كان الجهاز القديم ثقيلاً جداً. على ارتفاع 6500 متر، بدأت حملة إيڤرست باستخدام الأوكسجين كي يساعد في النوم (بمعدل ليتر بالدقيقة) وكذلك أثناء التسلق 4 ل.د. لكن حتى مع توفر هذه المزية، فقد أدت آثار الارتفاع إلى نوع من الضرر بجسدي التدريجي وفقدوا جميعاً شيئاً من وزنهم، بل أصبحوا أحياناً معوَّقين بشكل حاد، تماماً كما يصف هونت ذلك خطياً:

«أصبح تقدمنا أبطأ وأكثر إنهاكاً. فكل خطوة عمل شاق يقتضي جهداً إرادياً للقيام به. لكن ما إن يسير بضعة خطوات وبإيقاع جنائزي حتى يتحتم الوقوف لاستعادة ما يكفي من القوة للمتابعة. كنت من قبل قد بدأت ألهث

متقطع الأنفاس... فيما بدت رئتاي وكأنهما على وشك الانفجار، لقد كنت أئن وأتأوه وأنا أكافح للحصول على هواء كافٍ، إنها تجربة فظيعة مرعبة، لم أكن أملك فيها القدرة على ضبط ـ الذات».

فيما بعد، اكتشف سبب هذه الصعوبة الشديدة. فالأنبوب الذي يصل قناع هونت الوجهي بزجاجة الأوكسجين كان قد سد تماماً بالجليد بحيث لم يكن يتلقى أي أوكسجين، وهكذا لم يكن يحمل جهاز الأوكسجين الثقيل وحسب، بل لم يكن يحصل على أي فائدة منه! في وقت لاحق، كتب هونت، واصفاً رحلته إلى إيڤرست: «سوف أخص الأوكسجين بذكر خاص... فهو فقط، برأيي، كان بالغ الأهمية بالنسبة إلى النجاح. ولولا الأوكسجين، ما كنا بالتأكيد لنصل إلى القمة».

في 29 أيار / مايو 1953 اقتحم إدموند هيلاري وشيرپاتنزينغ نورغي قمة إيڤرست ليصل الخبر إلى لندن في 2 حزيران / يونيو أي تماماً وقت تتويج صاحبة الجلالة الملكة إليزابيث. أعلنت ذلك مكبرات الصوت على طول طريق التتويج فقابلته بالهتاف والتهليل حشود الناس. وفي «مخيم القاعدة»، دهش الفريق الناجح وهو يسمع أخبار نجاحه تذيعها إذاعة عموم الهند، ذلك أن مراسل التايمز، جيمس موريس كان قد غادر مخيم القاعدة المتقدم في 30 أيار / مايو كي يرسل مقالته. ولكي يحتفلوا، أطلقوا اثنتي عشرة قنبلة هاون، كهدية من الجيش الهندي إلى الثلوج.

لقد أدى استخدام الأوكسجين لقهر إيڤرست إلى الاعتقاد بأنه كان من المستحيل البقاء على قيد الحياة فوق القمة لولا المساعدة. والواقع أن د. غريفيث بوغ، وهو فزيولوجي شارك في الحملة الأولى للوصول إلى قمة إيڤرست، ادعى أن «الرجال الاستثنائيين وحدهم هم الذين يستطيعون الصعود فوق 8200 م بغير أوكسجين إضافي». وقد دعم تقريره هذا عدد من الحوادث المأسوية ذهب ضحيتها نخبة من المتسلقين كانوا يتسلقون بغير

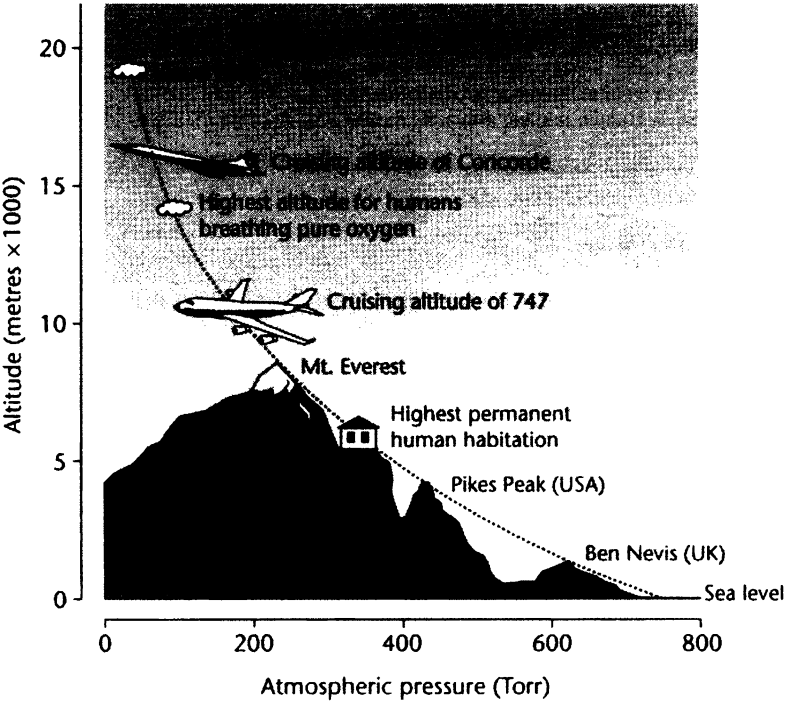
مساعدة، وكانوا يموتون عادة بسبب الإجهاد الناجم عن نقص الأوكسجين ما كان يجعلهم يترنحون بشدة ثم ينزلقون ليواجهوا حتفهم. لكن بقدر ما كان الأمر يتعلق بفزيولوجيا الارتفاعات العالية، فإن قوة إرادة المتسلقين وتصميمهم برهنا أن الفزيولوجيين على خطأ. إذ استطاع، سنة 1978، كل من پيتر هابلر وراينولد ميسنر أن يتسلقا إيڤرست دون أوكسجين. ثم كرر تلك المأثرة كثيرون آخرون، بمن فيهم سنة 1988 أول امرأة وهي ليديا بريدي (إلاَّ أن زعمها هذا كان موضع خلاف، نظراً لأنها تسلقت وحيدة وبذلك لم تستطع أن تثبت عملياً إن كانت قد وصلت إلى القمة أم لا).

يتضح من هذه الروايات أنه لا بد من التمييز بين آثار الصعود المفاجئ إلى الارتفاعات، كما يمكن أن يحدث في رحلة بالمنطاد أو حين يفقد فجأة ضغط حجرة الطائرة، وبين آثار صعود تدريجي أكثر، والنموذج الأمثل له هو التسلق البطيء إلى ذروة جبل، حيث يأخذ المرء وقته اللازم للتأقلم. أمّا آثار الإقامة مدى الحياة في الارتفاعات العالية فتشكل حالة ثالثة.

استطراد بخصوص الضغط البارومتري

يعتبر إيڤانجليستا توريشللي أول من أدرك أن للهواء وزناً. ففي رسالة إلى أحد زملائه بتاريخ 1644، كتب توريشللي «إننا نعيش غارقين في قاع محيط من عنصر هو الهواء الذي يُعرف بالتجربة، التي لا ريب فيها، أن له وزناً. كذلك يشتهر توريشللي، وهو تلميذ غاليليو، بأنه صنع أول مقياس زئبقي لقياس الضغط الجوي (وهو الضغط الذي يشكله وزن الهواء نفسه).

إن النقص في كثافة الهواء مع الارتفاع إنما يعني أن الضغط الجوي يتناقص كلما ارتفع المرء أعلى وأعلى. لقد أوضح هذا، أول مرة بليز پاسكال في ما وصفه، وعلى نحو جذاب، «بالتجربة العظمى»، ليستخلص بكل بساطة أن الضغط يقل كلما ارتفع المرء أعلى، وذلك لأن وزن الهواء الضاغط على القمة يكون أقل.



أثر الارتفاع على الضغط الجوي وعلى الضغط الجزئي للأوكسجين في الهواء. لا يتناسب الانخفاض في الضغط الجوي تناسباً خطياً مع الارتفاع ذلك أن الهواء قابل للانضغاط وينسحق تحت ثقل الجو في أعلاه، لهذا يزداد الضغط بسرعة أكبر مع الاقتراب من الأرض.

حتى فترة حديثة جداً، كانت الوحدات المستخدمة في قياس الضغط الجوي (تور) تدعى باسم الإيطالي توريشللي اعترافاً بإسهاماته الهامة. لكن رسمياً الآن، حل محل تور وحدة جديدة للضغط تدعى باسم الفرنسي پاسكال، وهو التغيير الذي، كما يمكن أن نتصور، لم يمر دون اعتراض وجدل. مع ذلك، ولأن الكثير من الأبيات القديمة تستخدم المصطلح تور، ولأن الكثير من الفزيولوجيين ما زالوا، يستخدمون هذا المصطلح فقد فعلت ذلك هنا أيضاً.

يكون الضغط الجوي (أو البارومتري) على مستوى سطح البحر نحو 760 تور (مليمتر زئبقي) ويشكل الأوكسجين 21 بالمئة من الهواء 0,04 في

المئة ثاني أوكسيد الفحم[4] والبقية آزوت خالص تقريباً. وهكذا فإن الضغط الذي يحدثه الأوكسجين على سطح البحر، والمعروف باسم الضغط الجزئي للأوكسجين، هو 159 تور (أي 21 بالمئة من الـ 760 تور). على قمة إيڤرست، يكون محتوى الهواء من الأوكسجين بالنسبة نفسها، لكن، نظراً لأن الضغط البارومتري ينخفض إلى نحو 250 تور فإن الضغط الجزئي للأوكسجين في الهواء ينخفض بالنسبة والتناسب نفسيهما. وأكثر من ذلك، فإن التناقص النسبي في الضغط الجزئي للأوكسجين في الرئتين يكون أكبر حتى مما هو في الجو. هذه الحقيقة المفاجئة نوعاً ما تنشأ لأن الجسد يطلق قدراً مهماً من بخار الماء الذي يحد تواجده في الحويصلات الرئوية ـ وهي الجيوب الهوائية الصغيرة التي يتم بها التبادل الغازي بين الهواء الموجود في الرئة والهواء المنحل في الدم ـ من الفراغ المتاح للأوكسجين، وهي حقيقة تصبح مهمة بصورة متزايدة في الارتفاعات العالية.

يكون هواء الرئتين، على أي ارتفاع، مشبعاً ببخار الماء الذي ينتجه الجسم، وهو أمر تمكن رؤيته بجلاء في يوم بارد عندما يتكثف البخار الذي ينطلق مع أنفاسك خارجاً إلى الهواء البارد، مشكلاً سحابة صغيرة، وللبخار هذا ضغط جزئي مقداره 47 تور، مما يعني أنه حين يكون الضغط الجوي 47 تور، وهو ما يحدث على ارتفاع 19000 م، فإن الرئتين ستكونان

(4) نسبة CO_2 في الجو بالضبط هي دائماً موضع خلاف. ففي مطلع القرن العشرين كانت قد حددت بحيث تراوح بين 0,04 بالمئة و0,033 بالمئة ثم قام ج.س. هالدين بتجربة على سطح المختبر الفيزيولوجي في أكسفورد، في محاولة منه للحصول على القيمة بالضبط. أمّا اليوم، فالقضية هي ما إذا كانت نسبة الـ CO_2 في الجو ترتفع كنيجة لاستخدام الوقود الأحفوري أم لا. ومن المثير للاهتمام أن نسبة الـ CO_2 هذه تختلف من مكان إلى آخر على سطح الكرة الأرضية، فعندما تهبط درجة الحرارة دون 70° مئوية، كما يمكن أن يحدث في القطب الجنوبي، يتجمد الـ CO_2 وتهبط نسبته إلى الصفر. هذه الظاهرة أكثر تطرفاً حتى على المريخ حيث الجو كله CO_2 تقريباً، لذا يرق خلال الشتاء عندما تتجمد الـ CO_2 ثم يعود فيتشكل فقط في الربيع عندما ترتفع درجة الحرارة ويتبخر الغاز الجامد.

بليز پاسكال (1623 ـ 1662) يحظى بشرف كونه أول إنسان يبيِّن بصورة علمية أن الضغط الجوي ينخفض مع الارتفاع. لم يقم پاسكال بالتجربة بنفسه عملياً، بل أقنع ابن حميه وعدداً آخر من الناس المعتبرين في المدينة بأن يتسلقوا البوي دي دوم في أواسط فرنسا ويحملوا معهم مقياس ضغط ليقيسوا ما إذا كان الضغط ينخفض أم لا. فيما ترك مقياس ضغط آخر في بلدة كليرمونت تحت حراسة الأب المحترم شاستين (الذي كتب عنه للذكر بـ «أنه رجل سام بقدر ما هو مكين») وذلك بغرض الضبط والتحكم. وقد لوحظ أن المقياس الذي أخذوه إلى القمة هو وحده الذي تغير.

مشغولتين تماماً ببخار الماء، دون أي فراغ للأوكسجين أو الغازات الأخرى. وهكذا يزداد الكسر العشري للضغط الغازي في الرئتين والعائد لبخار الماء بتزايد الارتفاع ليرتفع من 6 بالمئة على مستوى سطح البحر إلى 19 بالمئة على قمة إيڤرست.

يساعد تواجد بخار الماء في الحويصلات الرئوية في تفسير لماذا يكون الضغط الجزئي للأوكسجين في الحويصلات الرئوية أدنى مما هو في الجو (وكون الجسم يستخلص الأوكسجين من الهواء هو، في الحقيقة، عامل مساهم أيضاً) وذلك يحدد جسدياً أيضاً الارتفاع الذي يمكن للبشر أن يصعدوا إليه، والذي يمكن فيه الحفاظ على نسبة الأوكسجين العادية للرئتين (100 تور) يأخذ الأوكسجين النقي، وهو ارتفاع 10400 م تقريباً، أي الارتفاع الذي يسيَّر عليه معظم الطيران التجاري. على أنه يمكن للإنسان أن يعيش على ارتفاعات أعلى لأن تزايد التنفس يطلق بعضاً من ثاني أوكسيد الفحم الموجود في الرئتين وبذلك يوفر فسحة أكبر للأوكسجين. لكن فوق 12200 ـ 13700 م يمكن أن يحدث نقص حاد في الأوكسجين ويفقد الإنسان الوعي. أما فوق 18900 م، فإن الدم «يفور» (أي عملياً يتبخر) بحرارة الجسم نفسها.

وهو يفسر لماذا يحتاج الإنسان إلى بذلة أو حجرة مضغوطة، ذات إمدادات من الهواء محتواة ـ ذاتياً، في الارتفاعات العالية جداً أو رحلات الفضاء (انظر الفصل السادس).

مخاطر إزالة الضغط المفاجئة

«في حال الفقدان المفاجئ لضغط الحجرة، تنزل أقنعة الأوكسجين من أماكنها فوق رؤوسكم». إن التزايد الهائل في السفر جواً خلال الخمس وعشرين سنة الماضية إنما يعني أن معظمنا يألف هذه الكلمات، رغم أن القلة القليلة منا، لحسن الحظ، جرَّبت مثل هذه الحالة الطارئة. تسير معظم طائرات النقل على ارتفاع نحو 10400 م، فإذا انفتحت نافذة في ارتفاع كهذا، سيصحب ذلك صوت عالٍ للهواء وهو يندفع خارج الحجرة إلى أن يتوازن الضغط في الداخل مع الضغط الخارجي. نتيجة لذلك، فإن الأشياء الفالتة، الناس غير المثبتين بأحزمة يمكن أن يتدفقوا مع الهواء إلى الخارج فيما تمتلئ حجرة الطائرة بضباب خفيف مع هبوط في درجة الحرارة إلى ما يساوي مثيلتها في الخارج مما يؤدي إلى تكثف بخار الماء في الهواء. إنه لأمر حيوي أن تلبس قناع الأوكسجين بسرعة، نظراً لأن مستوى الأوكسجين في رئتيك سوف يهبط على الفور وتفقد وعيك خلال أقل من ثلاثين ثانية. غير أن الوقت «النافع» الذي يستطيع القبطان أن يقوم بإجراء تصحيح له، هو أقل حتى نحو خمس عشرة ثانية فقط. لقد أغمي على أحد الطيارين لأنه ارتفع بطائرته عندما أزيل ضغط قمرته فجأة وانحنى لالتقاطهما قبل أن يلبس قناعه الأوكسجيني، لكن لحسن الحظ لم يقع مساعده في الخطأ نفسه.

يكون الضغط الجزئي للأوكسجين في الرئتين على ارتفاع 10400 م، وأنت تتنفَّس هواء غير مضغوط، نحو 20 تور، وهو أدنى بكثير من المطلوب للحفاظ على الحياة. لكن عندما تتنفس الأوكسجين النقي، ترتفع إلى نحو 95 تور، وهو كافٍ للبقاء على قيد الحياة إذا كنت تجلس بهدوء،

إلاَّ أنه غير كافٍ إن كنت تجهد نفسك. وهذا هو السبب الذي يفسر لماذا يدرب ركاب الطائرة على الجلوس بسكينة إلى أن تستوي الطائرة على ارتفاع معقول (السبب الآخر هو أن الطائرة تكون في وضع ميلان حاد لتكسب ارتفاعاً أو تفقد ارتفاعاً بسرعة).

في أوائل الحرب العالمية الثانية اتضح انخفاض القدرة على ممارسة الجهد في الارتفاعات العالية أيما اتضاح. إذ رغم أن رماة الرشاشات الخلفية للقاذفة التي تطير على ارتفاع 5500 متر كانوا متنبهين تماماً وهم يجلسون وراء رشاشاتهم يتنفسون الهواء، فإنهم، حين حاولوا أن يزحفوا راجعين إلى القسم الرئيسي من الطائرات، أُصيب كثيرون منهم بالإغماء. السبب هو أن الحاجة المتزايدة للأوكسجين من قبل العضلات العاملة لم يستطع تلبيتها مما كانوا يأخذونه من الهواء، وبذلك انخفض الأوكسجين المتاح للدماغ إلى ما هو أدنى من المطلوب لبقاء الوعي. لكن، إذا كان المرء يجلس بهدوء، يمكنه أن يرتفع إلى 7000 متر، وهو يتنفس الهواء في طائرة غير مضغوطة، قبل أن يفقد وعيه، وهو ارتفاع، كما يمكن ملاحظته، أدنى بكثير من قمة إيڤرست.

على أن الحالة الأكثر حذراً من إزالة الضغط الفورية إنما هي الفقدان البطيء لضغط الحجرة نظراً لأن الانخفاض التدريجي في نسبة الأوكسجين قد لا تظهر مباشرة نتيجة لذلك. قد لا يدرك الطيار أن ثمة خطأ ما وبالتالي يخفق في اتخاذ إجراء تصحيحي. مثل هذا النقص التدريجي في الأوكسجين، كما وصفه المنطاديون الأوائل بكل وضوح، يمكن أن يولد مشاعر بالنشوة والجذل ويؤدي إلى فقدان التركيز وإضعاف المقدرة على الحكم، لينجم عنه في النهاية انخفاض في القدرة العضلية، فقدان الوعي، الغيبوبة ومن ثم الوفاة. هذه الآثار تنجم عن عجز الجسم عن التكيف بسرعة كافية مع انخفاض نسبة الأوكسجين في الهواء على ذلك الارتفاع.

إن الحد المسموح به للطيران بلا أوكسجين في حجرة غير مضغوطة هو 3000 متر، برغم أنه يتم استخدام الأوكسجين عادة بدءاً من ارتفاع 2400 متر لضمان هامش سلامة جيد. يضغط الهواء في طائرات النقل التجارية على ارتفاع 1500 ـ 2400 متر فوق سطح البحر، نظراً لأن الوزن والكلفة المطلوبين للحفاظ على فارق ضغط أكبر على جدران الحجرة يقفان مانعاً. كما أنه غير ضروري، نظراً لأن الضغط الجزئي للأوكسجين، على هذا الارتفاع، يكون كافياً لضمان أن الدم سيكون مشبعاً تماماً بالأوكسجين بشكل عادي. غير أن مرضى القلب والرئتين قد لا يكونون قادرين على التكيف مع نقصان مستويات الأوكسجين وقد يحتاجون إلى الأوكسجين أيضاً في أثناء الطيران. إن تعديل ضغط الحجرة بالنسبة إلى ذلك الموجود على الأرض، والعكس بالعكس، هو السبب في «فرقعة» الأذنين التي يعاني منها الركاب أثناء هبوط الطائرة وإقلاعها عن مستوى سطح البحر (وهي الظاهرة التي سنفسرها بتفصيل أكثر في الفصل الثاني).

خلافاً لطائرات النقل التجارية، ثمة الكثير من الطائرات المقاتلة ذات الأداء العالي، غير مضغوطة أو تضغط فقط بدءاً من ارتفاع 7600 متر. ذلك أن الوزن الإضافي الذي ينجم عن ضغط الحجرة ضغطاً كاملاً قد يجعل الطيار أقل قدرة على المناورة بكثير. نتيجة لذلك يتعيَّن على الطيار أن يلبس قناعاً وجهياً محكم السد ويتنفس مزيجاً من الهواء والأوكسجين النقي. يعدل المزيج بصورة آلية وفق الارتفاع بحيث يضمن أن يتلقى الطيار كفايته من الأوكسجين، لكن الأكثر بكثير يسبب له التسمم بالأوكسجين (انظر الفصل الثاني). لكن فوق 11500 متر، يتعيَّن على الطيار أن يتزود بالأوكسجين النقي المضغوط. إن تنفسه الهواء المضغوط يبدو وكأنه أمر غريب أو خلافاً للتنفس العادي، حيث الشهيق، أي استنشاق الهواء عملية إيجابية فاعلة والزفير سلبي منفعل يحدث فقط حين تسترخي عضلات الصدر، فإن الهواء المضغوط يملأ الرئتين وهما في حالة سلبية منفعلة فيما يتعين إخراجه وهما

في حالة إيجابية فاعلة. بذلك، يمكن أن يكون التنفس المضغوط عملاً شاقاً تماماً. لكن ثمة مشكلة أخرى هي أن الرئتين قد تنفجران إذا ازداد ضغط الغاز زيادة شديدة، وذلك أشبه نوعاً ما بالضفدع المعتد بنفسه في حكاية إيسوب، ذلك الضفدع الذي نفخ صدره إلى أن انفجر. لكن إذا ما توفر ضغط ما خارجي قابل لدعم جدار الصدر، يمكن للرئتين أن تتحملا ضغوطاً غازية أعلى. لهذا يلبس طيارو القوات الجوية بذلة ضغط مضاد في الارتفاعات العالية. إنها بشكل أساسي بذلة محكمة السد تنفخ حول الصدر والبطن بهواء ذي ضغط جوي منخفض ويستخدمها الطيارون العسكريون فوق 12000 متر تجنباً لخطر زوال الضغط الانفجاري إذا ما تشقق غطاء الطائرة (بشظية، مثلاً). مثل هذه البذلة لبستها جودي ليدن حين قامت بانزلاقتها المعلقة من منطاد على ارتفاع 12000 متر فوق البادية الأردنية سنة 1996، وقد ضربت، بفعلها ذلك، الرقم القياسي المسجل عالمياً للانزلاق المعلق.

تصمم الطائرات المدنية بحيث يستغرق، إذا ما أصيبت نافذة بعطل ما، خروج الهواء وانخفاض الضغط بضع ثوان (وهذا أحد الأسباب التي تفسر لماذا نوافذ الكونكورد صغيرة جداً). لكن إذا ما أصيبت طائرة مقاتلة بقذيفة أو اضطر طيارها إلى الخروج منها لسبب طارئ بأن يقذف نفسه خارج غطاء القمرة وهو على ارتفاع عالٍ، فإن زوال الضغط يمكن أن يتم بسرعة كبيرة جداً. كذلك يدرب الطيارون على التنفس خلال إزالة الضغط ليمنعوا تمدد الهواء اللاحق من أن يمزق رئاتهم. كما أنهم يكونون عرضة للإصابة «بالالتواء» الذي يحدث عندما تنطلق الغازات المنحلة في سوائل الجسم على شكل فقاعات من المحلول حين ينخفض الضغط. تحاكي مشكلات تمدد الغاز لدى إزالة الضغط في الارتفاعات تلك المشكلات التي يعاني منها الغواصون الصاعدون من الأعماق والتي نتفحصها في الفصل الثاني بعمق أكثر.

تطير الكونكورد، على عكس معظم الطيران التجاري، على ارتفاع

15000 ـ 18000 متر. وهذا ارتفاع أعلى بكثير من الحد الذي يمكن فيه البقاء حياً (السقف هو نحو 14000 متر) حتى وإن كنت تتنفس الأوكسجين النقي المضغوط. ذلك أن الضغط البارومتري المنخفض في هذه الارتفاعات يعني، كما شرحنا من قبل، أنه وبكل بساطة لا يوجد فراغ كافٍ في الرئتين للمقدار الضروري من الأوكسجين، كما أنه قريب من الحد الذي تبدأ فيه سوائل الجسم بالتبخر في درجة حرارة الجسم (18900 متر)، لذلك فإن زوال الضغط المفاجئ في طائرة الكونكورد تطير على مثل ذلك الارتفاع يحتمل أن يكون قاتلاً، وهي الحقيقة التي قد لا يعيها، لسعادتهم، الكثير من المسافرين.

دوار الجبال الحاد

على الرغم من أن قلة من الناس يمكن أن تعاني من زوال ضغط مفاجئ في طائرة. فسهولة السفر المتزايدة وانتشار شعبيته، عطل المغامرات في السنوات الأخيرة إنما يعني أن الكثير باتوا يعرفون تأثيرات دوار الجبال. إن الرحلة إلى أسفل قمة إيڤرست باتت عملاً سياحياً مألوفاً، وآلاف الأشخاص غير المدربين يقومون بمثل هذه الرحلة إلى «مخيم القاعدة»، فيما يجري سباق ماراتون بصورة منتظمة على سفوح الجبل. وفي جبال الأندز، ثمة أعداد كبيرة من الناس كل سنة. تأخذ طريق الإنكا، من كوسكو إلى مدينة ماتشوبيتشو القديمة، وهو الطريق الذي يلتف عبر ممرات مدهشة وعلى ارتفاع 4500 متر. ونظراً لأن من الممكن الوصول إلى أعالي الأندز بسكة الحديد أو الطائرة، فإن دوار الجبال مرض شائع، فالمسافرون جواً إلى لاباز، عاصمة بوليفيا، التي تقع على ارتفاع 3500 متر، ينصحون بألاَّ يجهدوا أنفسهم كثيراً لدى وصولهم، ومع ذلك فإن عدة رجال أعمال يموتون كل سنة بسبب نوبات قلبية أو جلطات دموية ناجمة عن الارتفاعات العالية.

تحدث أعراض مرض الجبال عادة لدى سكان الأراضي الواطئة عندما يصعدون إلى ما يزيد عن 3000 متر. لكن، إذا ما أتيح لهم الوقت، فإن معظم الناس يكونون قادرين على التكيف. بيد أن الارتفاع فوق 4800 ـ 6000 متر، وهو العلو الذي وصلته أعلى الجماعات السكانية الآندية والهملاوية، يجعل من المستحيل على الإنسان تحقيق مزيد من التكيف، لذا تبدأ بالتراجع تدريجياً كافة مجالات الأداء. بل حتى بالنسبة إلى أشد الأفراد تكيفاً، يصبح الصعود فوق 7900 متر خطراً وينبغي أن يقتصر على بضع ساعات. يشير المتسلقون إلى هذا الارتفاع بوصفه «منطقة الموت»، نظراً لأن المكوث الطويل هناك يسبِّب عطباً جسدياً سريعاً. وهذا هو السبب في أن مخيمات الحملات تقام على ارتفاعات أدنى ثم يتم الصعود في اندفاعة نهائية إلى القمة بهدف المكوث فوق ارتفاع 7900 متر أقصر فترة ممكنة.

يبدأ دوار الجبال خلال ثماني إلى ثماني وأربعين ساعة عقب صعود سريع إلى ارتفاع عالٍ. بادئ ذي بدء تشعر بخفوت رأس غالباً ما يكون مسبباً للنشوة، لكن بعد بضع ساعات، يتلاشى هذا الشعور لتشعر بأنك متعب على نحو لا تفسير له، مما يتطلب منك جهداً غير عادي لكي تمشي، فيما يغدو الركض وبكل بساطة ليس الخيار المطروح. يتفاقم إحساسك بصعوبة المشي سوءاً بفعل مشاعر الدوار التي قد تسبب لك فقدان توازنك. كما يصعب عليك النوم وإذا نمت تهب فجأة من النوم مرات كثيرة خلال الليل، يصحب ذلك شعور مزعج بأنك على وشك الاختناق. كذلك تصاب بصداع حاد، فقدان شهية، شعور بالغثيان، بل قد تتقيأ. كما أن النزف من الأوعية الدموية الصغيرة في شبكية العين أمر شائع، لكن هذه تشفى عادة دون أن تترك عطباً دائماً.

تختفي هذه الأعراض المزعجة لدى معظم الناس بعد بضعة أيام، كونها، أحياناً، قد تتطور إلى وزمة رئوية تهدِّد الحياة بالخطر، إذ تصبح فيها الرئتان مليئتين بالسائل. وعلى نحو نادر قليلاً، يتورم الدماغ وهي الحالة

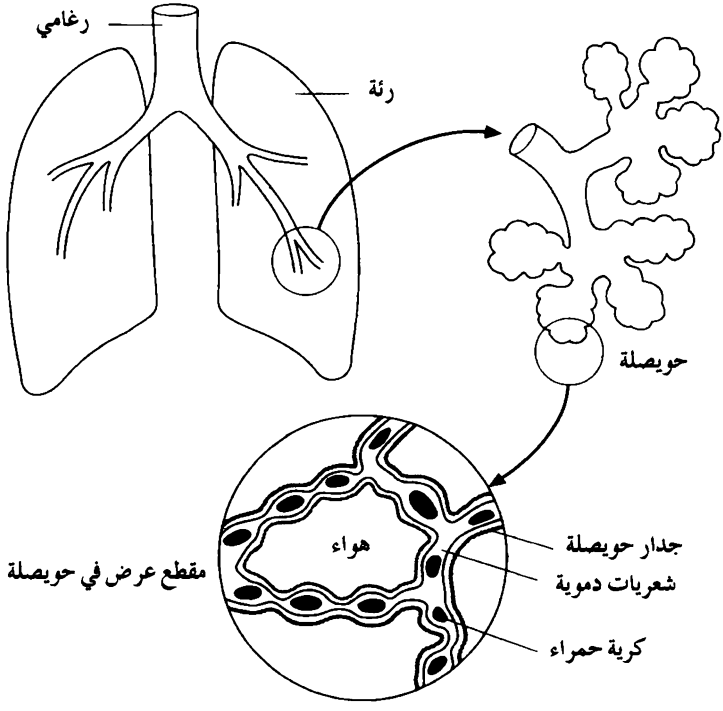
المعروفة باسم الوزمة الدماغية التي يشكو فيها المريض من صداع فائق، فقدان توازن ورغبة شديدة في الاستلقاء أرضاً وعدم فعل أي شيء، ليعقب هذا، وبسرعة، غيبوبة ثم وفاة. وعلى الرغم من أن الأوكسجين يمكن أن يكون مفيداً في دوار الجبال، وفي الوزمة الرئوية والدماغية، إلاّ أن العلاج الحقيقي الوحيد هو الإسراع أو الهبوط إلى ارتفاعات أدنى. وإنه لخطأ قاتل أن تدفع المال لحمال كي يحملك أعلى وأعلى في الجبل، كما عرف عن بعض السياح في جبال الهملايا.

لقد قدم لنا إدوارد ويمپر وصفاً تصويرياً من الطراز الأول لآثار دوار الجبال الذي يصيب الإنسان بالعجز، فخلال صعوده الأول لقمة شيمبورازو سنة 1879، أصيب هو ودليلاه، جان أنطوان ولويس كارل، بالعجز نتيجة الهواء المخلخل على ارتفاع نحو 5000 متر.

«خلال ساعة تقريباً، وجدت نفسي أستلقي على ظهري، جنباً إلى جنب مع الدليلين كارل، وقد صرنا خارج المعركة»، عاجزين عن القيام بأقل جهد. أدركت أن العدو انقض علينا وأننا نعاني من الهجمة الأولى لدوار الجبال. انتابتنا الحمى، كما أصابنا صداع شديد وبتنا عاجزين عن تلبية حاجتنا من الهواء إلاّ إذا تنفسنا وأفواهنا مفتوحة، الأمر الذي بدأ يخرش البلعوم. وإضافة إلى أننا أسرعنا إلى حد كبير من معدلنا العادي في النفق، فقد وجدنا أن من المستحيل الحفاظ على حياتنا دون أن نقوم من حين إلى آخر بشهقات تشنجية، تماماً كأسماك أخرجت لتوها من الماء.

يواجه نحو 40 بالمئة من الناس الذين يرتحلون فوق 14000 متر، شكلاً من أشكال دوار الجبال، رغم أنه قد لا يكون حاداً كذاك الذي أصيب به ويمپر والأخوين كارل، على أنه يصعب التكهن من سيصاب به ومن لا يصاب، إذ لا علاقة له باللياقة البدنية، فصفوة المظليين يمكن أن يصابوا به بينما لا تصاب جداتهم الهشات به. سبب دوار الجبال الحاد غير معروف بصورة مؤكدة، لكن يذهب الظن إلى أن كلاً من انخفاض نسبة الأوكسجين

في الدم والانخفاض في حموضة الدم (انظر فيما يلي) أمر مهم. كما يعتقد بعض الباحثين أن هذا يؤدي إلى انتقالات في سوائل الجسم وإلى وزمة دماغية خفيفة، وقد دعم هذه النظرية قياسات (فورالد) الدماغي التي أجريت على ارتفاعات تصل إلى 5300 متر.



تتكوَّن الرئة من سلسلة أنابيب متفرعة تصبح أرق وأدق مع كل انقسام وتنتهي إلى أكياس هوائية صغيرة تدعى الحويصلات. ثمة نحو 150 مليون حويصلة في كل رئة، جدرانها رقيقة للغاية تحيط بها شبكة من أوعية دموية أدق (تدعى الشعريات)، يشبه دفق الدم في جدران الحويصلات بـ «صحيفة» من الدم المتدفق على سطح هذه «الصحيفة» يتم تبادل الغاز من الهواء الموجود في الحويصلات والدم الموجود في الشعريات والمساحة السطحية للحويصلات التي تبلغ حوالي 70 متراً مربعاً، أي مساحة ملعب تنس تقريباً.

تبدو الوزمة الرئوية، أي حين تمتلئ الرئتان بالسائل، وكأنها تنجم عن رد فعل الأوعية الدموية الرئوية تجاه انخفاض نسبة الأوكسجين في الرئتين، وهو ما يحدث في الارتفاعات العالية. أما على مستوى سطح البحر، فإن انخفاض نسبة الأوكسجين في حويصلة رئوية واحدة يدل عادة على أن هناك حاجزاً يسد مجرى الهواء. وبما أن الدم يكون بكل وضوح غير كافٍ للانتشار في تلك الحويصلة وإروائها، فإن الأوعية الدموية المحلية تتقلص، منغلقة أمام دفق الدم، محولة إياه إلى مناطق أخرى أفضل تهوية. ولسوء الحظ أنها لا تستطيع التمييز بين انخفاض نسبة أوكسجين حويصلي بسبب انخفاض دفق الهواء وبين ذلك الناجم عن نقص في الضغط الجزئي للأوكسجين الموجود في هواء الشهيق. لذا، وعلى نحو حتمي، تتقلص الأوعية الدموية الرئوية في الارتفاعات العالية. مع ذلك، ثمة بعض الأوعية أكثر حساسية تجاه نقص الأوكسجين من أوعية أخرى، لهذا فإن التقلص الوعائي يكون على شكل بقع فقط، مما يدفع مزيداً من الدم عبر الشعريات التي تظل مفتوحة، لينتج زيادة في الضغط الدموي الرئوي يجعل السائل يتسرب منها ويتراكم في الجيوب الهوائية أو ما بينها. يشابه هذا الوضع ذاك الذي يحدث حين تسد بعض الثقوب في مرشة ببقايا كلسية، مما يجعل ضغط الماء الذي يخرج من الثقوب الأخرى غير المسدودة أعلى بكثير. ونظراً لأنه ما من سائل يتسرَّب من الشعريات عالية الحساسية (التي هي مغلقة طبعاً) فإن الوزمة تكون على شكل بقع، كما لاحظ أحد الخبراء وعلى نحو جدير بالتذكر. «تبدو الرئة وكأنها ملأى بقذائف مدفعية».

يعيق السائل الموجود في الكيس الهوائي تبادل الغاز فيغدو التنفس شاقاً بل يمكن سماع طقطقات حادة في أسفل الرئتين، ربما سببها صوت تخريص السائل في الرئتين أثناء التنفس. وما لم يعالج فوراً، فإن الضحية يغرق، بالحقيقة في السائل الذي ينتجه. إن الأفراد الذين يصعدون بسرعة إلى ارتفاع 3000 متر ثم يقومون بنشاط جسدي مجهد يكونون عرضة على

نحو خاص للإصابة بالوزمة الرئوية، وهي لا تحدث إلاّ نادراً إذا كان الصعود تدريجياً وتم تحاشي الإجهاد الجسدي في البداية.

وما يتصف بالأهمية الكبرى للمتسلقين، ولأولئك الذين يعيشون ويعملون بصورة دائمة في المرتفعات، إنما هو قدرتهم على القيام بالعمل. إذ من الواضح أنه كلما كان العمل أصعب (والتسلّق أسرع)، ازدادت الحاجة للأوكسجين أكثر. أما لدى سكان الأراضي الواطئة فإن القدرة على القيام بالعمل تنخفض بسرعة في الارتفاعات العالية: والقدرة على العمل على ارتفاع 7000 متر تصبح أقل من 40 بالمئة من مثيلتها على مستوى سطح البحر. كما أن معدل التسلق، بغير أوكسجين، يمكن أن يكون بطيئاً جداً بالحقيقة. ففي 1952 استغرق ريموند لامبرت وتنزينغ نورغي خمس ساعات ونصف الساعة كي يتسلقا 2000 متر فقط على السفح الجنوبي لقمة إيڤرست. أما على قمة الجبل نفسه، فقد وجد رينولد ميستر أنه، هو وزميله پيتر هابلر ينهاران على الثلج، إنهاكاً كل بضع خطوات، بحيث استغرقت المئة متر الأخيرة ما يربو على الساعة.

«إثر كل بضع خطوات، كنا نتكوَّم فوق فؤوسنا الجليدية، مفتوحي الأفواه شاهقين طلباً للأنفاس الكافية لإبقاء عضلاتنا تعمل... على ارتفاع 8800 متر، لم يعد بإمكاننا أن نقف على أقدامنا حين نستريح، فكنا نزحف على ركبنا متمسكين بفؤوسنا... وكل عشر أو خمس عشرة خطوة ننهار على الثلج لنستريح. ثم نزحف من جديد».

مثل هذه الصعوبات يواجهها الأشخاص غير المتأقلمين على ارتفاعات أدنى. غير أن المقيمين الدائمين يتصفون بقدرة ملحوظة على العمل. أما المسافرون جواً الذين يصلون إلى لاباز فيشعرون على الفور بأنهم مرهقون منهكون بسبب رقة الهواء ثم يفاجأون (ويغتمون) إذ يكتشفون أن السكان المحليين يجرون وكأنهم في سباق ماراتون.

في الهواء الرقيق

عندما تصل إلى ارتفاع عالٍ، فإن أول ما تلاحظه هو أن تنفسك بات أسرع. هذه الزيادة في التنفس[5] هي استجابة هامة ومباشرة للانخفاض في الضغط الجزئي للأوكسجين في الهواء، تتيح الإمكانية لإيصال المزيد من الأوكسجين إلى النسج، ويتحقق هذا بواسطة المستقبلات الكيماوية (الجسيمات السباتية) المتوضعة في الشرايين السباتية التي تحس بانخفاض نسبة الأوكسجين في الدم فترسل إشارة إلى مركز التنفس في الدماغ بزيادة التنفس. تقع الجسيمات السباتية في موقع هام لأنها تراقب نسبة الأوكسجين في الدم الداخل إلى الدماغ[6]. أما الآلية التي تحس بها بالتغير في نسبة الأوكسجين فإنها ما تزال موضع جدل حامٍ.

لا يزداد التنفس في البداية، زيادة كبيرة جداً ـ ليس أكثر من 1,65 مرة بالمقارنة مع ذاك على مستوى سطح البحر، بل حتى في الارتفاعات الكبيرة التي تصل حتى 6000 متر. السبب هو أن فرط تهوية الرئتين لا يحسن ما يأخذه المرء من الأوكسجين فحسب، بل يؤدي أيضاً إلى التخلص من المزيد من ثاني أوكسيد الفحم أثناء الزفير. ينتج الجسم ثاني أوكسيد الفحم هذا

---

(5) المصطلح التقني هو التهوية التي تعرَّف بأنها حجم الهواء الذي يتم تنفسه شهيقاً (أو زفيراً) في كل دقيقة. يستنشق الرجل المتوسط نحو نصف ليتر من الهواء في كل نفس كما يأخذ نحو اثني عشر نفساً في كل دقيقة. وبذلك يكون معدل تهويته ستة ليترات/دقيقة، أمّا الحد الأعلى الممكن فهو نحو 150 ل./د. لكنه رقم يمكن أن يحصّله الرياضيون النخبة فقط.

(6) إذا توخينا الدقة نقول، تقيس الجسيمات السباتية الضغط الجزئي للأوكسجين في الدم. وفي الفيزيولوجيا فإن المصطلحات التي تستخدم لوصف نسبة الأوكسجين في الدم ذات معان دقيقة للغاية (وذلك لدواع حسنة جداً). يشير الضغط الجزئي للأوكسجين في الدم إلى الضغط الجزئي للغاز المنحل. أمّا محتوى الدم من الأوكسجين في الدم ـ فإنه مساوٍ تقريباً للأوكسجين المتحد مع الهيموغلوبين (باعتبار أن القليل جداً منه ينحل عملياً في المحلول). لذلك فإنه يتوقف على عدد الكريات الحمر ويزداد عندما يرتفع الهيماتوكريت. أمّا الإشباع بالأوكسجين فمحدد النسبة المئوية للهيموغلوبين الذي ضم إليه الأوكسجين.

كناتج لا فائدة منه لعملية الاستقلاب، وبمقادير كبيرة جداً. إنه ينحل في شكل محلول ليعطي حمض الفحم. إن الكمية التي نزفرها من هذا الغاز تعادل 12,5 ليتراً من حمض القوة الصناعي (أو، وعلى نحو أكثر دقة، 12,5 مول (الوزن الجزيئي الغرامي) من أيونات الهيدروجين كل يوم. ينقل الدم ثاني أوكسيد الفحم من موقعه بحيث تصنعه النسج إلى الرئتين ومن هناك نزفره إلى الجو. لذلك تتفاوت نسبته في الأكياس الهوائية بتفاوت معدل التنفس: فمعدلات التنفس الأعلى تطلق قدراً أكبر من ثاني أوكسيد الفحم كما تخفض كلاً من نسبة تركيز الغاز في الدم والحويصلات على السواء.

يعد ثاني أوكسيد الفحم منظماً قوياً للتنفس (إنه يؤثر على مجموعة مختلفة من المستقبلات الكيماوية الموجودة في الدماغ). فإذا انخفضت نسبته في الدم، انكبح التنفس. بإمكانك أن تجرب هذا على نفسك، ولسوف تجد أن باستطاعتك أن تمسك أنفاسك فترة أطول إذا تنفست بسرعة كبيرة جداً فترة قصيرة من الزمن قبل ذلك (لا تفعل هذا أكثر من دقيقة واحدة وإلاً قد تصاب بالدوخة). السبب هو أن إمساك النفس لا تنهيه الحاجة للأوكسجين بل ارتفاع نسبة ثاني أوكسيد الفحم في الدم. فحين تصل هذه إلى مستوى حرج، تحرضك على أن تأخذ نفساً. أما فرط التهوية قبل إمساك الأنفاس فيطرد ثاني أوكسيد الفحم من الجسم ويتيح إمكانية انقضاء فترة زمنية أطول قبل أن يتراكم هذا الغاز من جديد إلى مستوى يكفي للتحريض على التنفس. والاندفاعات المتضادة من الأوكسجين وثاني أوكسيد الفحم هي التي تفسر لماذا لا يحدث تغير في التنفس على ارتفاعات تقل عن 3000 متر.

ليس الانتقال من سيطرة الأوكسجين على التنفس إلى سيطرة ثاني أوكسيد الفحم بالأمر اللطيف دائماً، بل يمكن أن يؤدي إلى «شطط» أو إلى «تذبذبات» تشبه تلك التي نراها في أجهزة التدفئة المركزية المعدلة تعديلاً سيئاً. يتجلى هذا في تناوب فترات التنفس وعدم التنفس وعلى نحو يمكن أن يكون مزعجاً للمرء ومكرباً لأصحابه. إنه يحدث أكثر ما يحدث في

الليل. تفسير هذا النمط الخاص من التنفس هو أن ازدياد معدل التنفس يتخلله من حين إلى آخر انخفاض في نسبة الأوكسجين في الهواء يؤدي إلى فقدان ثاني أوكسيد الفحم من الجسم وبالتالي يتوقف التنفس. يعقب ذلك اختلاف في طول الفترة التي يتكوَّن خلالها ثاني أوكسيد الفحم ويتراكم في الدم من جديد، وبذلك يخفف هذا الكبح، في الوقت ذاته، تشتد الحاجة للأوكسجين وعلى نحو متزايد فينتهي إمساك الأنفاس بشهقة مفاجئة طلباً للهواء، وهي الشهقة التي قد تكون أحياناً عنيفة إلى حدٍّ يكفي لإيقاظ النائم، ثم تتكرَّر الدورة ذاتها. إن المقاطعة المستمرة للنوم تسهم في صعوبات الحياة في الأعالي وتفسر القول المأثور لدى المتسلقين «تسلُّقٌ عالٍ، نوم منخفض».

إن للانخفاض في نسبة ثاني أوكسيد الفحم في الدم، الذي ينتج عن زيادة التنفس، تأثيراً في تخفيض النسبة الدموية لأيونات الهيدروجين (التي يشار إليها أيضاً بوصفها انخفاضاً في حموضة الدم، أي زيادة في «PH» الدم أو زيادة في قلوية الدم). سبب ذلك هو أن ثاني أوكسيد الفحم يتحد مع الماء لينتج ثاني كربونات وأيونات الهيدروجين في تفاعل تحفزه خميرة تدعى أنهيدرات الفحم، ويظن أن أيونات الهيدروجين الناتجة عن هذا التفاعل هي التي تنظم عملياً معدل التنفس وليس ثاني أوكسيد الفحم نفسه. أما المستقبلات الكيماويات التي تستشعر التغير في أيونات الهيدروجين فتتوضح في قاعدة الدماغ، في منطقة تعرف بالغمد النخاعي.

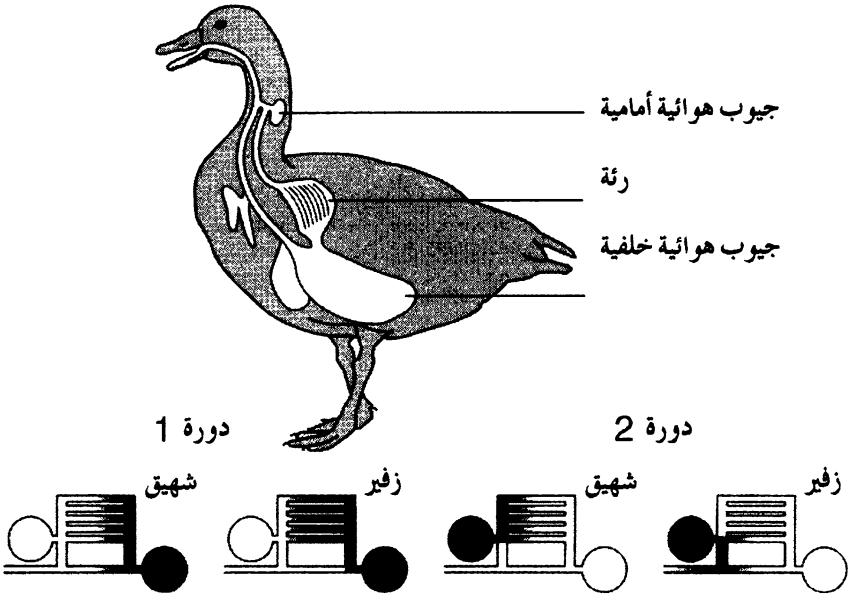
لماذا يعود تنظيم التنفس لدى الإنسان بصورة أساسية إلى ثاني أوكسيد الفحم وليس إلى الأوكسجين؟ السبب، على ما يبدو، هو أننا نشأنا وتطورنا على مستوى سطح البحر ولم نغامر في الصعود إلى الجبال العالية، من وجهة نظر تطورية، إلاَّ حديثاً جداً. تكون نسبة الأوكسجين في الرئتين، على مستوى سطح البحر، أعلى بكثير مما هو مطلوب، حتى لو تناقص التنفس إلى حد كبير. من جهة أخرى، فإن لمعدل التنفس تأثيراً بارزاً جداً على نسبة

ني أوكسيد الفحم في الرئتين والنسج، لذا من المهم جداً المطابقة بير
دل التنفس ونسبة الغاز في الجسم، من هنا، فإن ثاني أوكسيد الفحم يقو
ور الضبط والربط الرئيسي للتنفس.

الطيران عالياً

يمكن للمرء أن يبقى حياً على قمة إيڤرست بغير أوكسجين، فقط إذا كان ذا لياقة عالية جداً وأخذ الوقت الكافي للتكيف. بل حتى في هذه الحالة، فإنه يتحرك ببطء وصعوبة. بالمقابل، فإن طيوراً كالإوز ذات رأس القضيب مثلاً، تهاجر بانتظام عبر الهملايا طائرة على الارتفاعات نفسها أو أعلى. بل الأكثر من ذلك، أنها قد تبدأ طيرانها من مستوى سطح البحر وتصل ارتفاعات 9000 م في أقل من يوم، بحيث لا يتوفر لها وقت للتأقلم. حتى عصفور الدوري المعروف فإنه يكون متنبهاً ونشطاً عندما يتعرض لضغط ارتفاعات تصل إلى 6000 م، في حين يمكن أن يصاب الإنسان في ارتفاعات كهذه بالغيبوبة. إذن، ما الذي يقف وراء القدرة الخارقة لدى الطيور في تحملها لنسب الأوكسجين المنخفضة؟

السبب، على ما يبدو، هو أن رئة الطير مصممة تصميماً يختلف عن رئة الإنسان، وهي قادرة أن تستخلص أوكسجيناً أكثر من الهواء المستنشق وتطرد مع زفيرها ثاني أوكسيد فحم أكثر أيضاً. صحيح أن رئتي الطائر صغيرتان ومشدودتان لكنهما تتواصلان مع فضاءات الهواء الواسعة التي تمتد بين الأعضاء الداخلية وفي عظام الجمجمة والهيكل العظمي. لا تعمل هذه الفضاءات الهوائية كسطوح تنفسية بل كجيوب تخزين. أمّا الأنابيب الدقيقة التي تصل ما بين الفضاءات الهوائية الأمامية والخلفية فهي الأمكنة التي يتم فيها تبادل الغاز (أي هذه هي الرئات). إنها تستغرق نَفَسَيْن كاملين لكي يمر الهواء بصورة كاملة عبر رئات الطائر. فالشهيق الأول يملأ الجيوب الهوائية الخلفية. بعدئذٍ يمر هذا الهواء، خلال الزفير والشهيق الثاني، إلى الجيوب الهوائية الأمامية ليستخلص منه الأوكسجين، أثناء مروره، وهو يتحرك عبر الرئات. أخيراً، ينفث الهواء من الجيب الهوائي الأمامي في النفس التالي إلى الخارج. هذه الآلية تعني أن الهواء يجري باستمرار فوق السطوح التنفسية متيحاً الإمكانية للطائر لأن يستخلص من الأوكسجين أكثر بكثير من أي حيوان بري، ذلك أن الحويصلات ذاتها النهايات المنغلقة، لدى هذا الأخير، تعني أن الهواء لا يدفع دفعاً عبر سطح التبادل الغازي بل عليه بدلاً من ذلك أن ينتشر ببطء إليه.



نقلاً عن شميدت نيلسون، 1995

ثمة عامل آخر يساعد الطيور في الطيران على ارتفاعات عالية وهو أنها أقل حساسية بكثير تجاه الانخفاض في نسبة ثاني أوكسيد الفحم في الدم، وما يصاحبه من انخفاض في حموضة الدم، من الثدييات. لذلك تحافظ على معدل تنفسي مرتفع حتى عندما ينخفض مستوى ثاني أوكسيد الفحم كذلك، للطيور قلوب أكبر تضخ قدراً أكبر من الدم في كل نبضة مما هو الحال لدى ثدييين من حجم مماثل، كما أن الخضاب لدى الطيور التي تعيش في ارتفاعات عالية يضم الأوكسجين بشره أكثر، وبذلك يستخلص من الهواء المزيد من الأوكسجين.

لتأقلم

على الرغم من أن تزايد التنفس، لدى الوصول إلى ارتفاع عال، يكو سيطاً نسبياً، إلاَّ أنه يتزايد أكثر في الأسبوع التالي وما بعد، ليغدو أخ على بخمس إلى سبع مرات من المعدل العادي وذلك بعد أسبوعين إ لاثة أسابيع. هذا الارتفاع الثانوي في التنفس هو آلية التكيف الأهم بالنس

إلى الارتفاعات وهو الذي يبت بمقدار الارتفاع الذي يمكن للمرء أن يصل إليه. إذ بقدر ما يكون تنفسك أسرع وأعمق، يكون ما تستنشقه من الأوكسجين أكبر، وبالتالي مدى الارتفاع الذي يمكن أن تصل إليه في الجبل أكبر.

يستدعي التأقلم لزوماً إنهاء الكبح الذي يمارسه على التنفس بالأساس انخفاض نسبة ثاني أوكسيد الفحم في الدم وما يصحبه من نقصان في حموضة الدم. ومن الجلي أن استعادة حموضة الدم أمر مفيد في هذا المجال، الأمر الذي يتحقق، بالواقع، عن طريق الكلى[7]. لكن، وعلى الرغم من أن مثل هذا التعويض الكلوي هام ولا ريب بالنسبة إلى التأقلم طويل الأمد، إلاَّ أن هذا لا يمكن أن يكون كامل القصة، ذلك أن المعدل الذي يحدث به بطيء جداً وأثره ضئيل جداً، أي أكثر ضآلة من أن يعلل تزايد التنفس الذي يلاحظ خلال الأيام القليلة الأولى وأنت على ارتفاع عالٍ. لذا لا بد من أن يكون الأمر متعلقاً بعملية إضافية، وإن تكن لم تحدد تماماً بعد، (وهي الحساسية الزائدة للجسيمات السباتية تجاه انخفاض الأوكسجين والاستعادة التدريجية لحموضة السائل الذي يحيط بالمستقبلات الكيماوية في الدماغ. وكلتاهما ما تزال فرضية تبحث[8]). وانطلاقاً من أهميتها، قد يكون

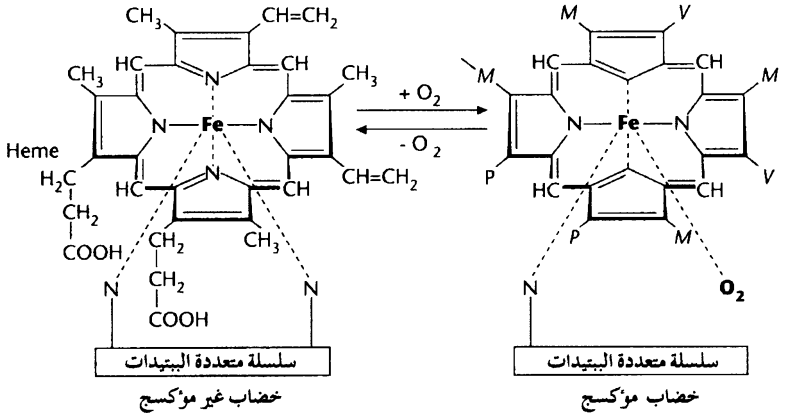
(7) يمكن تسريع التأقلم بواسطة العقار أسيتازولاميد الذي يعمل على تحريض الكلى لإفراز أيونات الكربونات الثنائية وإعادة الدم إلى نسبة حموضته المقاومة. إنه يساعد أيضاً في إبقاء نسبة ثانية أكسيد الفحم عالية حول المستقبلات الكيماوية المركزية. والاسيتازولاميد لا يسرّع التأقلم وحسب بل يلطف أيضاً من دوار الجبال الحاد.

(8) تقدم الدراسات الحديثة التي قام بها لوك هاوارد وبيتر روبينز رؤية جديدة إلى العمليات التي تقف وراء التغيرات الأولية في التنفس كرد فعل على الارتفاعات العالية. لقد بيَّنا، في مختبرهما في أوكسفورد أن التهوية تزداد حين تكون نسبة الأوكسجين في الجو منخفضة حتى ولو بقيت حموضة الدم ثابتة وذلك بتعديل نسبة ثاني أوكسيد الفحم في الهواء المستنشق تعديلاً حذراً. مما يدل على أن انخفاض الأوكجسين بذاته قد يكون له تأثير على التنفس أكثر أهمية مما كان يتصور سابقاً. أمّا الآلية التي تحكم هذه الظاهرة فما تزال مجهولة. لكن أحد الاقتراحات هو أنها تتعلق بازدياد حساسية الجسيمات السباتية.

مدهشاً أن تعلم أن الآلية المسؤولة عن الارتفاع الثانوي في التنفس ما تزال مسألة قيد البحث أيضاً ولم تحل تماماً ـ إلاّ أنها تزود الفزيولوجيين بحجا ممتازة للإرتحال إلى قمم الجبال كي يحاولوا البت بها وتصنيفها.

الخضاب

الخضاب هو جزيء كروي الشكل يتكون من أربع وحدات فرعية، كل منها تتألف بدورها، من شطر دموي متحد مع بروتين متعدد الببتيدات. في قلب حلقة شطر الدم تقع ذرة حديد يتعلق بها الأوكسجين. شطر الدم هذا هو المسؤول عن لون الدم. فعندما يتحد مع الأوكسجين (أوكسيد ـ هيموغلوبين) يكون الخضاب قرمزياً لامعاً يفسر لون الدم الشرياني وكذلك اللون القرنفلي لدى «البيض» من البشر ذوي البشرة الرقيقة الشفافة. أمّا الخضاب غير المتحد مع الأوكسجين فيكون ذا لون أزرق مائل للأرجواني قاتم. هو لون دم الأوردة. يعرف هذا اللون أيضاً باسم «سيان» أي الأزرق، ومن هنا جاءت كلمة «سيانوزيز» أو الازرقاق، وهو المصطلح التقني لازرقاق الشفتين والأطراف لدى الأفراد الذين يعانون من نقص الأوكسجين في الدم. أمّا اللون البني للدم الجاف أو اللحم القديم فهو لون ما بعد الخضاب، وهو الخضاب المتأكسد (عكس الخضاب المتحد مع الأوكسجين). إنه يحدث عندما تتأكسد ذرة الحديد الموجودة في لب جزيء الخضاب، متحولة من شكلها الحديدي العادي (Fe^{+36}) إلى شاردة حديدية (Fe^{3+}) لا تتحد مع الأوكسجين. يوجد لدى الكريات الحمر خميرة تقلب المقدار الضئيل مما بعد الخضاب الذي يتشكل بسرعة مرجعة إياه إلى شكل الخضاب العادي. أمّا اللون الأحمر الكرزي اللامع للدم، فإنه يدل على التسمم بأول أوكسيد الفحم، وهي الحالة التي يحتل فيها جزيء أول أوكسيد الفحم مركز الخضاب، وهو المكان الذي يحتفظ به عادة للأوكسجين والأجهزة الغازية سيئة التكييف التي تولد أول أوكسيد الفحم قد تخفض إلى حد كبير، أو حتى تلغي قدرة الدم على نقل الأوكسجين. إن العلاج الوحيد، في هذه الظروف، هو أن تعطي المصاب أوكسجيناً نقياً يتنفسه. والأفضل هو أن تضعه في حجرة عالية الضغط. ذلك أنه في وسط ضغطه على وحدات ضغط جوية ينحل في الدم من الأوكسجين ما يكفي ليحافظ على الحياة ريثما يفلت أول أوكسيد الفحم قبضته عن جزيء الخضاب. ونظراً لأن الأوكسجين يشكل خطر اشتعال جدياً، تملأ الحجرة بالهواء ويعطى المصاب الأوكسجين بواسطة قناع.



الخضاب جزيء مشهور، مع سلسلة من صفات «الأول» تلتصق باسمه. فهو واحد من أول البروتينات التي تمت بلورتها، والبت بدقة بوزنها الجزيئي، وتبيان وظيفتها الفزيولوجية بالتحديد، (نقل الأوكسجين) كما كان أول بروتين حددت بنيته ثلاثية الأبعاد. وذلك بتحليل بلورة خضابية بالأشعة السينية قام به ماكس بيروتز سنة 1959.

يعد فرط التهوية المفتاح الذي يفسر لماذا يتمكن المتسلق جبال متأقلم من البقاء حياً على قمة جبل إيڤرست دون استعانة بأوكسجين إضافي. فكما ذكر رينولد ميسز الذي قال إنه عندما وصل إلى القمة «لم يكن أكثر من رئة تشهق طلباً للنفس». ذلك إنك عندما تتنفس أسرع، فإن قدر أكبر من ثاني أوكسيد الفحم يطرد خارجاً وهو ما يخفض الضغط الجزئي لثاني أوكسيد الفحم في الرئتين ويوفر فراغاً أكبر للأوكسجين. لقد تبين أنه بينما يصعد متسلقوا الجبال النخبة أعلى فأعلى، ينخفض الضغط الجزئي لثاني أوكسيد الفحم في رئاتهم انخفاضاً هائلاً إلى أن يصلوا إلى ذروة إيڤرست ويغدو ذلك الضغط 10 فقط بدلاً من 40 على مستوى سطح البحر. لكن ليس كل امرئ بقادر على التأقلم تأقلماً يكفي لتوليد التزايد الهائل في التنفس الضروري لتخفيض نسبة ثاني أوكسيد الفحم إلى تلك الدرجة، ولا كل واحد يستطيع أن يتحمل الانخفاض في حموضة الدم التي ترافقه. مثل هؤلاء الناس لا

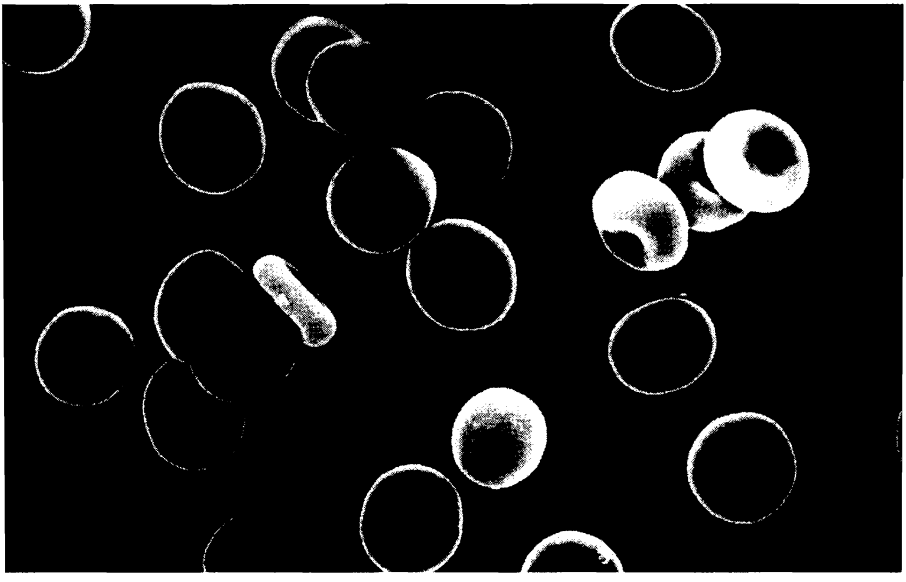
يستطيعون الوصول إلى القمة نظراً لأن إخفاقهم في نفث القدر الكافي من ثاني أوكسيد الفحم إنما يعني أنهم لا يملكون الفراغ الكافي للأوكسجين في رئاتهم. بل حتى أولئك الذين يفلحون في الوصول إلى القمة، لا بد لهم من فترة تأقلم قبل أن يكون باستطاعة أجسامهم أن تتحمل تلك المستويات المنخفضة جداً من ثاني أوكسيد الفحم.

يبلغ الضغط الجزئي للأوكسجين في رئتي متسلق جبال حسن التأقلم يقف على ذروة إيڤرست، نحو 36 تور وهو تماماً الحد النهائي للحياة البشرية. وإنه تصادف خارق للعادة أن أعلى قمة على الأرض هي أيضاً أعلى نقطة تقريباً يمكن للبشر أن يعيشوا فيها أحياء دون مساعدة. والحقيقة أن إيڤرست قريبة جداً من الارتفاع الأعظمي الذي يمكننا بلوغه، وأن الاختلافات الصغرى في الضغط البارومتري، كذلك التي تنجم عن فصول السنة مثلاً، يمكن أن تعني الفارق بين النجاح أو الإخفاق في الصعود بغير أوكسجين.

ثمة طريقة واضحة أخرى للحصول على المزيد من الأوكسجين للنسج ألا وهي زيادة قدرة الدم على نقل الأوكسجين. ذلك أن الأوكسجين ينتقل في الدم، لدى بعض الحيوانات على شكل محلول. غير أن المقدار الذي يمكن نقله بهذه الطريقة، ضئيل جداً لذا فإن معظم الحيوانات، بما فيها البشر، تستخدم البروتينات كناقلة ـ أوكسجين. ربما أن هذه البروتينات تكون ملونة عادة، فإنها غالباً ما تدعى بالصبغيات التنفسية. إن خضاب الدم هو المسؤول، لدى معظم الثدييات، عن نقل الأوكسجين. إنه يتكون من أربع وحدات فرعية متميزة، لكل منها ذرة حديد تقع في القلب منها، وكل جزيء أوكسجين ينضم على نحو غير قابل للانعكاس إلى ذرة حديد، وخضاب الدم أكثر ضآلة بكثير من أن تصفيه الكليتان مرسلة إياه إلى البول، لذلك يظل محتوى داخل الكريات الحمر مما يمنحها لونها المميز؛ والبول الأحمر هو إشارة خطر تدل على مرض الكريات الحمر (ما لم تكن، بالطبع، قد أكلت حديثاً الشون الأحمر).

إن التكيف طويل الأمد مع الارتفاعات، أو بالحقيقة أول ما سُجِّل، هو الزيادة الملحوظة في عدد الكريات الحمر (وبالتالي في نسبة الخضاب أيضاً). وهذا يباشر مع هرمون الأريثروبويتين الذي يتم إفرازه رداً على انخفاض نسبة الأوكسجين في الدم. هذا الهرمون، وعلى نحو مدهش ربما، نتيجة الكلى، وهو على ما يبدو التجلي لمورث الأريثروبويتين وبالتالي فإن تصنيع هذا الهرمون يبتدئ بانخفاض نسبة الأوكسجين. آلية العمل هنا غير مفهومة تماماً لكن يعتقد أن المورث ذاته (الـ د.ن.أ.) يمتلك عنصر تحكم يستشعر مباشرة الأوكسجين ويحس بمستواه في الكلية. أمّا الزيادة في تدوير الكريات الحمر التي يطلقها الأريثروبويتين فتبدأ في غضون ثلاثة إلى خمسة أيام من الوصول إلى الارتفاع العالي ثم يستمر طوال بقاء المرء هناك. يبلغ حجم الدم الذي تشغله الكريات الحمر (والذي يعرف باسم الهيماتوكريت) نحو 40 بالمئة لدى ساكن أرض واطئة لكنه يمكن أن يرتفع إلى 60 بالمئة عقب التأقلم. والرياضيون غالباً ما يتدربون على الارتفاعات لكي يزيدوا كرياتهم الحمر ويحسنوا من قدرة دمهم على نقل الأوكسجين، على الرغم من أن بعضهم هذه الأيام يتنفسون هواء ذا نسبة منخفضة من الأوكسجين أثناء بولهم أو يأخذون بدلاً من ذلك أريثروبويتين مهندساً وراثياً (انظر الفصل الخامس). كذلك غالباً ما يكون لدى الناس المصابين بمرض رئوي مزمن وصعوبة في التنفس (وبالتالي يعانون من نقص الأوكسجين) عدد مرتفع من الكريات الحمر حتى وإن كانوا على مستوى سطح البحر.

لكن على الرغم من أن ازدياد عدد الكريات الحمر يعزز قدرة الدم على إيصال الأوكسجين إلى النسج، إلاّ أنه يحدث أيضاً زيادة مصاحبة في لزوجة الدم، مما يجعل من الأصعب على القلب أن يضخ الدم إلى كل أنحاء الجسم. ومن المعتقد في الوقت الراهن أن الزيادة في الهيماتوكريت ضئيلة الفائدة (ربما على أحد ما أن يقول ذلك للرياضيين) وهي وجهة النظر التي تدعمها حقيقة أن لدى حيوان اللاما وحيوانات أخرى تكيفت مع العيش



كريات حمراء متجمعة ملأى بالخضاب. هناك نحو 5000 مليون كرية حمراء في كل مليمتر من الد وتحتوي على نحو 150 مليغراماً من خضاب الدم. إنها تفتقر للنواة ولها شكل ثنائي التقعر أشب بالقرص وهي قابلة للانتفاخ والانكماش إلى حد كبير بحيث يمكنها أن تنحشر بسهولة في أدق الشعريات الدموية. متوسط عمر الكرية الحمراء هو 120 يوماً في جهاز الدوران بينما تصنـ باستمرار كريات جديدة في نقي العظام.

في المرتفعات العالية، من الكريات الحمر ما يماثل تلك الموجودة لدى حيوانات الأراضي الواطئة. والحقيقة، إذا ارتفعت كثافة الكريات الحمرا على نحو عالٍ جداً يمكن أن يكون له عواقب وخيمة. لقد كان كارلوس مونجي أول من لاحظ، سنة 1925، أن بعض الناس الذين قضوا معظ حياتهم في المرتفعات العالية، ظهرت لديهم أعراض مماثلة لأعراض مرض الجبال الحاد. إذ كانوا يشكون من الصداع، الدوخة، النعاس. التعب المزمن، وفي بعض الحالات من علامات دالة على قصور القلب أو الإصاب بالسكتة الدماغية. كذلك كان الهيماتوكريت لديهم عالياً يصل إلى 85 بالمئة بل يمكننا أن نلاحظ حتى اليوم أن سكان مدن مثل لاباز (3500 م) تكو شفاههم زرقاء وأظفار أصابعهم زرقاء وأصابعهم متخشبة وهو ما يميز مرض مونجي. هذا كله ينجم عن ترسب الكريات الحمراء في الشعريات الدموية

مما يخفض إلى حد كبير معدل دفق الدم وبالتالي ما يصل من إمدادات الأوكسجين أيضاً. إن الانحدار إلى مستويات أدنى يخفف المشكلة كما أن الناس المصابين بمرض مونجي يواجهون مشكلة هي نفيهم الدائم إلى مستويات سطح البحر. لماذا ترى فقدت أجسامهم القدرة على التكيف مع الارتفاعات، ولماذا هذه الحالة أكثر شيوعاً لدى الرجال مما هي لدى النساء؟ كل ذلك ما يزال لغزاً.

إن الزيادة الهائلة في معدل التنفس وعمقه، وكذلك التنظيم الكلوي لحموضة الدم والحساسية المنخفضة تجاه تأثيرات ثاني أوكسيد الفحم، كلها تشكل تكيفات الجسم الأكثر أهمية تجاه الارتفاعات العالية. إنها تفسر قدرتنا ليس فقط على البقاء أحياء، بل أيضاً على القيام بتمارين مجهدة فوق قمة إيڤرست دون استخدام أوكسجين إضافي. على أن سكان الأراضي الواطئة الذين ينتقلون إلى الجبال العالية عندما يبلغون سن الرشد، لا يصلون أبداً إلى مستوى التأقلم الذي نجده لدى الناس الذين عاشوا هناك طوال حياتهم، حتى وإن أقاموا هناك سنين عديدة. يتصف سكان المرتفعات العالية بأن لهم صدوراً أكبر بكثير ذات أشكال برميلية ورئات أكبر أيضاً تتناسب مع صدورهم وهم أيضاً أصغر حجماً بحيث إن معدل حجم رئاتهم إلى حجم أجسامهم يكون زائداً. كما أن قلوبهم أكبر من قلوب سكان المنخفضات مما يتيح لها إمكانية ضخ الدم إلى الجسم بكفاءة أكبر، فيما رئاتهم ونسجهم ذات شعريات دموية أكثر مما يسهل تلقي الأوكسجين وتسليمه. تفسر هذه التكيفات التشريحية؟ وتلاحظ أن قدرة أناس كهؤلاء على العمل أكبر بكثير من قدرة سكان المنخفضات، حتى وإن تأقلم هؤلاء، جيداً بعد ذلك، إذ غالباً ما يدهش الأوروبيون الشبان اللائقون بدنياً وهم يجوبون عالياً جبال الهملايا (وينزعجون) من الأحمال الثقيلة التي يحملها بلا مبالاة حمّالون عتاق أو فتيات «شرباني» صغيرات السن، وهي الأحمال التي يجدون من الصعوبة بمكان رفعها، فكيف بحملها كثيراً من الأميال؟

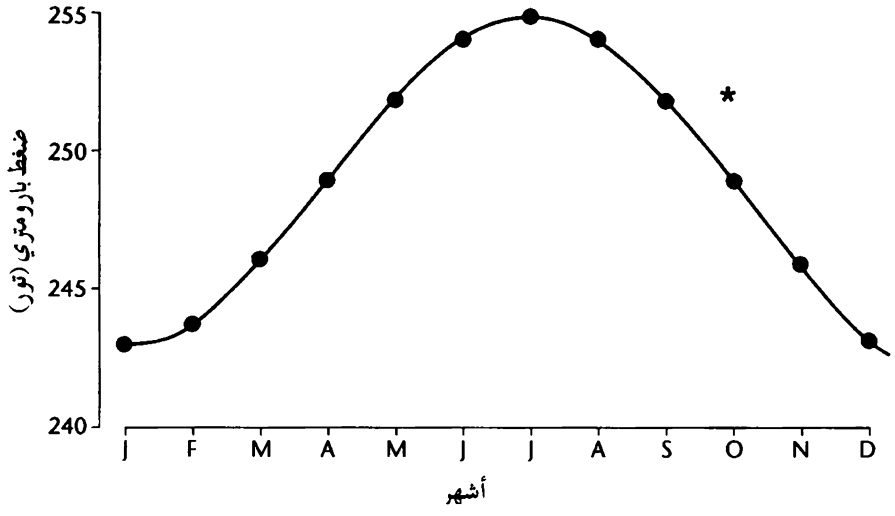
إن التكيفات التي تظهر لدى سكان الارتفاعات العالية هي، على ما يبدو، وراثية جزئياً ومكتسبة جزئياً، ذلك أن أطفال سكان المنخفضات الذين يولدون ويترعرعون في المرتفعات العالية تظهر لديهم رئات أكبر لكن لا يصير لديهم أبداً الصدر البرميلي الذي يتميز به بعض شعوب الأندز.

عِبَر من دراسات الارتفاعات العالية

لفيزيولوجية الارتفاعات العالية قصة، تتخللها حايات تحذيرية. لقد ذكر الفزيولوجيون وعلى نحو متكرر أن من المستحيل أن يصعد الناس فوق ارتفاع معين، ليصابوا بالارتباك والحيرة بعد ذاك وهم يرون متسلقي الجبال يمضون قدماً للبرهنة على أنهم مخطئون. لماذا كانت هذه هي الحالة، أمر يقدم لنا صورة إيضاحية عن الكيفية التي يعمل بها العلم عملياً.

لقد نشأت الأخطار الأولى من تقدير الضغط الجوي على قمة إيڤرست، فالباحثون الأوائل بينوا أن الضغط الجوي يختلف باختلاف درجة حرارة الجو ويرتفع بارتفاع هذه الدرجة (ذلك أن ضغط الغاز يتوقف على السرعة التي تعصف بها جزيئات الغاز والأشياء المحيطة بها). لكن مع ظهور الطيران، بات من الضروري تطوير طريقة معيارية لقياس الارتفاعات، ولدواعي الراحة، فقد افترضت هذه الطريقة درجة حرارة معيارية هي درجة مستوى سطح البحر ومعدلاً معيارياً لتناقصها حسب الارتفاع. لهذا السبب لم تأخذ بالحسبان تأثير الاختلافات الموسمية على درجة الحرارة ولا أن كثافة الجو تختلف باختلاف خط العرض، إذ تزداد عند خط الاستواء وتخف عند القطبين[9]. نتيجة لذلك، تكهنت الحسابات التي تستخدم طريقة الجو المعيارية بضغط بارومتري على قمة جبل إيڤرست (236 تور) أدنى مما هو في الواقع، كما خلص بعض العلماء إلى أنه من غير المحتمل أن يستطيع

(9) يكون الضغط البارومتري أعلى قرب خط الاستواء بسبب الكتلة الكبيرة من الهواء البارد الموجودة في الجو فوق خط الاستواء والتي تضغط بالحقيقة على الهواء الذي تحتها.



متوسط الضغط الجوي الشهري على ارتفاع 8848 م (29000 قدم) تقاس بواسطة مناطيد الأرصاد الجوية المنطلقة من نيودلهي، تبين النجمة الظاهرة القياس الذي تم الحصول عليه في السنة ذاتها من قمة جبل إيڤرست (8848 م). يتفاوت الضغط الجوي تفاوتاً كبيراً، حسب الفصل، ليكون أعلى في الصيف عندما ترتفع درجة الحرارة. لهذا السبب، يسهل أكثر الوصول إلى قمة إيڤرست في الصيف عندما يعني الضغط الجوي الأعلى أن نسبة الأوكسجين في الهواء أكبر أمّا في الشتاء، فإن الضغط البارومتري الأدنى، وبالتالي نسبة الأوكسجين الأقل، تتفاقم سوءاً بسبب ظروف الطقس الأقسى. لهذا، وحتى سنة 1987 فقط، لم يقم أحد بتسلق القمة في الشتاء إلى أن قام شيرپا آنغ ريتا بصعوده الشتائي الأول وبغير أوكسجين. وهو ما يزال الإنسان الوحيد الذي قام بذلك ولعل ما ساعده على النجاح في ذلك إنما هو الطقس الحسن، وعلى نحو غير عادي في كانون الأول / ديسمبر من تلك السنة.

أحد البقاء حياً هناك بغير أوكسجين إضافي. والأذكياء منهم كانوا يدركون أن تقديرات الضغط الجوي كانت منخفضة جداً، مع ذلك ظلوا يجهلون ما مقدار ذلك الضغط فعلاً، في سنة 1981 فقط استطاعت الحملة الأمريكية للبحث الطبي إلى إيڤرست أن تقيس عملياً الضغط الجوي هناك، وذلك من قبل د. كرسي بيز والذي وجد أنه 253 تور. توضح هذه القصة أهمية تحديد كل متغير بأكثر ما يمكن من الدقة لدى إجراء أي حسابات، وكذلك الأخطاء التي يمكن أن تقع عندما يتم تقدير مثل هذه المتغيرات تقديراً بدلاً من حسابها بدقة، كما أن من المثير أن نلاحظ أنه لو كانت إيڤرست واقعة في

أحد القطبين لكان الضغط الجوي سيصير، بالحقيقة، أخفض بكثير من أن نبقى أحياء على القمة بغير أوكسجين إضافي.

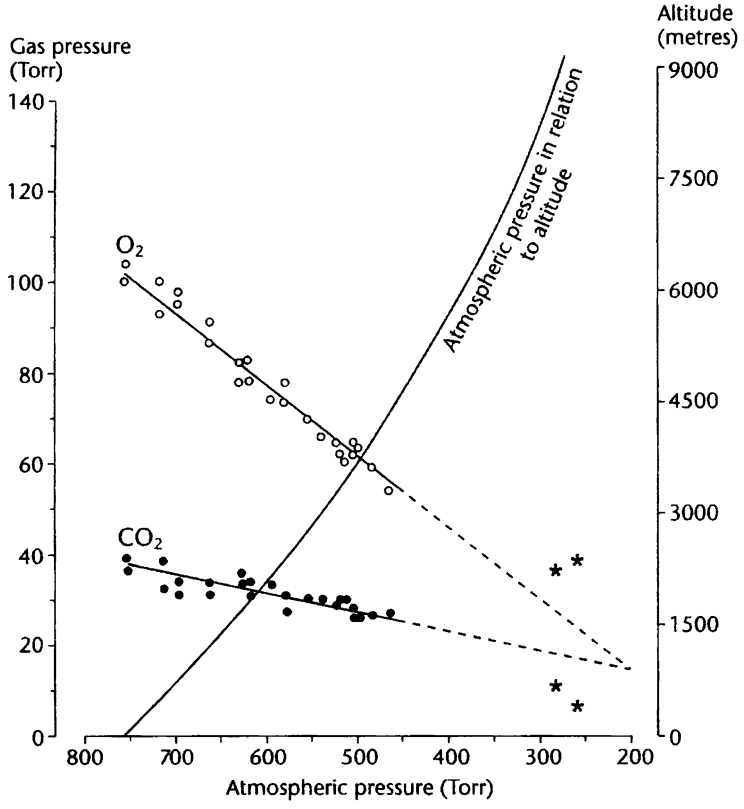
كذلك هناك مصدر آخر للخطأ نشأ لدى تقدير نسبة الأوكسجين في الرئتين على قمة إيڤرست، على أن أولى الدراسات المتعمقة لآثار التكيف طويل الأمد مع الارتفاعات العالية إنما قامت بها مابيل پيورفوي فيتزجيرالد خلال حملة جامعة أكسفورد إلى قمة پايك في كولورادو سنة 1911 بقيادة الفزيولوجي المتميز جون سكون هالدين. لقد درست فيتزجيرالد الفزيولوجيا كطالبة في أكسفورد، ففي تلك الأيام كان يسمح للنساء بإجراء امتحاناتهن (حق كان قد منح حديثاً) لكن دون أن تنشر أسماؤهن في لوائح الصف ولا يمنحن درجة. على أن مابيل ميزت نفسها بحصولها على علامات الصف الأول. ثم ظلت في أكسفورد تعمل في قسم الفزيولوجيا، وهي الفترة التي قامت في أثنائها بعدد من الدراسات حول التنفس. سنة 1911، وجنباً إلى جنب مع هالدين، غوردن دوغلاس (وهو عالم فزيولوجي بارز آخر)، وآخرين، قامت مابيل برحلة إلى قمة پايك، حيث الارتفاع 4302 م وهي من أعلى القمم في الولايات المتحدة. كان هدفهم أن يدرسوا آثار الارتفاع العالي على الجسم البشري (أجسامهم، بالحقيقة) لم تكن هذه الحملة شاقة كثيراً: فقد حملتهم مقطورة معلقة تعمل بقوة البخار مباشرة إلى قمة الجبل التي كان على رأسها كوخ صغير يعرف باسم بيت القمة. هنا أقام أفراد الفريق بنوع من الرفاهية النسبية، لكن باستثناء، مابيل ربما بسبب صعوبة تنظيم ترتيبات النوم. فقد أرسلت على متن بغل إلى ارتفاعات أدنى كي تفحص محتوى الدم من الخضاب ونسبة ثاني أوكسيد الفحم في هواء الزفير لدى عمال منجم محلي.

ولقد كوفئت جهودها خير مكافأة. إذ أثبتت المشاهدات الأقدم، وهي أن محتوى الدم البشري من الهيموغلوبين. وبالتالي عدد الكريات الحمر، يكون زائداً لدى الأفراد المتأقلمين. كذلك بينت معطياتها العلاقة الخطية

مابيل فيتزجيرالد مع أعضاء آخرين من الحملة الأنكلو ـ أمريكية إلى قمة پايك سنة 1911 (من اليسار إلى اليمين: هالدين، فيتزجيرالد، شنايدر، هندرسون ودوغلاس)

على نحو مدهش بين الارتفاع والضغط الجزئي لثاني أوكسيد الفحم في الهواء الخارجي من الحويصلات الرئوية. عندما قدرت هذه العلاقة استقرائياً بالنسبة إلى ارتفاع 8848 م، وهو ارتفاع قمة إيڤرست، كان التكهن بأن الضغط الجزئي لثاني أوكسيد الفحم في الحويصلات الرئوية سيكون نحو 15 تور[10]. بهذه النسبة من ثاني أوكسيد الفحم، يكون الضغط الجزئي للأوكسجين في الرئتين هو 20 تور تقريباً، وهو أدنى كثيراً من حد بقاء الإنسان على قيد الحياة. لقد أدى هذا، وطوال سنين كثيرة إلى فكرة خاطئة هي أنه من المستحيل الوصول إلى قمة إيڤرست بغير أوكسجين إضافي. لكن من السهل، إذا ما استرجعنا الأشياء، أن نرى لماذا حدث ذلك الخطأ. لقد تبين أن العلاقة بين الارتفاع والضغط الجزئي لثاني أوكسيد الفحم في

(10) لعل ما يجدر ذكره هنا أن مابيل نفسها لم تفعل ذلك.



تكون العلاقة بين الضغط الجوي ونسبة ثاني أوكسيد الفحم (Co_2) أو الأوكسجين (o_2) في رئات الناس المتأقلمين خطية حتى ارتفاع 5500 م (18000 قدم) حيث الضغط الجوي 400 تور. بعد ذلك تنحرف العلاقة عن خطيتها لأن الزيادة في معدل التنفس وعمقه تطرد مزيداً من ثاني أوكسيد الفحم من الرئتين وبذلك توفر فراغاً أكبر للأوكسجين. تدل الخطوط المتقطعة على مستويات ثاني أوكسيد الفحم والأوكسجين المتكهن بها مع افتراض أن تظل العلاقة خطية، فيما تدل الدوائر على المعطيات التي حصلت عليها مابيل فيتزجيرالد في حملة قمة پايك وأماكن أخرى. أما النجيمات فتدل على المعطيات التي حصل عليها د. كريس بيزو على قمة إيڤرست (أنظر الإيضاح المقابل).

الحويصلات الرئوية لا تعود خطية بعد ارتفاع 5500 م، وذلك بسبب التزايد الهائل في النفس نتيجة لذلك، فإن الضغط الجزئي للأوكسجين في الحويصلات على قمة إيڤرست أكبر بكثير مما تم التكهن به (35 تور بدلاً من 20 تور)، وبالتالي يمكن البقاء على قيد الحياة هناك بالحقيقة، كما أثبت

ذلك الكثير من متسلقي الجبال. العبرة هي أن من الخطر دائماً التقدير استقرائياً فيما وراء معطيات المرء (فقد توقفت مابيل على ارتفاع 4270 م) إذ لا ضمانة البتة لأن تبقى العلاقة هي ذاتها.

حياة عالية

على الرغم من أن انخفاض نسبة الأوكسجين هي الصعوبة الأولية التي يواجهها شخص يقف على قمة جبل عالٍ، إلاّ أن هناك عوامل أخرى، كالبرد مثلاً، التجفف، وحرقة الشمس، تثير مشكلات أخرى أيضاً. فالإشعاع الشمسي يكون شديداً على نحو غير عادي نظراً لأن الجو الأرق والأقل كثافة يجعل حجب الأشعة أقل ثم يتفاقم الأمر سوءاً نتيجة

د. كريس بيزو يأخذ عينة من غاز حويصلة رئوية على قمة إيڤرست خلال حملة البحث الطبي الأمريكية سنة 1981. إذ بعد كفاح مرير للوصول إلى القمة وتوقف للتمتع والإعجاب بالمنظر، انطلق إلى العمل ليجمع عينات من هواء حويصلات الرئوية ذاتها. فالفيزيولوجيا يمكن أحياناً أن تكون تحدياً جسدياً بقدر ما هي تحدٍّ فكري.

الانعكاسات المنطلقة من الثلوج والجليد مما يمكن أن يؤدي إلى حرقة شمس حادة. كما تتناقص الرطوبة مع الارتفاع، ذلك أن الانخفاض في درجة الحرارة والضغط الجوي إنما يعنيان انخفاضاً أيضاً في محتوى الهواء من بخار الماء. لذلك فإن التجفف، الذي يزداد سوءاً بازدياد سرعة التنفس، يغدو مشكلة ويغدو من الضروري أن تشرب قدراً كبيراً من الماء لتعويض الماء الذي يتبخر من الرئتين أثناء التنفس، وهي ليست دائماً بالمهمة السهلة، خاصة عندما يتعين عليك إمّا أن تحمل الماء معك أو أن تأخذ ما يكفي من الوقود لإذابة الثلج. على أن الأخطر من هذا كله هو البرد، إذ تهبط درجة الحرارة درجة مئوية واحدة تقريباً كلما ارتفعت (100 م)، ذلك أن التأثير العازل للجو يكون أقل، بسبب رقة الهواء، وبالتالي فإن قدراً أكبر من الحرارة ينفذ إلى الفضاء بواسطة الأشعة. أمّا النقصان في درجة الحرارة فيتضاعف بفعل الرياح العالية التي تؤدي إلى ما يسمى بعامل آخر هو «برد ـ الريح» لقد فقد الكثير من متسلقي الجبال أطراف أصابعهم أو أصابع أرجلهم بسبب قضمة الصقيع، ففي سنة 1998، أثناء الحملة الصاعدة على سفح إيڤرست سيِّئ السمعة، والمدعو كانفشائغ، فقد ستيڤ ڤينابل ثلاث أصابع ونصف الإصبع من رجليه في حين اضطر إد وبستر لأن يبتر ثلاثاً من أصابع رجليه والسلاميات الأخيرة لثماني أصابع من يديه، بينما قضى آخرون نحبهم. لماذا حدث هذا، وكيف يتغلب الجسم على الحواف الخطرة للبرد، هو ذا موضوع الفصل الرابع.

القيام بالغوص

عندما وصلت إلى پورتوريكو، لم أكن قد فتحت عيني أبداً تحت الماء، ناهيك عن الغوص إلى قاع البحر. لكن كان على هذا كله أن يتغير، فحين غادرت، كنت قد قمت بغوصتي ـ السكوبا الأولى إلى حيد بحري مرجاني، وتعلقت بالغوص مدى الحياة.

كانت وجهتي هي مؤسسة البحث في سان جوان، عاصمة پورتوريكو فأقمت في قلعة حجرية قديمة بنيت داخل سور المدينة على جرف صخري عال يطل على البحر، علماؤها منهمكون في دراسة كيف تعمل الخلايا العصبية، وما إذا كان هناك أي صلة بين الجهاز العصبي وجهاز المناعة، وكذلك دراسة المخلوقات الجميلة والنادرة التي كانت تعيش في الجزيرة والبحار المحيطة بها. علاوة على المختبرات، كان ثمة عدة مهاجع نوم للعلماء الزائرين مثلي أنا. كنت أقضي معظم وقتي في المعهد، لكن في مناسبتين اثنتين، أخذوني لزيارة السلاسل الصخرية المرجانية التي تحد الجزيرة. في رحلتي الأولى زودني أصدقائي بخزان غاز وصمام تحت الطلب ثم مشوا إلى جانبي في الماء الضحل الذي كان يحيط بالجزيرة المرجانية إلى أن أتعود على الجهاز لكن سرعان ما وجدت نفسي، وقد استغرقني تأمل سمكة صغيرة تتخبط على الرمل، أكافح طلباً للهواء، وهي المواجهة الصعبة التي لم يهب فيها رفيقي لإسعافي بل ظل يحاول دفع رأسي تحت سطح

الماء. وكنت ساخطة ـ إذ كان الغاز قد نفد. «لا عليك. كان جوابه» سنستمر نشرْكِل» (أي نسبح تحت الماء مزودين بأداة للتنفس).

بذلك تم إدخالي إلى الفردوس.

كان شعري يطفو أفقياً حول رأسي متحركاً هنا وهناك وبكل كسل وفق تحركي أنا في رقصة باليه تحت الماء بطيئة الحركة. فيما كانت أعداد هائلة من السمك، ألوانها لامعة براقة كالجواهر تسبح حولي. منها أسماك مخططة بالأزرق والأصفر زاهية صغيرة، ذات أجسام مسطحة تساعدها في الاختفاء ما إن تقع تحت ناظري أحد، وحشود من أسماك أخرى تلتف وتدور في تناغم رائع وهي تشق طريقها عبر شقوق الحيد الصخري. كذلك كانت ثمة أسماك ببقع أرجوانية وسوداء وعيون تحدق من زعانف ذيولها، وأسماك على ظهرها زعانف تنجر إثرها مثل أعلام خفاقة. وأسماك مرصعة المتون بالفضي والأزرق أو ذات معاطف مبقعة زاهية الألوان. فيما مر بجانبي قطيع من سمك الأخفس شديد الرمادية والبنية، بوجوهه الحزينة وهو يمخر العباب ببطء وتثاقل. كما غطست سمكة مرجانية اللون ذات بقع وردية وزيتونية بحثاً عن ساتر. كنت أمسك بيدي حقيبة لدائنية صغيرة تحوي فتات جبن، فتحتها قليلاً فأحاط بي فجأة حشد من السمك التواق للطعام وقد جذبته رائحة الجبن. وكم استغربت أن ذلك السمك يستهويه الجبن. شيء ما قبّل قدمي، نظرت إلى الأسفل فرأيت سمكة صغيرة ذات شفاه بارزة مطاطية تقضم كاحلي قضماً رقيقاً. لقد كنت مستغرقة في ذلك العالم تحت المائي الرائع الجمال إلى درجة لم ألاحظ إلاّ بالكاد أن علي أن أخرج إلى السطح طلباً للهواء من حين إلى حين.

بعد ثلاثة أيام، كان الفجر رمادياً ملبداً بالغيوم، وكانت بداية لا تدعو كثيراً للتفاؤل من أجل غوصتي ـ السكوبا الأولى. ظل رفاقي يكررون على مسامعي التعليمات طوال رحلتنا إلى مكان الغوص. «ظلي قريبة منا... أي

مشكلة، الرأس إلى السطح... تذكري، ازفري حينما تصعدين... لا تصابي بالبرد...» وكنت أصغي بانتباه شديد. وصلنا فبدأنا نتواثب فوق الأمواج باتجاه الحيد الصخري، الرأسي في جوار جزيرة صغيرة مغطاة بالأشجار. وكان الزورق يتأرجح إلى الأعلى والأسفل مع حركة الموج. فيما كانت غيوم مبرقة مرعدة تتجمع في السماء. حدقت النظر جانباً، مجهدة نفسي لأن أرى الحيد، لكن الرؤية كانت بالغة السوء، فعاصفة اليوم السابق كانت قد جرفت معها قدراً كبيراً من الرمل. بحرص شديد نزلت في الماء المعتم، حركت زجاجات الغاز الثقيلة على ظهري لتأخذ وضعاً مريحاً ثم ثبتت حزام الوزن. كنت أتوقع أن أغرق لكن بدوت قابلة للطفو وعلى نحو مدهش.

«لا تقلقي». قال لي أحدهم «فقط تمسكي جيداً بسلسلة المرساة وامشي بثبات تحتها. ونحن سنكون معك مباشرة».

حاولت أن أطبق تعليماتهم، لكن رغم كل ما بذلت من جهد كي أنزل إلى الأسفل وأنا أستخدم سلسلة المرساة، يداً فوق يد، ظللت ولسر لا أدري كنهه، ثابتة فوق السطح. كما بدا وكأنني لا أحصل على أي هواء من خزاني. لاحظ أحد رفاقي ما أواجهه من صعوبات فصاح:

«ما الأمر؟ هل أنت خائفة؟»

«أجل» قلت برقة، إذ أدركت فجأة أنني كنت خائفة.

فكل تلك القصص التحذيرية عن ضرورة إطلاق الأنفاس خلال صعود طارئ لتفادي انفجار الرئتين كانت قد تركت آثارها العميقة في نفسي.

«حسن» أجاب «اصعدي إلى القارب. ليس باستطاعتك أن تغوصي إن كنت خائفة».

بأسىٰ انقلبت إلى جانبي ثم انزلقت على بطني إلى الأمام مثل فقمة تُسحَب سحباً. فيما رفاقي تجمعوا معاً، أشاروا برؤوسهم إلى بعضهم بعضاً ثم مالوا إلى الوراء على جانب القارب وبحركة واحدة مضوا جميعاً. أمّا أنا فجسلت في القمرة ملء عيني الدموع، بينما كان المطر قد بدأ يتساقط في البحر من حولي بصوت حفيف، كنت أشعر وكأنني قد نُبِذت شعور لم يحل دونه إدراكي بأن الخطأ كله كان خطأي. لقد أتيحت لي الفرصة لكنني، وبكل بساطة، خفت أن أمسك بها.

صرخة أيقظتني من حلمي، فقد ظهر شكل أسود يقطر ماء من البحر، أزاح قطعة التنفس الفمية ثم تكلم «هل أنت جاهزة الآن؟ ما يزال لدي ساعة من الهواء أتريدين أن تأتي وتري الحيد الصخري؟».

هذه المرة كان الأمر سهلاً. فلم أواجه مشكلة في النزول إلى الأسفل ولم أعان من صعوبة التنفس ذاتها. حينذاك علمت، أنني، لخوفي، كنت قد ملأت رئتي بالهواء، لكنني نسيت أن أزفره. لذلك ازدادت قابلية طفوي كثيراً ولم يكن باستطاعتي أن أتنفس، ليس لأنه لم يكن هناك هواء في خزاني، بل، وبكل بساطة، لأن رئتي كانتا مليئتين بالهواء مسبقاً.

غطست تحت السطح فتبدى الحيد الصخري منتفخاً أمام عيني. وكانت تجربة مثيرة بالنسبة إلى شخص تدرب كعالم حيوان مثلي. لقد استطعت أن أقضي ساعات وأنا أراقب فقط بقعة واحدة صغيرة من الحيد الصخري، وقد كان بإمكاني أن أفعل ذلك بما لدي من احتياطي هواء. كانت ثمة ديدان متعددة الهلب، تبسط أجسامها وتقبض باستمرار، فاتحة بزعانفها الرئيسية الأشبه بالزهرة على أطرافها ثم مفلتة إياها كي تنخل الماء بحثاً عما فيه من كائنات بالغة الصغر تعيش عليها وتقتات. فيما كان سرطان صغير لا يرى إلاّ بصعوبة وهو يجثم ساكناً بينها، فقط لمعة عينيه كانت تدل على وجوده. وكانت شقائق البحر، باستطالاتها التي تتموج ببطء، ورصانة

في التيار بانتظار أن يثيرها محرض ما، بانتظار أن تحين الفرصة وتقترب الفريسة سيئة الحظ لتتكور حولها في الحال. فيما كانت سمكة ببغائية متألقة بألوانها الأرجوانية والبيضاء تحتمي بذراعيها. وكان المرجان نفسه عبارة عن أعداد لا تحصى من البوالب الأشبه بالأزهار لكنها حيوانات فعلاً، يثب بعضها على بعض بطرق بروتوبلازمية تمر عبر الدرع القرني الواقي الذي تفرزه المستعمرة المرجانية. داخل خلاياها، تؤوي البوالب المرجانية أشنات وحيدات الخلية خضراء ـ زرقاء قادرة على التركيب الضوئي تبث ثاني أوكسيد الفحم الجوي، وبذلك تقدم الغذاء لمضيفها لكنها تشي بوجود حياة في المنبسطات العليا الخفيفة من البحر، إنه تزاوج بين النبات والحيوان، الشريكين في الحياة، ذو أهمية بالغة بالنسبة إلى دورة الفحم على الأرض، ذلك أن البولب المرجاني ينفلق على ثاني أوكسيد الفحم ليحوله إلى فحمات الكالسيوم ثم يرصفه جنباً إلى جنب ليشكل الحيد الصخري، والحيد الصخري مستعمرات متراكزة الطبقات مزخرفة بالأصفر والبنفسجي الغامق، قوية، ذات جهاز عصبي حسن النمو وهي في حداثتها، لكن ما إن تصل إلى متوسط العمر حتى تتخلى عن وجودها النشط. إذ تثبت نفسها على صخرة ولا تتحرك بعد ذلك أبداً. فتفقد، وهي في حالة القعود هذه، جهازها العصبي، إذ لا تعود بحاجة إليه ولعل هذا إنذار شديد اللهجة لمن لا يقوم منا بممارسة الحركة والرياضة على نحو كافٍ.

2

الحياة تحت الضغط

«أولئك الذين يمخرون بالسفن العباب
ويقومون بأعمال في المياه العظيمة هم الذين
يرون أعمال الإله وأعاجيبه في الأعماق»

المزمور 107

النزول الأسطوري للإسكندر الكبير في مضيق البوسفور في برميل زجاجي

تبدو الأرض من الفضاء كرة زرقاء قزحية اللون جميلة، معلقة في الظلام. فندرك، ونحن نرى كوكبنا بهذه الطريقة، أننا نعيش في عالم من الماء. أما ما يشغله الإنسان من البر فلا يشكِّل إلاَّ جزءاً صغيراً وهو تقريباً ربع مساحة سطح الأرض، ويتركز معظمه في أحد جانبيها. تؤثر المحيطات في حياتنا حتى لو لم تطأ شواطئها أقدامنا، ففي المحيطات تشكل الطقس وتولد الأعاصير، أما التغيرات في تيارات المحيط، وأكثرها شهرة «النينو»، فتبسط تأثيراتها على الكرة الأرضية كلها، محدثة قحطاً ومجاعة في بعض المناطق وأمطاراً جارفة في مناطق أخرى. إن إنكلترا التي أعيش فيها إنما هي بلاد خضراء سارة، طقسها لطيف وفصولها طويلة وذلك بسبب تيار الخليج الذي يدفئ سواحلها. مع ذلك، ورغم حجم المحيطات الشاسع الواسع ـ 260 مليون كم^2 من سطح الكوكب ـ ورغم أهميتها، فإننا ما نزال لا نعرف إلاَّ القليل عن المحيطات. كما تقتصر معظم معرفتنا على المسطحات الضحلة الواقعة على حواف القارات، بل حتى اليوم، ورغم أن الإنسان سار على سطح القمر، لا تزال أعمق مناطق البحار مجهولة لم يكتشفها أحد بعد.

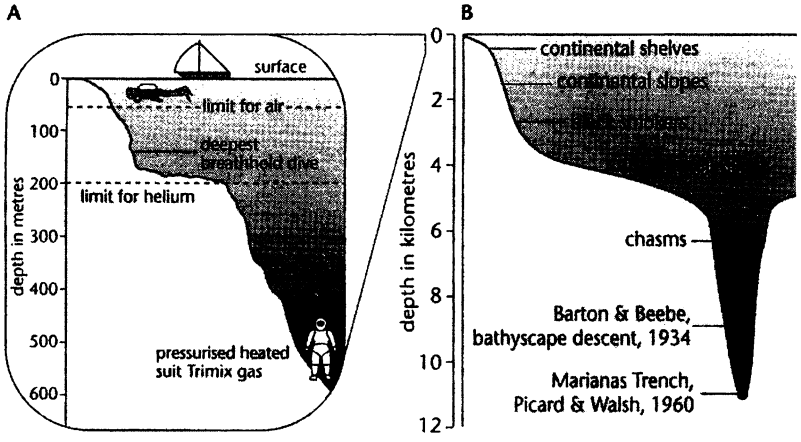
يقع خندق ماريانا في المحيط الهادي على عمق 10914 متراً (35800 قدم) وهو أعمق جزء في المحيط، بل هو بالواقع عميق إلى درجة يمكن

معها إلقاء جبل إيفرست فيه ويظل فوقه 2000 متر. إنه مكان قلما يزوره الإنسان بل حتى متوسط عمق البحر، أي نحو 4000 متر، فإنه أبعد من أن نصل إليه إلاّ بعملية غطس. مع ذلك، وربما بسبب تعذر الوصول إليها، فقد كانت الهاوية تسحر الناس دائماً. كما راجت قصص عن مخلوقات أسطورية تعيش بعيداً هناك تحت الأمواج في كثير من الثقافات. فهنا يقع قصر پوسيدون ومنزل حوريات البحر ومهاجع الكركن[1] (وحش بحري خرافي في الأسطورة الاسكندينافية) واليوياشان (وحش بحري ضخم في الأسطورة الفينيقية)، وقد لجأت جميعاً إلى هنا بعد أن هزمها الخالق. غير أن الحقيقة، كما يحدث في غالب الأحيان، ما تزال أكثر غرابة.

لقد أصيب عالم اليوم بالدهشة عندما اكتشف سنة 1938 سمكة كولاكانث حية، هي التي كانت معروفة في السابق من سجلات المستحاثات فقط. أما الحبار العملاق ذو الأذرع التي يصل طولها إلى 18 متراً، والذي لم يره أحد حياً قط، فقد بات مؤكداً أنه موجود، إذ انتشلت أجساد هذا الحبار من الأعماق كما وجدت خطومه في معد الحيتان، على أن الأكثر غرابة هي الجراثيم التي نأتي على ذكرها في الفصل السابع والتي تعيش حول المداخن السوداء للسلاسل الصخرية وسط المحيط بدرجات حرارة تزيد عن 100 درجة مئوية، وضغوط تتجاوز 1000 وحدة ضغط جوي.

ومع أن الناس لا يعيشون على الدوام تحت الماء، إلاّ أن بعضهم، كالغواصين ذوي الصلة بمنصات نفط بحر الشمال مثلاً، يمكن أن يقضوا شطراً هاماً من حياتهم هناك. كما أن هناك الكثير من الناس ممن يغوصون بطريقة ـ السكوبا (مزودين بأجهزة للغطس) أو يسبحون تحت الماء مزودين بأدوات للتنفس أو يغوصون عميقاً (مزودين بجهاز تنفس) في أيام العطل.

(1) الكراكن هو وحش بحري خرافي هائل الحجم يقال إنه يعيش قرب شواطئ النرويج. ولقد خلده ألفريد تينسون بقصيدة تحمل الاسم ذاته.



تشكل الرفوف الصخرية القارية التي تحيط بكتل اليابسة سهولاً خصيبة تنيرها الشمس، وتكون غنية بالحياة الحيوانية والنباتية. إنها تنحدر تدريجياً نزولاً إلى عمق 200 ـ 300 متر. بعدئذ ينكسر قاع البحر انكساراً أكثر حدة إلى أن يصل إلى سهول الهاوية، على عمق 3 ـ 6 كم (أو 2 ميلان) حيث يكون القاع مغطى بطين ناعم (راسب الطين). تنقطع هذه بشقوق عميقة كخندق ماريانا مثلاً في شمالي المحيط الهادي (وعمقه 10914 متراً) وخندق پورتوريكو في شمالي الأطلسي (وعمقه 8384 متراً).

ما هي المشكلات التي يواجهونها؟ وما العمق الذي يمكنهم الوصول إليه وتحمله بدنياً؟ هذا الفصل يلقي نظرة على الطريقة التي تم بها ربط معرفة الفيزيولوجية البشرية ربطاً وثيقاً بمقدرتنا المتزايدة على قضاء الوقت في الأعماق كما يتساءل، مرة أخرى، لماذا تبدو الحيوانات قادرة على فعل ذلك بقدر من الجهد أقل بكثير؟

فيزياء الضغط

يعاني الغواص، بغض النظر عن الافتقار للهواء، من صعوبة رئيسية تتمثل في ازدياد الضغط، ذلك أن الضغط يزداد طرداً مع العمق بسبب الثقل الضاغط للماء من الأعلى إلى الأسفل. ولما كان الماء أثقل بنحو 1300 مرة من الهواء على المساحة الشاقولية ذاتها، فإن اختلاف الضغط في الماء يكون أكبر بكثير مما هو في الهواء، إذ ينقص الضغط بمقدار الثلثين بين مستوى

سطح البحر وقمة إيڤرست (8848 متراً)، لكنه يزداد بمقدار 885 مرة حين ينزل من سطح البحر، وبالعمق نفسه. ثمة عوامل ثلاثة تحدد مقدار الضغط في أسفل عمود من السائل هي: ارتفاع العمود، كثافة السائل وقوة الجاذبية. ففي ماء البحر يزداد الضغط بمقدار وحدة ضغط جوي تقريباً كلما نزلنا عشرة أمتار (يقيس الغواصون الضغط عادة بوحدات الضغط الجوي التي تعرف «بالبار»)، فعلى عمق 30 متراً يكون الضغط «4» بار لأن مقدار الضغط على السطح هو «1» بار وتحت الماء «3» بار.

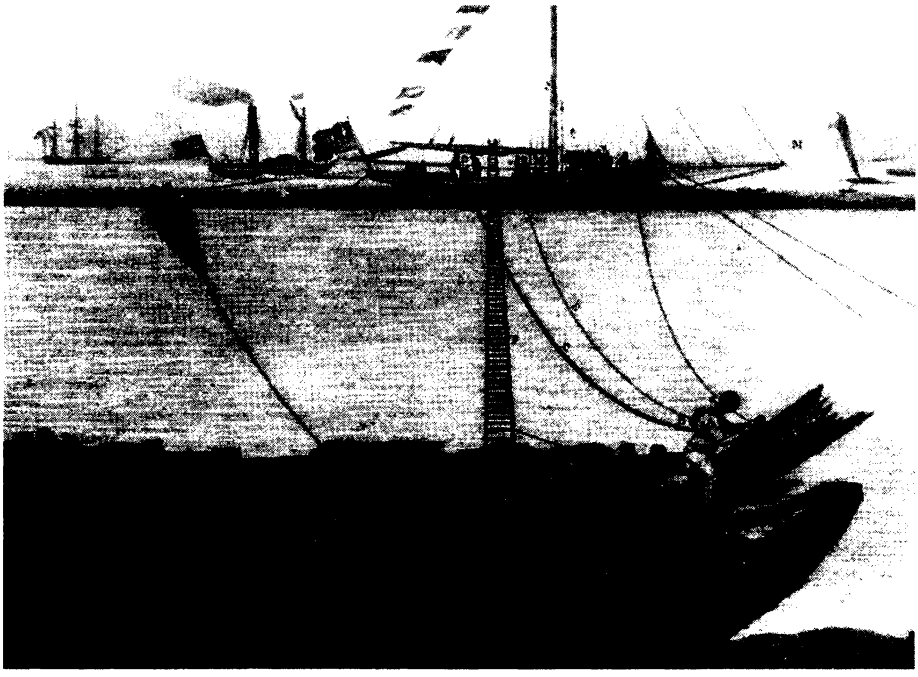
يتغير حجم «البار» بتغير الضغط. ولقد وصف روبرت بويل (1627 ـ 1691) هذه الظاهرة طبقاً لقانون شهير صاغه في مختبره في أوكسفورد الذي لا يبعد كثيراً عن مختبري. إذ تبين أنه بدرجة حرارية معينة، يكون حاصل ضرب الضغط بالحجم ثابتاً دائماً، أي بعبارة أخرى: الضغط × الحجم = ثابت. وهكذا على عمق 30 متراً، حيث الضغط 4 بار، ينقص حجم الغاز إلى ربع حجمه عن السطح. وكما سنرى لاحقاً، فإن انضغاط الغاز هذا في العمق، وتمدده عند تحرره من الضغط لدى الصعود إلى السطح، له دلالات عميقة بالنسبة إلى الغواص.

الغواصون الأوائل

يعد الغوص من أجل الغذاء، الإنقاذ والأغراض العسكرية، تقليداً قديماً. وإحدى أقدم الإشارات إلى الغوص موجودة في الإلياذة، حيث يقارن المحارب الإغريقي «پاتروكليس»، وعلى نحو ساخر، بين الطريقة التي يسقط بها سائق هكتور من مركبته عندما يصاب بحجرٍ هاوٍ وبين رجل يغوص طلباً للمحار. كما تشير كتابات إغريقية أخرى إلى غواصي الاسفنج واستخدامهم للأثقال الرصاصية والحبال كي يعجلوا في صعودهم وهبوطهم. أما الحلى المزخرفة بأم اللآلئ فتدل على أن الناس كانوا يجمعون المحار في بلاد ما بين النهرين منذ سنة 4500 ق.م. وكانت النساء المحترفات يغصن طلباً

لمحار والطحالب واللآلئ في اليابان وكوريا على مدى ألفي سنة على الأق
أنهن مذكورات في كتاب «جيشي ـ واجن ـ دين» الذي يعتقد أنه كُتب نح
250 ق.م. كذلك من المعروف أن الإغريق استخدموا منذ تاريخ مبكر يعو
لى 400 ـ 300 ق.م. الغواصين في الحروب البحرية الهجومية، وأشه
ولئك الغواصين هو سيلياس الذي، كما يقول هيرودوت، كلفه الفرس
استعادة كنز من سفن غارقة لكنه فرَّ إلى الإغريق وساعدهم في كس
لمعركة ضد الفرس بعد أن زودهم بمعلومات قيِّمة عن أسطول العدو وبع
طعه حبال سفن العدو تحت الماء.

ستخدم عناكب الماء أجراس الغوص، التي تصنع من شبكة من خيوط حرير تثبت بواسطة حب
شدودة إلى جذوع نبات تحت الماء. إنها تأتي بالهواء من السطح لتموين الجرس وذلك باحتج
قاعة صغيرة بين زوجين من قوائمها الخلفية: وقد يستغرق الأمر عدة رحلات قبل أن تتمكن ،
وفير مؤونتها من الهواء بشكل كامل. إن عنكبوت الماء صياد يختفي في قبته الحرير الملا
الهواء وقوائمه الأمامية تمتد داخل الماء، بانتظار أن ينقض على أي فريسة تمر به مطمئنة
شك بشيء.



رسم معاصر للسيد دين، مهندس الغواصة ذات النظام الذاتي، وهو يعمل في حطام السفينة «جورج الملكية» (ذات الـ 108 مدافع) التي غرقت قرب جزيرة وايت في إنكلترا سنة 1782. إنه «مجهز بجهاز الغوص المخترع حديثاً» وهو منهمك في انتزاع أحد أطواق الدقل، في آب سنة 1832.

كذلك، استخدمت أجراس الغطس وأوعية الغوص محكمة الإغلاق منذ القديم القديم، ففي القرن السادس عشر، تم اختراع جرس الغوص، بشكله البسيط، لكنه لم يستخدم حقيقة إلاّ بعد أن اخترع الألماني أوتو ڤون غيريك سنة 1654 المضخة اليدوية، فأصبح بالإمكان إعادة ملء الخزان وأضحى بالإمكان عملياً استخدام أجراس الغوص. أما المبدأ الذي يعمل وفقه جرس الغوص فيتضح بسهولة إذا أخذت مرطبان حلوى وقلبته في حوض ماء. فوجود الهواء، كما سنلاحظ، يمنع دخول الماء، على أن إحدى المسلمات التي تواجه هذا الشكل البسيط من أجراس الغوص هي أن عليك إبقاءه عمودياً تماماً وإلاّ خرج الهواء من حافة الجرس ودخل بدلاً من الماء (حاول إمالة المرطبان). ثم هناك صعوبة أخرى وهي أن حجم الهواء

الذي يحتويه الجرس ينقص عندما يزداد الضغط، وتبعاً لقانون بويل: على عمق عشرة أمتار، مثلاً، ينقص الهواء إلى نصف حجمه الأصلي، لذا من الضروري تزويد جرس الغوص بالهواء بواسطة مضخة يدوية من السطح.

أما بذلات الغوص فقد تطورت لأول مرة من أجل الإنقاذ البحري. بين أوائل الرواد الأخوان جون وشارلز دين اللذان بدآ العمل كمهندسي غواصات في منطقة بورتسماوث في إنكلترا نحو سنة 1832. ولقد حدث ذلك بطريقة خارقة للعادة تماماً، إذ خطرت لهما، أثناء محاولتهما إنقاذ مجموعة من الخيول من حظيرة تحترق، فكرة ذكية وهي استخدام خوذة من بذلة درع مزودة بالهواء عن طريق خرطوم ومضخة يدوية كجهاز تنفس. نجحت العملية نجاحاً كبيراً ونالا براءة اختراع جهاز إطفاء. وعلى الفور أدركا أن ذلك الجهاز يمكن أن يكون ملائماً للغوص أيضاً. وبحلول سنة 1828 أنجزا جهازاً للغوص مؤلفاً من خوذة مفتوحة ثقيلة تتوازن على كتفي الغواص وتزود بهواء مضغوط عبر خرطوم جلدي يتصل بمضخة على متن سفينة الدعم. تعمل الخوذة، إذا افترضنا أن الرأس كان منتصباً، كجرس غوص قابل للحمل ويمنع الماء من الدخول إلى أسفل الخوذة بفضل الهواء المستمد من الأعلى. بعد عدد من السنوات، استخدم هذا الجهاز بنجاح للغوص إلى أعماق تصل حتى عشرة أمتار ولفترات معينة تصل إلى 30 دقيقة. لكن كان له عيب واضح وهو أنه إذا انقلب الغواص امتلأت خوذته ماء وتعرض للغرق. هذه المشكلة حلت باستخدام بذلة غوص جديدة محكمة الإغلاق، الخوذة فيها مثبتة بإحكام على بذلة مضادة للماء، بحيث يتم ملء البذلة والخوذة بالهواء من السطح. هنا برزت مشكلة جديدة فالغواص إذا نزل بسرعة كبيرة في الماء أو على نحو مفاجئ، قد لا يتمكن مساعده من زيادة ضغط الهواء إلى ما يوازي ضغط الماء المحيط بالسرعة الكافية، وبالتالي فإن حجم الهواء داخل البذلة يتناقص (نذكر أن الضغط × الحجم = ثابت). صحيح أن رأس الغواص محمي بخوذته النحاسية لكن ضغط الماء الخارجي

يضغط على البذلة من حوله إلى درجة تعصره عصراً مؤلماً وتضغط أحياناً على صدره ضغطاً شديداً مما يلحق الأذى برئتيه، وكثيراً ما يشعر الغواص وكأن جسمه كله حشر بقوة في خوذته، وفي أسوأ الحالات، أي عندما يتعطل الصمام أحادي الاتجاه الواقع بين خرطوم الهواء وبذلة الغواص بسبب الضغط، فإن دمه وكثيراً من لحمه يصعدان في أنبوبة الخرطوم، وكل ما يبقى في البذلة إنما هو بعض من العظام ونتف من اللحم.

تحدد كمية الهواء في البذلة قابلية طفو الغواص، لذا يمكن إنقاصها قليلاً كي تساعده في النزول أو زيادتها كي تساعده في الصعود، وهي العملية التي ينظمها الغواص، إذ يعدل الهواء الذي يزود به بمعدل ثابت عادة، فيغير نسبته التي تتسرب خلال الصمام أحادي الاتجاه والواقع على جانب الخوذة. وفي حين يسبب وجود هواء قليل جداً في البذلة «عصر» الغواص، فإن الكثير من الهواء يعد مشكلة أيضاً.

نموذج من نماذج بذلات الغوص القديمة الأكثر غرابة.

ذلك أنه إذا ما امتلأت رجلا البذلة بالهواء، كما يحدث أحياناً عندما يتحول الغواص زاحفاً على القاع، فإنه قد يجد نفسه فجأة وقد انقلب رأساً على عقب. في هذه الوضعية، لا يمكن للهواء أن يخرج بسهولة، لذا يندفع الغواص، دون حول أو طول، إلى السطح. مع ذلك، يمكن تفادي هذه الصعوبات إذا كان الغواص خبيراً والفريق الداعم خبيراً أيضاً. وبصورة متزايدة، فإن الغواصين مطلوبون ليس من أجل العمليات العسكرية وعمليات الإنقاذ فحسب، بل أيضاً من أجل أعمال البناء.

في منتصف القرن التاسع عشر، بشَّر اختراع القاطرة البخارية ببزوغ فجر جديد هو عصر السكك الحديد العظيم. إذ بدأ المشهد العام يتبدل مع مد الخطوط الحديد من أدنى البلاد إلى أقصاها، كما توسعت المدن القائمة بنسب لم يتصورها أحد سابقاً. كذلك بنيت مدن جديدة أيضاً. وفجأة أصبح بالإمكان انتقال الأشخاص والبضائع من مكان إلى آخر بسرعة كبيرة وكميات كبيرة أيضاً. ولا بد أن الزيادة المفاجئة في سهولة المواصلات بدت بالنسبة لأُناس ذلك العصر، أشبه بنمو الإنترنت هذه الأيام. إذ سرعان ما انتشر ذلك الذي بدأ في بريطانية إلى كل مكان من أوروبا الشمالية. ثم ما إن جاءت سنة 1850 حتى كانت قد أقيمت شبكة خطوط حديد تصل بين المدن الرئيسية في فرنسا، ألمانيا، بلجيكا، وبريطانيا. لقد كان المهندسون رجالاً أفذاذاً، أقاموا الأنفاق ضمن الجبال وتحت الأنهار كما مدوا جسوراً عبر الأنهار الكبيرة والمصبات لكن خلال إقامتهم لتلك الجسور والأنفاق وجدوا أن عمالهم يصابون بمرض عرف على الفور باسم شلل الغواص أو مرض القيسون.

فالقيسون، الذي أدخل نحو سنة 1840، كان يستخدم في إقامة الأساسات الخاصة بركائز الجسور التي تقام فوق الأنهار، والقيسون هو أنبوب فولاذي مزدوج الجدار مفتوح عند القاعدة، يشكل في النهاية جزءاً من ركيزة الجسر ذاتها. يؤمن الأنبوب الداخلي حرية الحركة للعمال والمواد

ويعبأ بالهواء المضغوط للحيلولة دون دخول الماء بينما تعبأ الجدران الخارجية المتحدة المركز شيئاً فشيئاً بالإسمنت ومن الأعلى فيما يغوص القيسون في سرير النهر. في الحالات التي يكون العمل فيها أبسط، كما هو الحال في سرير نهر أو قاع مرفأ، تستخدم أجراس الغطس التقليدية، إذ تدلى إلى القاع والعمال جالسون داخلها، ونظراً لأنهم يزودون بالهواء المضغوط، يكون بإمكانهم العمل في شروط جافة. أما إذا احتاجوا للتحرك بحرية تحت الماء هنا وهناك، فإنه يستعان بغواصين متخصصين، كما يضخ الهواء المضغوط لمنع تسرب الماء عبر الصحون المنفردة إلى النفق أثناء البناء. وهكذا كان كثير من عمال بناء الجسور وشق الأنفاق يعملون في جو من الهواء المضغوط فترات من الزمن تصل إلى ثماني ساعات يومياً.

لقد لوحظ عند البدء أن عمال القيسون والأنفاق غالباً ما يصابون بالمرض إثر عودتهم مباشرة إلى الضغط الجوي الطبيعي. وبصورة عامة، كانوا يشكون من حكة جلدية، لكن على نحو أقل كانوا يعانون من آلام حادة في الأطراف تمنعهم من بسط مفاصلهم، لهذا أطلق العمال على نوبات كهذه اسم «الالتواء». لم يكن مرض «الالتواء» يحدث قط والعامل تحت الضغط عملياً بل يحدث فقط إثر العودة إلى مستويات الضغط الجوي العادي، طبقاً لما أشار إليه كل من پول وواتيل في وصفهما الطبي الأول لمرض القيسون «لا يصاب به المرء إلاّ عندما يخرج»[2]. أما خطر النوبة وشدة الأعراض فإنهما يزدادان بازدياد الضغط ومدة التعرض له. لقد عانى الغواصون، الذين كانوا باستمرار عرضة لضغوط أكبر، أكثر مما عانى عمال القيسون. وفي الحالات الأسوأ، كان الضحية، لدى عودته إلى السطح، يشعر بالإغماء، ثم سرعان ما يشعر بفقدان الوعي بعد ذلك ويموت. وكل ذلك خلال بضع دقائق.

(2) أنت فقط تدفع حين تغادر.

فقاعات في الدم

لقد حدَّد العالم الفرنسي پول بيرت سنة 1878 سبب هذه التوترات. إذ أوضح أنها تحدث حين يتعرض الغواص أو عامل القيسون الذي يتنفس هواءً مضغوطاً لانخفاض سريع جداً في الضغط، ذلك أن الغازات التي تكون قد انحلت في الدم والنسيج تتحرر على شكل فقاعات محدثة انسدادات في الأوعية الدموية. فالغاز الذي يتنفسه المرء تحت الضغط ينحل أكثره في سوائل الجسم، بحيث يضاف كثير من الآزوت، مثلاً، لكل عشرة أمتار نزولاً (والعملية تستغرق وقتاً، انظر لاحقاً). على أن وجود الغاز الإضافي في سوائل الجسم وأنسجته ليس مشكلة طالما ظل على شكل محلول. المشكلة هي في سرعة انطلاق الغاز عند زوال الضغط. إذ عندما يصعد الغواص ببطء، فإن رئتيه تطرحان الغاز الإضافي المنحل في دمه بكل بساطة دون أن يحدث له أي مضاعفات، لكن إذا ما كان صعوده سريعاً جداً، فإن السرعة التي يمكن للغاز المنحل في دمه أن يطرح عبر رئتيه ستكون مفرطة إلى درجة يصبح معها النسج وكذلك الدم مشبعاً فوق العادة بالغاز. وعند نقطة معينة يخرج هذا الغاز من حالة الانحلال وعلى نحو مفاجئ على شكل فقاعات[3].

هذه الظاهرة يعرفها كل من فتح زجاجة ماء فوار إذ ما إن يزول الضغط حتى يتمدد الغاز في فورة من فقاعات. وتغدو الحال أكثر دراماتيكية بكثير إذا ما فتحت السدادة فجأة (زوال ضغط سريع)، مما لو سمحت للغاز بالتسرب على نحو تدريجي جداً وذلك بفتح الغطاء على مهل وببطء شديد. إن الغاز المنحل في المياه المعدنية هو ثاني أوكسيد الفحم. لكن بالنسبة إلى الغواص الذي تنفس هواءً مضغوطاً، يكون الآزوت هو المسؤول بصورة

(3) من أوائل من وصف هذه الظاهرة روبرت بويل الذي لاحظ سنة 1670 كيف تشكلت فقاعة في عين ثعبان من نوع القايپر لدى إزالة الضغط.

رئيسية عن تشكل الفقاعات، وذلك لأن ثاني أوكسيد الفحم يكون منخفض التركيز جداً والأنسجة تستهلك الأوكسجين بسرعة.

لماذا لا تصاب حيتان العنبر بحالات الالتواء؟

تغوص كثير من الثدييات البحرية إلى أعماق أكثر بكثير مما يمكن للكائنات البشرية أن تتحمل. فذات مرة وجد صوت عنبر على عمق 1134 متراً وقد علق فكه السفلي بسلك اتصالات عابر للمحيط. والفقمة ـ الفيلة أكثر شهرة حتى كغواصة إذ سجلت أعمق غوصة لها في نزولها إلى 1570 متراً حيث الضغط أكبر بـ 150 مرة من الضغط على سطح الماء. وهو أمر يتجاوز كثيراً حدود احتمال الإنسان. والأكثر من ذلك، يمكن للفقم أن يغوص المرة تلو المرة دون أن يكون لذلك أثر سيِّئ عليه. والحقيقة يمكن أن تدعى الفقمة ـ الفيلة، وعلى نحو أوضح، حيواناً يصعد إلى السطح أكثر مما يغوص نظراً لأنها تقضي أكثر من 90 بالمئة من وقتها في البحر تحت سطح الماء، ولقد روقبت إحدى هذه الفقمات ذات مرة فتبين أنها لم تقض أكثر من ست دقائق فوق سطح الماء خلال أربعين يوماً في البحر. إذن، لماذا لا تصاب حيتان العنبر والفقم بالالتواءات؟

الجواب هو أن الثدييات البحرية طورت أساليب لتخفيض كمية الآزوت الذي ينحل في أنسجتها. وخلافاً للبشر، فإن الفقم والحيتان تزفر ما لديها من أنفاس قبل أن تغوص، الأمر الذي يحد من كمية الهواء التي تحملها معها، وعلى عمق نحو خمسين متراً، تغدو الجيوب الهوائية في الرئتين منقطعة تماماً. لذلك لا يمكن لمزيد من الغاز أن يدخل مجرى الدم. إن الضغط في الأعماق يجعل رئتي الحوت تنطبقان تماماً بحيث تطردان كل ما هناك من هواء في المجاري التنفسية العليا التي تكون مدعومة بأقراص دائرية غضروفية ولذلك تكون أقل قابلية للانضغاط. بل حتى تدفق الدم إلى الرئتين ينخفض بشكل ملحوظ أيضاً. تضمن آليات التكيف هذه عدم دخول أي غاز من رئتي الحوت إلى مجرى الدم خلال الغوص، الأمر الذي يعني أن قليلاً من الآزوت الزائد ينحل في سوائل الجسم. وبذلك لا يكون هناك أي خطر لتشكل فقاعات عندما يصعد الحيوان إلى السطح ويزول عنه الضغط.

تتسبب الفقاعات في الدم بمشكلات خطيرة، إذ ما إن تتشكل حتى يكبر حجمها مع انتشار مزيد من الغاز داخلها. وبالتالي، يمكن أن تصبح

كبيرة إلى درجة تكفي لسد الأوعية الدموية الدقيقة مانعة تدفق الدم إلى الأنسجة، مؤدية إلى نقص الأوكسجين والمواد المغذية، الأمر الذي يمكن أن يؤدي إلى موت الخلية. كذلك يمكن لفقاعات الغاز، إذا وجدت في الدم، أن تنشط الخلايا الرئوية المعدة أصلاً للاستجابة للهواء، كالصفيحات، تلك التي مهمتها تخثير الدم، مثلاً. إضافة إلى ذلك، يمكن أن تتلف الأنسجة إذا ما تشكلت فقاعات الغاز داخلها، نظراً لأن هذا يمكن أن يشوه أو يباعد ما بين الخلايا وبالتالي يعطل وظيفتها.

لقد ابتكر الغواصون أسماء خاصة لوصف مختلف الأعراض التي تتوافق مع تشكل الفقاعات في الأنسجة المختلفة. «فالخناق» chokes كلمة تدل على الصعوبة في التنفس التي يمر بها المرء حين تقف فقاعات كبيرة في الأوعية الشعرية الرئوية، وهو ما يخفض مساحة السطح المتاحة لتبادل الغازات ويؤدي إلى الشعور بانقطاع الأنفاس. و«الدوار» staggers ينجم عن فقاعات في الجهاز الدهليزي للأذن الداخلية التي هي معنية عادة بحفظ التوازن. أما الفقاعات في الركب ومفاصل الكتف، وهي المواضع الأكثر عرضة لمرض زوال الضغط، فتؤدي إلى «الالتواء»، وهي تتشكل في العمود الفقري. إن الفقاعات تسبب ما يشبه الإبر والدباسيس أو الشلل وفي الحالات الخطيرة يمكن أن تؤدي إلى تلف الألياف العصبية. في حين أن الالتواءات الدماغية ـ الفقاعات في الدماغ ـ تكون مصحوبة باضطرابات في البصر والعلاج وقد تكون قاتلة.

ثمة قصة، ربما يشك بصحتها، مفادها أنه حين شق أحد الأنفاق الأولى تحت نهر «التايمز»، قرر المشرفون أن يحتفلوا ببلوغ العلامة المنصَّفة بإقامة حفل غداء في النفق. ولأنه لم يكن قد اكتمل بعد، فإن النفق كان ما يزال ممتلئاً بالهواء المضغوط، مما اضطر معه الضيوف لأن يتناولوا غداءهم «تحت الضغط». ومما زاد في غمهم، فإن زجاجة الماء الفوار لم «تفرقع» حين فتحوها، ولم يكن هناك أي من الفقاعات المعهودة، ذلك أن الضغط

في زجاجة الماء الفوار كان مساوياً للضغط في النفق. مع ذلك، ورغم انعدام نكهتها فإنهم جميعاً شربوا المياه الفوارة. لكن، فيما بعد، لقبوا «بالفقاعيين»، إذ أنهم حين عادوا وضيوفهم إلى سطح الأرض، حيث الضغط الجوي العادي، بدأت المياه الفوارة، التي شربوها، تفور مطلقة الفقاعات من أفواههم.

أهمية الصعود البطيء

سرعان ما اكتشف عمال الهواء المضغوط بأنفسهم أن الأعراض التي تصيبهم يمكن الخلاص منها بالعودة إلى الضغط الجوي الأعلى الذي كانوا يعملون فيه، وهو ما جعل السير إيرنست موير يقترح غرفة إعادة ضغط يمكن استخدامها لمعالجة مرض القيسون. وقد استخدمت أول مرة نحو 1890 أثناء شق نفق بلاكويل تحت نهر التايمز، وكذلك في نفق نهر إيست في نيويورك، وعلى نحو برهنت فيه عن نجاح باهر. لكن غالباً ما استغرق الأمر ساعات كثيرة لإزالة الضغط عن شخص يعاني من الالتواء. وكان من الواضح أن ثمة حاجة ماسة لطريقة ما تمنع النوبة في المقام الأول. ونتيجة لعمل پول بيرت، بات الحل واضحاً: على الغواص أو عامل القيسون أن يصعد (أو يزيل الضغط) ببطء كافٍ بحيث يتيح للرئتين أن تطردا الغاز المنحل. الصعوبة الوحيدة كانت تكمن في تحديد المعدل الآمن لسرعة زوال الضغط. سنة 1904، باتت المشكلة حادة إلى درجة أن البحرية البريطانية طلبت من البروفيسور جون سكوت هالدين من جامعة اكسفورد، وهو عالم نفساني اشتهر سابقاً بعمله في قضايا التنفس (انظر الفصل الأول)، أن يعمل على حلها.

لقد قام هالدين، جنباً إلى جنب مع الملازم رامانت والپروفيسور بويكوت، بسلسلة من التجارب في معهد ليستر في لندن، مستخدمين غرفة فولاذية كبيرة يمكن منها التحكم بالضغط بسهولة. وبإجرائهم التجارب على

الماعز، وجدوا أنه لا توجد آثار سيئة بإزالة الضغط بصورة مفاجئة عن هذا الحيوان من 4 إلى نحو 2,6 وحدتي ضغط. لكن إن هم خفضوا الضغط بالمقدار المطلق نفسه، من 4,4 إلى 1 ضغط جوي (أي مستوى سطح البحر) كانت النتيجة مختلفة للغاية. إذ أن 20 بالمئة فقط من الماعز لم تتأثر، أما البقية فقد عانت كلها من «الالتواء». بل إن بعضها كانت إصابته حادة للغاية ثم نفق. بعد سلسلة من تجارب المحاولة والخطأ، اكتشفوا أن الأسلم هو تنصيف الضغط المطلق بسرعة ولكن، بعد ذلك، ينبغي تخفيض الضغط بصورة أبطأ بكثير. وبذلك، فإن العمق الذي يمكن للغواص أن لا يحتاج لإزالة ضغط معه يصل إلى حدود 10 أمتار (2 وحدتي ضغط جوي). وطبقاً للتقليد المتّبع في حينه لعلماء النفس التجريبيين، فإن أعضاء الفريق كرروا التجارب على أنفسهم. وكانت لحسن الحظ دون أثر ضار. بعدئذ أجريت المراحل الأخيرة من التجارب في البحر قريباً من جزيرة بوت على شاطئ سكوتلاندا الغربي، وعلى متن السفينة الملكية سپانكر. لقد جعلها هالدين عطلة عائلية وسمح لابنه جاك، ابن الثالثة عشرة، الذي طوَّر فيما بعد اهتمامه الشديد بقضايا التنفس، أن يغطس نحو 12 متراً[4].

لقد تأكد هالدين أن المعدل الذي ينحل فيه الآزوت في الجسم يختلف من نسج إلى آخر. فالخلايا الدهنية، مثلاً، لها قدرة تخزين عالية في حين أن خلايا الدماغ تختزن القليل من الآزوت (وبصورة اعتراضية، هذا يعني أن النساء والأشخاص البدينين يتطلبون لإزالة الضغط زمناً أطول مما يتطلبه الرجل العادي). زيادة على ذلك، فإن المعدل الذي يتراكم فيه الآزوت

(4) فيما بعد، روى هالدين أن تلك التجربة كانت أبعد من أن تكون مريحة، فبذلة غوص كانت تنتهي عند الرسغين بأكمام مطاطية للحيلولة دون دخول الماء. وبسبب حجمه الصغير فإن الأكمام سربت الماء بحيث غمر بذلة الغوص من الداخل حتى العنق. لكن لحسن الحظ أن الهواء كان يضخ إليه لمنع الماء من الارتفاع أكثر على الرغم من أنه أصيب ببرد شديد بالحقيقة.

يتوقف على كمية الدم التي تزودت بها الأنسجة ويكون أكثر بطئاً في الأنسجة ذات معدلات الإشباع البطيئة. نتيجة لذلك، فإن إشباع جسم الإنسان بالآزوت تستغرق ما ينوف على خمس ساعات. وعند إزالة الضغط، ينبغي إزالة الآزوت المنحل عن طريق التزويد بالدم. والسرعة التي يمكن بها إزالته بصورة سليمة تتوقف على قدرة التخزين ومعدل الإشباع لمختلف الأنسجة، ولنقل بصراحة إنه يستغرق من الوقت ما يماثل الوقت الذي تستغرقه للتراكم. هذا يعني أن أفضل طريقة هي أن يغوص الغواص بسرعة، يقضي وقتاً محدوداً في الأسفل ثم يصعد ببطء إلى السطح وعلى مراحل.

إن الغطس السريع الذي أوصى به هالدين وزملاؤه ناقضته الممارسات السابقة، لكنه كوّن نوعاً من الإحساس السيكولوجي السليم، نظراً لأنه كلما قصرت المدة المقضية في الأعماق، كان الغاز المنحل في الدم أقل، كذلك أوصوا بأن الجزء الأول من الصعود يجب أن يكون سريعاً، بحيث يجتاز الغواص فيه نصف المسافة التي غطسها، وهو المستوى الذي عرفوا، بالتجربة، أنه آمن تماماً وسليم. بعد ذلك على الغواص أن يصعد ببطء، وأن يتوقف فترة محددة في مستويات مختلفة، بحيث تتاح فترة تدريجية لإزالة الضغط. السبب في إزالة الضغط التدريجية هذه هو أن الزيادة في حجم الغاز هي نفسها، بغض النظر عما إذا كان الضغط ينخفض من 8 إلى 4 وحدات ضغط أم من 2 إلى واحد (تذكر القاعدة: الضغط × الحجم = ثابت، وبذلك فإن تنصيف الضغط س يضاعف الحجم). والفائدة العظيمة لما توصلوا إليه هو أنه بات بإمكان الغواص أن يصعد بسرعة، دون أذى، إلى أن ينزل الضغط إلى النصف، مما يسمح له أن يقضي وقتاً أطول في المياه الأقل عمقاً من أجل إزالة الضغط. وكما لاحظ هالدين نفسه: «إزالة ضغط منتظمة موحدة... لا ضرورة لأن تكون بطيئة في البداية وسريعة وفي النهاية، وهو أمر خطر عادة».

بمجيء سنة 1908، بات هالدين وفريقه قادرين على تزويد الأسطول

الملكي بمجموعة تفصيلية من جداول إزالة الضغط التي تحدد تماماً كم من الزمن على الغواص أن يتوقف عند كل عمق خلال إزالة الضغط، إثر غوصات ذات أعماق وأزمنة مختلفة. بعد إدخال هذه الجداول، انخفضت حوادث «الالتواءات» انخفاضاً سريعاً ولم تعد تظهر إلاّ عندما تقرر الغواص ـ لأي سبب من الأسباب ـ عدم الالتزام بخطوط الإرشاد ويصعد بسرعة أكبر. إذ لم يقتنع كل الناس مباشرة بفوائد عمل هالدين. وكما علق لاحقاً، بعد نحو عشر سنوات: «لسوء الحظ أنه من غير الممكن إدخال إزالة الضغط التدريجي في بعض البلدان بحجة أن هناك أنظمة قديمة متوارثة تقضي بإزالة الضغط بمعدل ثابت أو حتى بإزالته في البدء ببطء كبير ثم زيادة سرعته عند الاقتراب من الضغط الجوي العادي. لكن لحسن الحظ، بدأت نتائج أعمال هالدين تبحث عن نفسها بنفسها، إلى أن بات أسلوبه هو المستخدم الآن بصورة منتظمة. مع ذلك، ما تزال هناك مآسٍ تقع وحوادث تحدث مما يعني أنه لا يتم الالتزام بقواعد الإرشاد الخاصة بإزالة الضغط. إحدى الكوارث التي اشتهرت كثيراً هي كارثة كريس وكريسي راوز، فريق من أب وابنه لهما باع طويل في الغوص قضيا نحبهما بسبب مرض إزالة الضغط سنة 1992 فيما كانا يستكشفان حطام غواصة ألمانية.

إن من المفيد أن نقارن بين زمن إزالة الضغط المعمول به سابقاً من قبل عمال الأنفاق والقيسون، وبين ذلك الذي اقترحه هالدين وفريقه. فعمال القيسون كانوا يتعرضون عادة لضغط أعلى بثلاث مرات من الضغط الجوي (أي 3 بار) وتتم إزالة الضغط خلال عشر دقائق أو أقل، بالمقارنة. وبعد ثلاث ساعات يقضيها المرء وهو يعمل تحت هذا الضغط، فإن الزمن الإجمالي الذي أوصى به هالدين لإزالة ضغطه هو تسعون دقيقة. إذن لا عجب أن كثيراً من عمال القيسون كانوا يصابون بالالتواءات.

كذلك على الغواصين أن يتجنبوا الطريق لبعض الوقت بعد الغوص، نظراً لأن الضغط في الطائرة أقل منه عند مستوى سطح البحر (انظر الفصل

الأول) والمزيد من تخفيض الضغط يمكن أن يتسبب في تشكيل الفقاعات. لهذا ينصح الغواصون بألاً يطيروا قبل انقضاء اثنتي عشرة ساعة على غوصة واحدة قاموا بها وزمن أطول أيضاً بعد غوصات متعددة، أو غوصات تشتمل على توقفات أثناء الصعود لإزالة الضغط، كما قد يصاب من يقضون معظمهم ممن لا عهد لهم بمشاكل إزالة الضغط عبر حدوث الالتواء إذا هم قضوا صباحهم في غوص سكوبا (Scuba) ثم ركبوا الطائرة عصراً إلى مواطنهم. كذلك يمكن للطيارين العسكريين الذين يطيرون بطائرات غير مضغوطة الهواء أن يصابوا أيضاً بالتواءات إذا هم صعدوا بسرعة شديدة إلى ارتفاعات عالية عن سطح البحر.

الغوص العميق والالتواء

لا يصاب غواصو الأعماق الذين يهبطون إلى الأعماق الكبيرة بالالتواءات ما داموا يغطسون لفترة زمنية قصيرة غير كافية لانحلال الآزوت في سوائلهم الجسدية والتسبب في مشاكل عند صعودهم. مع ذلك، فإن غوصات الأعماق المتكررة مسألة مختلفة، طبقاً لما اكتشفه الدكتور پ. پوليڤ من الأسطول الدنماركي الملكي وعلى حسابه. ففي مطلع الستينيات من القرن العشرين، قام بنحو ستين غوصة مدة كل منها دقيقتان، وبفاصل ما بين دقيقة ودقيقتين في خزان غواصة تدريب ـ 4 ـ الفراشة وبعمق عشرين متراً. بعد نحو ثلاثين دقيقة من آخر غوصة أحس بألم حاد في وركه الأيسر. رأى أن يتجاهله، لكن بعد نحو ساعتين أحس بآلام صدر حادة وبتشوش في الرؤية وشلل في يده اليمنى وضيق في التنفس. بعدئذ وجده أحد زملائه وهو في حالة صدمة. بسرعة وضعه في غرفة ضغط معيداً رفع ضغطها إلى 6 وحدات ضغط جوية. وسرعان ما زالت الأعراض. بعدئذ استغرقت إزالة الضغط من جديد ما ينوف على التسع عشرة ساعة، لكن پوليڤ كان حسن الحظ، لأنه شفي تماماً ليكتب فيما بعد قصة تلك التجربة.

يعاني غواصو اللؤلؤ في أرخبيل تواموتو في جنوب المحيط الهادئ من حالة تدعى «تراڤانا»، وهي الحالة التي تذكرك كثيراً بالحالة التي وصفها پوليڤ تترجم كلمة تراڤانا بعبارة «يسقط بجنون» والأعراض تراوح ما بين الاضطرابات البصرية وفقدان الوعي. أحياناً، يصاب الضحية بالشلل أو يموت حتى، (فالتواموتو، خلافاً لپوليڤ، ليس لديهم غرفة إعادة ضغط لتدبر الأمر). أحد الزوار كتب ملاحظة تقول «أذهب قرب الساحل في مكان كجزيرة البرهين في إيسلندا مثلاً، حيث أكبر عدد للسكان على مرأى، ولسوف يبدو لك أنه مدفن لغواصي الأعماق الذين ماتوا». غير أن التراڤانا مرض أكثر وقوعاً وأشد هولاً. ففي يوم واحد فقط، ظهرت أعراض على 47 من أصل 235 غواصاً عاملاً، بعض تلك الأعراض كان حاداً تماماً، إذ أصيب بالشلل ستة منهم فيما قضى اثنان نحبهما. لحسن الحظ، ليست كل الأيام دراماتيكية هكذا، لكن معدل الإنهاك ما يزال عالياً نوعاً ما.

ورغم أن الطبيعة الموحية للتراڤانا ظلت غامضة سنوات كثيرة إلاَّ أن عمل پوليڤ وآخرين بعده، يقول إنها تشبه إلى حد كبير شكلاً من أشكال مرض إزالة الضغط. فغواصو اللؤلؤ التواموتو يدفعون بأجسادهم إلى الحدود القصوى إذ يغوصون إلى أعماق تصل إلى 40 متراً (4 بار) وكل غوصة تدوم نحو دقيقتين. كما يقومون بست إلى أربع عشرة غوصة كل ساعة ويبقون على السطح ما بين أربع إلى ثماني دقائق بين الغوصة والأخرى. ولعل هذه فترة أقصر بكثير من أن تسمح لكل الآزوت الذي ينحل في أنسجتهم خلال الغوصة بأن يطرح خارجها، لهذا السبب، يتراكم مع كل غوصة ليؤدي أخيراً إلى مرض إزالة الضغط عند الصعود (فالتراڤانا لا تحدث في الأعماق بل فقط لدى الصعود إلى السطح). إن الأفراد الذين يقومون بغطسات كثيرة وبفواصل قصيرة يكونون أكثر عرضة للموت. ولعل من المثير للاهتمام، أن التقاليد في جزيرة منغريڤا القريبة، حيث التراڤانا غير معروفة، تقضي بأن يمضي الغواص على السطح عشر دقائق على الأقل بين الغوصة والأخرى.

لدى دخول الماء

ليس مرض إزالة الضغط هو الصعوبة الوحيدة التي تواجه الغواص. إذ حتى تغطيس الجسد في الماء حتى العنق فقط يسبب تغيرات فيزيولوجية. فحين تقف منتصب القامة على الشاطئ، يكون هناك عنصر ضغط على جسدك، مرده قوة الجاذبية التي تجعل الدم يتجمع في ساقيك، فإذا غطست حتى العنق في البحر، فإن هذا الأثر سينعكس بفعل الضغط الخارجي للماء، بحيث يتحرك نصف ليتر من الدم صعوداً من الساقين إلى الصدر، موسعاً الأوردة الكبرى والأذين الأيمن للقلب زائداً ضخ قلبك. إحدى نتائج توسع جدار الأذين هذا هي أنها تغير مستوى هرمونين يؤثران في ما تأخذه الكلية من الجسم وبالتالي تحرض على إفراز البول، وهو ما يفسر لماذا تشعر غالباً وعلى نحو مزعج، بحاجتك للتبول إثر دخولك الماء تماماً.

بل حتى تغطيس وجهك في الماء يؤدي إلى رد فعل فيزيولوجي. إنه يبطئ معدل دقات القلب. وهي الظاهرة التي تعرف بمنعكس الغوص، وعلى الرغم من أنها لا تظهر كثيراً جداً لدى الإنسان، إلاَّ أنها غاية في الأهمية لدى الثدييات التي تغوص كالفقم مثلاً وكما سنرى لاحقاً. بإمكانك أن تتحقق بنفسك من منعكس الغوص، وذلك بأن تأتي بصديق يقارن بين نبضك العادي ونبضك بعد أن تغطِّس وجهك في حوض ماء بارد. مع ذلك لا تعطي هذه التجربة أُكُلُها دوماً. ذلك أن التوفز العصبي (أو الإثارة) تطلق هرمون الأدرينالين الذي يقوم بتسريع دقات القلب.

آما: صيادات السمك اليابانيات

أشهر غواصي الأعماق جميعاً هم آما اليابان أي الصيادات اللواتي يحصدن تحت الماء حدائق قاع المحيط، جامعات المحار، البزاق البحري، الأخطبوط، قنفذ البحر وأعشاب البحر. وهذه، رغم أنها ليست شائعة كطعام في العالم الغربي، إلاّ أنها أطعمة تقليدية شهية في اليابان. كذلك يجمعن الأصداف أمهات اللؤلؤ المعروفة باسم آكويا ـ غاي التي تستخدم لتربية اللؤلؤ. وهؤلاء الآما موجودات منذ أكثر من ألفي سنة؛ وطبقاً للتقاليد المعروفة، هن جميعاً من النساء وقد خلدتهن اللوحات الخشبية التي تركها رسامو اليوكيوي ـ إي والتي تصور صبايا جميلات، عاريات من خصورهن وما فوق يغصن بحثاً عن «الأوابي» (أذن البحر) غالي الثمن. لكن هذه اللوحات خادعة، ذلك أن نساء الآما كن يمارسن مهنتهن حتى سن الخمسين. كذلك، ليست مهنتهن بالمهنة المريحة. فقبل نحو ألف سنة، قامت شاي شوناغون، وهي وصيفة في بلاط الأمبراطورة اليابانية ساداكو، بوصف هذه المهنة على النحو الآتي:

البحر شيء مخيف في أحسن الأوقات. وكم ينبغي أن يكون مخيفاً أكثر بالنسبة لأولئك النسوة المسكينات الغواصات اللواتي عليهن أن يغطسن إلى أعماقه لكسب معيشتهن وإن المرء ليتعجب ما تراه يحدث إذا ما انقطع الحبل المربوط حول خصر واحدتهن، ذلك أنه بعد إنزال المرأة في الماء يجلس الرجال مرتاحين في قواربهم ومن قلوبهم يغنون الأغاني فيما يرقبون بعيونهم الحبل الذي يطفو على السطح. إنه لمنظر مدهش، ذلك أنهم لا يبدون أدنى اهتمام بما يمكن أن تتعرض له المرأة من أخطار. أخيراً، وحين تريد أن تصعد، تشد المرأة حبلها بشدة تجعل الرجال يسحبونها من الماء بسرعة يمكنني أن أفهمها جيداً. إذ ما إن تتعلق بجانب الزورق حتى تبدأ التنفس وهي تشهق شهقات مؤلمة. إنه لمنظر يكفي لأن يجعل حتى المتفرج الغريب يذرف الدموع. كذلك، ليس باستطاعتي أن أتصور أن هناك كائناً يشتهي مثل هذه المهنة».

إن كلماتها لتبدو عصرية على نحو مدهش. إذا ما أخذنا بالاعتبار ما انقضى عليها من زمن ومسافة.

فتيات يرقبن غواصات أذن البحر في إينوشيما، من لوح ثلاثي رسمه فنان اليوكيوي ـ إي العظيم، أوتا مارو، نحو سنة 1789.

ذات، يوم، كان هناك آلاف كثيرة من نساء الآما في اليابان ـ فحسب إحصاء 1921، كان الرقم يصل إلى 13000 ـ غير أن عددهن تناقص تناقصاً حاداً في السنين الأخيرة. إذ نزل إلى 6000 سنة 1963 أو ربما إلى أقل من 1000 هذه الأيام. ومعظم نساء الآما الآن هن كبيرات في السن، لأن القلة من الفتيات الآن يرغبن في امتهان مهنة دقيقة صعبة كهذه المهنة، علاوة على أن الكثير من المحار يربى الآن تربية اصطناعية، مما يلغي الحاجة للغواصات. ومن المحتمل على ما يبدو أن مهنة الآما في طريقها إلى الانقراض، ليظل شبح وجودها فقط في أسماء القرى المحلية (مثل قرية آما ـ ماشي).

هناك، تقليدياً، نوعان من الآما: الكاشيدو والفونادو. الكاشيدو هن الفتيات الشابات اللواتي ما يزلن قيد التدريب، واللواتي يغطسن بغير مساعدة إلى عمق 5 ـ 7 أمتار، ويقضين نحو 15 ثانية في الأسفل. وعلى الرغم من أن واحدتهن قد تقوم نحو ستين غطسة في الساعة، إلاّ أن فتاة الكاشيدو ليست عرضة لخطر الالتواء وذلك بسبب ضحالة العمق الذي تنزل إليه.

الغواصات الأكثر مهارة وخبرة هن «الفونادو» اللواتي يغصن إلى أعماق أكبر بكثير، متوسطها نحو 20 م. كل فونادو، حسب وصف ساي شو ناغوني، يساعدها مراكبي. إنها تغوص، بعد أن تعبَّ الهواء عبّاً كي تملأ رئتها به، غوصاً شاقولياً إلى عمق البحر، متمسكة بثقل ذي وزن يساعدها في الهبوط إلى الأسفل محافظة على ساقيها مضمومتين معاً وذلك لتخفيف مقاومة الماء لها، لكن ما إن تصل إلى القاع حتى تترك الثقل وتجمع غلتها، واضعة إياها في سلة شبكة صغيرة. وحين تكون جاهزة للصعود، تعطي إشارة إلى شريكها بشد الحبل المربوط بالثقل، فيسحبها مستخدماً حبل الحياة المشدود حول خصرها. كل غوصة تدوم نحو دقيقة، تقضي الغواصة حوالي نصفها في القاع. وقبل أن تغوص ثانية، تستريح الفونادو في الماء بجانب القارب نحو دقيقة، تقوم الفونادو عادة بخمسين غوصة كل صباح وأكثر من خمسين عصراً، لكن شأنها شأن الكاشيدو، لا بد لها من التوقف لتدفئة جسمها بعد سلسلة من الغطسات.

لا يبدو على نساء الآما أنهن يصبن بمرض إزالة الضغط لكنهن يعانين من مشاكل في الأذن أكثر مما تعاني منه رفيقاتهن اللواتي لا يغصن. لقد بينت دراسة أجريت سنة 1965 أن ما يقارب 60 بالمئة من الفونادو اللواتي هن فوق سن الخمسين يصبن بفقدان السمع، إضافة إلى أن طنين الأذن وتمزق الغشاء الطبلي هما من الشكاوى الشائعة.

ثمة أسباب فيزيولوجية تفسر لماذا يمكن للمرأة أن تكون غواصة أفضل ـ إذ يمكنها أن تحبس أنفاسها مدة أطول وتتحمل البرد أكثر ـ لكن بشكل ما، يبدو من غير المعقول أن هذا هو السبب الحقيقي في أن الآما كلهن من النساء.

حين تخرج من البحر، يكف الماء عن دعم جسدك فيعود الدم للتوزع من الصدر إلى الساقين، ولهذا دلالات هامة، فقد كان معروفاً لسنين طويلة، أن الأشخاص الذين تلتقطهم حوامات الإنقاذ من البحر يكونون عرضة لما يسمى بانهيار ـ ما بعد ـ الإنقاذ. إذ رغم أنهم يكونون أحياء وغير مصابين بأي أذى وهم في الماء، على ما يبدو، إلاّ أنهم يصابون بتوقف القلب حالما يرفعون إلى العوامة، لقد ساعدت معرفة فيزيولوجية الجسم البشري في حل هذه المشكلة، فقد تم التحقق من أن إعادة توزيع الدم أثناء الغطس في الماء يخفض الدم المتدفق إلى الأطراف السفلية مما يجعلها تبرد ودرجة حرارتها تنخفض إلى مستوى أقل بكثير من درجة حرارة لب الجسم. لقد كان يتم إنقاذ الناس، حتى بضع سنوات خلت، وهم في وضع المنتصب، وذلك باستخدام أحزمة رافعة توضع حول الصدر وتحت الإبطين. وهكذا حين يخرج الضحية من الماء، يحدث نوع من الموج الدافق للدم إلى الساقين. هذا الدم يبرد بسرعة ونتيجة لذلك، يسبب لدى عودته إلى القلب توقف القلب. الحل هو أن نضع حزاماً ثانياً تحت ساقي الضحية يتيح لهما أن ترتفعا من الماء بصورة أفقية، وبذلك يمنع الدم من إعادة توزعه، ثم يجب إبقاء الضحية مستلقياً على ظهره إلى أن تسخن الأطراف من جديد، وللعلم فقد انخفضت حوادث توقف القلب انخفاضاً حاداً منذ تبنت مصلحة الإنقاذ الجوية في البحرية البريطانية هذه الإجراءات.

انفجار الأعضاء داخلياً وخارجياً

يتكون معظم الجسم البشري من الماء غير القابل للانضغاط عملياً، لهذا يظل في درجة الضغط نفسها للماء المحيط به ولا ينسحق في الأعماق،

لكن لا يمكن قول الأمر ذاته عن الغازات المتواجدة في تجاويف الجسد (الرئتان، الأذنان، الجيوب) التي، لكونها قابلة للانضغاط، تشغل حجماً أصغر في الضغط العالي، ولتقلص الهواء هذا في تجاويف الجسد عدة آثار معظمها تقريباً غير مرضي.

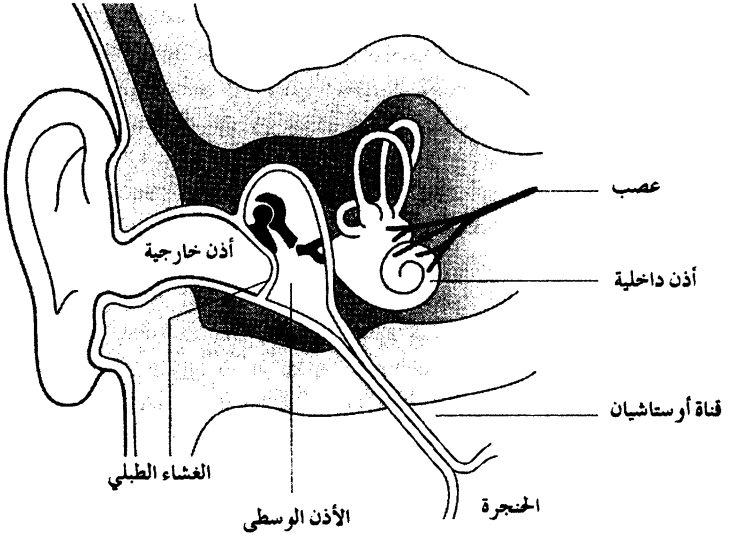
إن حجم الهواء في رئتي غواص الأعماق يتناقص مع تزايد العمق وذلك بسبب تزايد الضغط المحيط. ولقد تم الافتراض مبدئياً أن هذا يجب أن يحدد الأعماق التي يمكن للغواص الحر أن يبلغها. كما ناقش بعضهم بأن الضغط عند نقطة معينة ـ ربما نحو 100 م ـ، يمكن بكل بساطة أن يطبق الصدر، وبالطريقة نفسها التي يمكن أن تنطبق بها علبة فارغة أو تنسحق غواصة على عمق معين. بيد أن نظرية بديلة أخرى قالت إن القفص الصدري يمكن أن يظل سليماً لا يمس لكن الرئتين يمكن أن تنكمشا وتتقلصا على نحو يمزق أغشية الجنب الدقيقة التي تربطها بجدار الصدر. غير أن بعض الغواصين، متجاهلين تحذيرات الفيزيولوجيين، غامروا بالغوص إلى أعمق وأعمق ووجدوا أنهم لم يصابوا بأي آثار ضارة. السبب على ما يبدو، هو أن الإنسان، في هذا المجال، قد يكون أشبه بالحيتان والدلافين وعلى نحو أكثر مما كان متوقعاً.

ثمة قصص كثيرة عن فارين هربوا من التفتيش بتغطيس أنفسهم في نهر أو بحيرة متنفسين الهواء من خلال قصبة جوفاء. إن التأمل في هذه المشكلة يدل على أنهم كانوا محظوظين، ليس لأنهم نجوا من الاكتشاف، بل لأنهم لم يستطيعوا الغوص عميقاً جداً. إذ من غير الممكن جسدياً وبكل بساطة، أن تتنفس هواء الجو وفوق رأسك أكثر من متر من الماء، بل إن معظم الناس لا يستطيعون ذلك حتى على عمق نصف متر. السبب هو أن ضغط الماء الخارجي على الصدر يجعل التنفس أصعب وأصعب. زيادة على ذلك، فإن الهواء في أنبوب التنفس يجب أن يتبدل أيضاً. ورغم أن إنقاص قطر الأنبوب ينقص كمية الهواء فإنه يزيد أيضاً المقاومة، مثلما ستكتشف ذلك،

إذا ما قارنت صعوبة التنفس عبر قشة وكذلك عبر أنبوبة «شُنُرْكِل» في حوض سباحة. نادراً ما تغمر أنابيب «الشُنُرْكِل» بالماء على أي عمق، بل تظل ظاهرة فوق السطح، وظيفتها الأولية تمكين السباح من التحرك قدماً ووجهه غاطس في الماء.

لهذا السبب، على غواص الأعماق التي تزيد عن نصف متر أن يتزود بهواء ضغطه مساوٍ لضغط الماء المحيط. بل حتى حينذاك، قد لا يؤدي المهمة بالكفاءة نفسها وهو على البر، لأن كثافة الغاز (الكتلة في حجم وحدة) ترتفع أيضاً مع تزايد العمق وهو ما يزيد جهد التنفس. أحد الحلول هو إحلال غاز داخلي أقل كثافة كالهليوم مثلاً، محل الآزوت في الهواء المستنشق.

ليست الرئتان بالتجويفين الوحيدين في الجسم اللذين يمتلئان بالهواء. فأحد أشد آثار الغوص، وضوحاً، الذي يعرفه الكثير من الناس، هو الشعور بالضغط أو الألم في الأذنين. هذا يحدث لأن الهواء الذي تحتويه الأذن الوسطى، غير متصل اتصالاً مباشراً بالخارج. نتيجة لذلك، حين يتقلص الهواء لدى الهبوط، يشتد الضغط على طبلة الأذن مما يجعلها تنثني إلى الداخل. ولمنعها من التمزق، لا بد من موازنة ضغط الأذن الوسطى مع ضغط الأذن الخارجية، أي بعبارة أخرى، مع ضغط الماء الخارجي. يتم هذا بإدخال الهواء عبر قناة أوستاشيان، وهي الممر الذي يصل البلعوم بالأذن الوسطى. تكون قناة أوستاشيان عادة مغلقة كما تتطلب عادة بعض العمل الموضعي لفتحها. الطريقة الأكثر شيوعاً للقيام بذلك هي قرص الأنف بين الإبهام والسبابة وأن تنفخ الهواء عبر أنفك. يساعد في ذلك التثاؤب أيضاً، والبشارة بالنجاح تأتي من خلال «فرقعة» الأذنين، والهواء يمر داخلاً إلى الأذن الوسطى. وقد يكون من الصعب موازنة الضغط إذا كانت قنوات أوستاشيان مسدودة بإفرازات النزلة الالتهابية، الأمر الذي يفسر النصيحة بأن لا تغوص إن كنت مصاباً بالترشح، وهو أيضاً ما يفسر لماذا يمكن أن يكون



الأذن الوسطى هي تجويف مليء بالهواء، تحيط به العظام ويصل ما بين الأذن الخارجية والأذن الداخلية. يفصلها عن الأذن الخارجية الغشاء الطبلي وعن الأذن الداخلية الملأى بالسائل فتحة بيضوية. والصوت، بكل بساطة هو أمواج ضغط في الهواء تجعل الغشاء الطبلي يهتز. هذا الاهتزاز ينتقل إلى الأذن الداخلية، حيث يتم تدقيق الصوت، بواسطة ثلاث عظيمات صغيرة تدعى بصورة تخيلية، المطرقة، السندان، الركابي (وقد سمي كذلك لأن لديه شكل الركاب) قد يعاني الغواصون من آلام الأذن حين يغطسون بسبب تمدد الهواء في الأذن الوسطى، لكن لحسن الحظ أن هذا التجويف ليس مختوماً تماماً. فقناة أوستاشيان، التي سميت كذلك تيمناً باسم عالم التشريح الإيطالي الذي اكتشفها، تصل الأذن الوسطى بمجاري الهواء الواقعة خلف الأنف وتعمل كناقل لموازنة ضغط الهواء في الأذن الوسطى مع ضغط الهواء الخارجي.

الطيران غير مريح، ذلك أن الطيارات التجارية تكون مضغوطة الهواء حتى ارتفاع نحو 2000 م.

وإذا حدث الضغط بسرعة إلى درجة يتعذر معها على المرء أن يوازنه بضغط الأذن الوسطى، قد تحدث له عواقب وخيمة؛ ففي أثناء إعادة الضغط لغواص كان يعاني من التواء حاد، زيد ضغط الحجرة إلى 6 وحدات جوية خلال ثلاث دقائق ونصف، الأمر الذي مزق مباشرة كلتا طبلتي الأذن لدى الطبيب الذي يعالجه.

كذلك قد تقع مفاجأة مزعجة على نحو خاص للغواص، إذا ما تسربت

فقاعة هواء إلى حشوة سن أو إلى سن منخورة، نظراً لأن تقلص الغاز في الأعماق يمكن أن يسبب انفجار الحشوة أو السن داخلياً. العكس يمكن أن يحدث في الارتفاعات العالية جداً، حيث يؤدي الضغط المنخفض إلى انفجار السن انفجاراً خارجياً. ولكي تتجنب كارثة كهذه، استبدلت جودي ليدن كل حشوات أسنانها أثناء استعداداتها للطيران على ارتفاعات عالية.

كذلك يمكن لتمدد الغازات، حين يتحرر الضغط، أن يسبب مشكلة، فالسمك الذي يعيش في الأعماق الكبيرة تقلب أحشاؤه لدى إخراجه إلى السطح وذلك بسبب تمدد الغاز الذي يحتويه كيسه الهوائي الخاص بالسباحة، مما يجعله يلفظ أحشاءه تلك عبر فمه. كما يمكن أيضاً لغواص ـ سكوبا غير حذر أن يلاقي صعوبات عند الصعود. فعلى عمق 10 م، يكون الضغط ضعف ضغط السطح والهواء الذي يتنفسه في هذا العمق سيتمدد إلى ضعف حجمه لدى بلوغه السطح، لهذا، فإن الصعود إلى السطح، والرئتان تمتلئان هواء، فيفجِّر الرئتين. كما أن تمزق الأكياس الهوائية يسمح للغاز بالتسرب إلى تجويف أغشية الجنب المحيطة، بالرئتين، أو إلى مجاري الدورة الدموية حيث يمكن أن يسد مجرى الدم ويمنع تدفقه إلى الدماغ، نظراً لأنه يؤثر التحرك صعوداً. الأمر الذي قد يكون قاتلاً. إن قدرة الرئتين على استيعاب الهواء المتمدد محدودة جداً، وتفجر الرئة قد يحدث بسبب غوصة إلى عمق مترين فقط. لكن مثل هذا الأذى الضغطي أمر نادر، شريطة أن يتنفس الغواص بصورة عادية عندما يصعد، وأن يتم تعديل «حجم الهواء» في الرئتين بصورة تدريجية. لكن حين نضطر لأن نصعد صعوداً طارئاً، علينا أن نتذكر أنه ينبغي أن نزفر مطلقين الأنفاس باستمرار ونحن في طريقنا إلى الأعلى.

والتنفس. ولقد سجل أمبرتو بيليزاري من إيطاليا سنة 1992، أعلى رقم حتى الآن لغوصة حرة (من غير مساعدة) وبنفس واحد، ذلك الرقم هو 72 م (236 قدماً). غير أن غواصي «اللاحدود» بلغوا أعماقاً أكبر لكن مع استخدام أوزان ثقيلة تساعدهم في الهبوط وهواء مضغوط لدفعهم صعوداً إلى السطح. بوجود هذه المساعدات، نجح بيليزاري في الهبوط إلى 118 م سنة 1991 وهو الرقم الذي تجاوزه فيما بعد الكوبي فرانسيسكو فريراس الذي وصل إلى عمق مذهل هو 133 م.

إن جسم الإنسان قابل للطفو بصورة طبيعية نظراً لأن كثافته قريبة من كثافة الماء، وعلى المرء، لكي يغوص، أن يسبح بفعالية نزولاً أو يضيف أثقالاً إلى جسمه. ثمة عامل تغذية استرجاعية إيجابي ما بين العمق وقابلية الطفو، وذلك بسبب الدور الذي يلعبه الهواء في الرئتين: إذ بقدر ما يغوص الغواص الذي يحبس أنفاسه أعمق، يصبح أشد كثافة، لأن الهواء في رئتيه ينضغط لتغدو قابلية طفوه أقل. لهذا يغوص بسرعة أكبر. والعكس بالعكس، بقدر ما يرتفع الغواص إلى الأعلى يتمدد الهواء في الرئتين أكثر مما يجعل جسده أخف وسرعته في الصعود أكبر. هذا يعني أنه بالرغم من أن غطس الأقدام القليلة الأولى قد يأخذ الكثير من الجهد، إلاَّ أنه يصبح أسهل بصورة تدريجية إلى أن يصل إلى نحو 7 أمتار حيث يغوص جسده بعد ذلك بصورة طبيعية. لذلك يصبح صعوده من المياه الأعمق أصعب وأصعب. وهو ما يفسر السبب في أن معظم غواصي الأعماق (كصيادي المحار اليابانيين مثلاً) يرفعهم إلى السطح مساعدون.

إن المشكلة الكبرى التي يواجهها غواصو الأعماق، طبعاً، هي افتقاد الهواء. ذلك أن معظم الناس لا يستطيعون حبس أنفاسم أكثر من دقيقة أو دقيقتين، لكن بالتدريب، يمكن التوصل إلى فترات أطول. الرقم العالمي الذي تم تسجيله هو ست دقائق وإحدى وأربعون ثانية وقد سجله أليخاندرو راڤيلو سنة 1993، وهو يستلقي بهدوء في قاع حوض للسباحة. إن من

الضروري، بغية التوصل لأرقام كهذه، أن يعب المرء أقصى ما يستطيع من الهواء قبل أن يغوص، وذلك أن ثاني أوكسيد الفحم، كما سبق وشرحنا في الفصل الأول، يوفر الحافز الأساسي للتنفس، لهذا فإن ملء الرئتين بالهواء تماماً يطرد ثاني أوكسيد الفحم الزائد ويطيل الفترة قبل أن يرتفع تركيز ثاني أوكسيد الفحم إلى مستوى يحرص على أخذ النفس التالي، غير أن عب الهواء المفرط قبل الغوص خطر جداً نظراً لأن الغواص قد لا يعرف أن مستوى الأوكسجين في دمه قد هبط إلى حد أدنى من أن يستطيع الدماغ العمل، ونتيجة لذلك قد يبقون تحت الماء ويغرقون، وهو ما يسبب حتى اليوم وفيات غير ضرورية تحدث عادة بين الأطفال الذين يتنافسون ليروا كم من الزمن يمكنهم البقاء تحت الماء.

قابلية الطفو

تستخدم الحيوانات الكثير من الوسائل الغريبة للحفاظ على وضعها الشاقولي في المحيط. كما يتجنب معظمها إنفاق أي طاقة غير ضرورية وذلك بأن تضمن أن تضاهي كثافتها كثافة الماء المحيط. وهذا هو دور كيس الهواء الخاص بالسباحة، وهو كيس فضي مليء بالهواء يمكن رؤيته متمدداً داخل تجويف الجسم حين تنزع أحشاء السمكة. يتيح هذا العضو للسمكة إمكانية تكييف قدرتها على الطفو مع العمق الذي تعيش فيه والطفو الحيادي أمر مفيد للغاية، ذلك أن السمكة لا تحتاج معه لأن تنفق أي طاقة لكي تحافظ على وضعها الأفقي، لكنه، في الوقت نفسه له سيئات متأصلة فيه، فالسمكة، شأنها شأن الإنسان، غواص الأعماق الذي يغوص ورئتاه مليئتان بالهواء، إذا ما سبحت تحت الأعماق التي اعتادتها، ينضغط الغاز في كيس سباحتها الهوائي وبالتالي يتعين عليها أن تبذل جهداً أكبر في السباحة لكي تمنع نفسها من الغرق. والعكس بالعكس، إذا سبحت السمكة فوق أعماقها المعتادة حيث يكون طفوها حيادياً معتاداً، فإن الغاز يتمدد ويزودها بقوة رفع إضافية بحيث يتوجب على السمكة حينذاك أن تسبح نزولاً كي تتفادى إمكانية حملها إلى السطح. ورغم أن بإمكان السمكة أن تكيف طفوها الحيادي المعتاد باختزان الغاز أو طرده من كيسه الهوائي، إلاّ أن هذه تظل عملية بطيئة.

وبذلك تطفو السمكة محصورة بصورة أساسية ضمن مسافة معينة من عمق المحيط، وشأنها شأن الطائرة التي تحوم محلقة في الجو ضمن مدى وارتفاع محددين، فإن لكل جنس من الأسماك عمقاً للتحرك يخصه وحده. كما أن لكثير من الأسماك أكياس سباحة هوائية مغلقة دون أن يكون لها أي فتحة خارجية، وإذا ما نقلت بسرعة إلى السطح، يمكن أن يتمدد الغاز بسرعة أيضاً إلى درجة أن الكيس الهوائي يتمزق أو يدفع للخروج عبر الفم. على أن بعض الأسماك (كالقرش مثلاً) ليس لها أكياس هوائية على الإطلاق ويتعين عليها أن تسبح باستمرار لكي تحافظ على وضعها في الماء، إنها تغرق إذا ما توقفت. مع ذلك فإن القرش المتشمس يقضي، طبقاً لما يدل عليه اسمه، وقتاً أقل وهو يسبح ويدور، نظراً لأن له كبداً زيتياً كبيراً يساعده في تحقيق الطفو الحيادي المتعادل.

يكون كيس السباحة الهوائي ممتلئاً بصورة كاملة تقريباً بالأوكسجين الذي يمنع من الانتشار خارجاً بسبب واحد هو أن ذلك العضو بُطِّن بطبقات مضاعفة من البلورات الغوانية.

يمكن لهذه الطبقات البلورية أيضاً أن تحمي الخلايا التي تشكل جدران الكيس الهوائي من الآثار السامة للأوكسجين على عمق معين. والبلورات الغوانية نفسها هي الجزيئات الأكثر أهمية لأنها تمنح الحراشف لمعاناً، وتوجد في براز الطير (بل هي العنصر الرئيسي لدى طير الغوان) على أن الأهم من كل شيء آخر هو أنها أحد الأسس الأربعة التي يتكون منها الـ (د.ن.أ).

يعد النوتي اللؤلؤي مخلوقاً جميلاً ذا صلة وثيقة بعمونيي العصور القديمة (سكان شرقي الأردن) وكذلك بالأخطبوط، والحبار هذه الأيام. إنه يشتهر أيضاً باسم النوتي ذي الحجرات، ذلك أن له قوقعة خارجية مقسمة إلى الكثير من الحجرات. وكلما نما الحيوان وكبر أضاف حجرات جديدة إلى قوقعته وذلك بمعدل حجرة واحدة كل ثلاثة إلى أربعة أشهر. تنفصل كل حجرة عن جارتها بجدران تعرف باسم الحجب الحاجزة التي تقوي القوقعة وتساعد في منع انسحاقها تحت ضغط الماء الخارجي. يعيش هذا الحيوان في الحجرة الأخيرة، أمّا الأخريات فتكون ملأى بالغاز، بضغط كالضغط الجوي، يستخدم للطفو. تكون الحجرة، حين تتشكل أولاً، مليئة بالمحلول الملحي لكن شيئاً فشيئاً تطرح الأملاح خارجاً لتسحب طبقاً لخاصية الارتشاح، الماء معها مما يسمح للغاز بأن ينتشر إليها حالاً محل السائل.

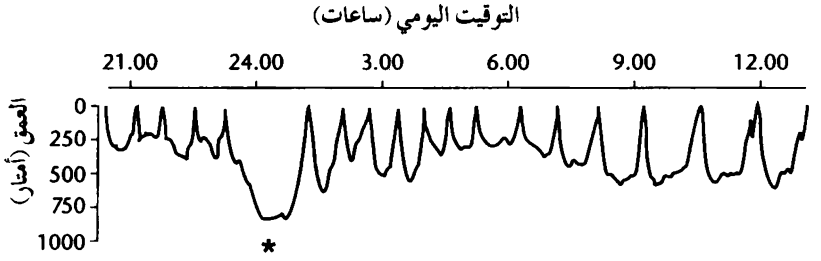
ونظراً لأن الغاز المستخدم للطفو محصور ضمن قوقعة صلبة، فإن النوتي يظل بمعزل عن التأثر بالتغيرات في الأعماق كما يكون حراً في الاصطياد شاقولياً في مياه المحيط، لكونه غير محدد إلاّ بالضغط الذي يمكن لقوقعته أن تثبته. إنه، خلال النهار، يهبط إلى عمق 400 م، لكنه في الليل يصعد إلى المياه الأقل عمقاً (بعمق 150 متراً) كي يتغذى. ولقد تم اصطياده في أعماق تصل إلى 600 م، لكن التجارب بيَّنت أن القوقعة تتحطم تحت ضغط الماء الخارجي بعمق نحو 750 م. هذا إذن، هو الحد النهائي للنوتي اللؤلؤي.

وعلى الرغم من أن الإنسان لا يستطيع أن يحبس أنفاسه أكثر ويضيع دقائق، فإن الثدييات الغواصة، البط والسلاحف، يمكنها أن تفعل ذلك مدداً طول بكثير. إن الفقمة ـ الفيلة تحبس أنفاسها على نحو تضرب به الرقم لقياسي. ولقد سجلت هذا الرقم فقمة ـ فيلة ظلت غائصة طوال ساعتين وهو أكثر بعشرين مرة مما سجله الإنسان. غير أن أغلب الغوصات هي قصر بكثير. هذا التحمل الهائل للفقمة لا يعود لأنها تحمل في رئتيها وكسجيناً أكثر، فهي كما سبق ورأينا، تزفر الهواء عملياً قبل أن تغطس لكي تفادى الالتواء. بل لأن لدى الحيتان والفقمة، إذا ما تكلمنا نسبياً، مقداراً كبر من الدم وقدرة على نقل الأوكسجين أعلى من قدرة الإنسان، وبالتالي فإن كمية الأوكسجين التي ينقلها دمها، أكبر بكثير. كذلك يُختزن

الأوكسجين لديها في العضلات ويتحد مع الميوغلوبين، وهو الجزيء المماثل بنيوياً للهيموغلوبين، خضاب الدم ناقل الأوكسجين، ولدى حيتان العنبر من الميوغلوبين لكل كيلوغرام من العضلات عشرة أضعاف ما لدى الإنسان وهو ما يفسر اللون الأحمر الغامق جداً للحم الحوت. إضافة إلى ذلك، تحوي عضلات الثدييات الغواصة قدراً كبيراً من فوسفات الكرياتين الذي يعمل كوقود للطاقة (أنظر الفصل الخامس)، هذه التكيفات توفر لفقم «الويدل» والحيتان زاداً من الأوكسجين يدوم نحو عشرين دقيقة، وهي بشكل ما أطول من مدة أية غوصة عادية.

بالمناسبة، يمكن لفقم «الويدل» أن يقوم بغطسات مطولة تصل مدتها إلى الساعة. وهذا ممكن ون العضلة بعد استهلاكها للأوكسجين المختزن في الميوغلوبين، تتحول إلى الاستقلاب اللاهوائي، وهو الاستقلاب الذي لا تستخدم فيه الأوكسجين (أنظر الفصل 5). غير أن الاستقلاب اللاهوائي يؤدي إلى تشكل حمض اللبن الذي يتعين طرده من الأنسجة لاحقاً بعملية تتطلب الأوكسجين. وهكذا، بقدر ما تمكث الفقمة غاطسة مدة أطول، يتكون حمض اللبن ويتراكم وبالتالي يزداد مقدار الأوكسجين المطلوب حين الصعود إلى السطح للتخلص منه. هذا يفسر لماذا تبقى فقمة الويدل، بعد غطسة طويلة الأمد زمناً أطول قبل أن تقوم بغطستها التالية. مع ذلك تظل الفقمة ـ الفيلة نوعاً من اللغز. إنها، كفقمة الويدل، تختزن الأوكسجين الذي يدوم نحو عشرين دقيقة فقط. مع ذلك تستطيع هذه الفقمة البقاء، تحت الماء ما يزيد على الساعة، ثم تغطس، مرة ثانية، وبصورة مباشرة بعد صعودها إلى السطح. من الواضح إذن أنه ليس لديها حمض اللبن كي تتخلص منه، مما يعني أن زادها من الأوكسجين لا بد وأن يدوم أطول بكثير مما يمكن التكهن به. إذ لا أحد يعلم حقاً كيف تتدبر أمرها وتقوم بهذه المأثرة، لكن ثمة اقتراحاً طرح وهو أن معدل الاستقلاب ينخفض انخفاضاً حاداً خلال الغوصات العميقة. ذلك أن معدل نبضات القلب، لدى كثير من

لفقمة ـ الفيلة أكبر الثدييات الغواصة



جزء من سجل الغوص لفقمة ـ فيلة ذات نطاق حر (ميرونغا أونغوستي) تم تسجيله بواسطة ناقل اللاسلكي. وقد قضت معظم الوقت تحت سطح الماء مع غوصة واحدة (أشرنا إليها بنجمة) دامت ساعتين.

الحيوانات الغواصة، بما فيها الفقمة ـ الفيلة، يهبط بصورة تلقائية عند الغطس وهي الظاهرة المعروفة باسم منعكس الغوص. كما أن الأوعية الدموية التي تخرِّم الجلد والأحشاء تتقلص مسربة الدم بعيداً عن تلك الأعضاء الأقل حيوية باتجاه الدماغ والقلب: كذلك فإن معدل الاستقلاب ينخفض في الأنسجة الأقل إشباعاً فتنخفض بذلك حاجتها من الأوكسجين. لهذا السبب، يمكن لإعادة توزيع الدم هذه أن تساعد في الحفاظ على المؤونة المحدودة من الأوكسجين، لكن هذا مجرد تخمين، أمّا كيف يمكن بدقة للفقمة ـ الفيلة أن تتدبر أمرها عملياً وتغوص فترات زمنية كثيرة هكذا، فأمر ما يزال غير واضح.

ما تزال هناك أيضاً عدة أسرار غامضة أخرى، فالبلاتيبوس (وهو حيوان مائي ثديي بيوض من حيوانات أستراليا منقاره كمنقار البطة) مثلاً، يبدو وكأنه يطيل التأمل تحت الماء، إذ غالباً ما يتخذ لنفسه مسكناً تحت جذور الأشجار ويستلقي في قاع جدول فترات طويلة من الزمن. كما أن السلحفاة الخضراء «شيلونيا ميداس» تقضي الشتاء في قاع خليج كاليفورنيا حيث تستلقي غاطسة في الوحل تحت الماء وحشيشة الأنقليس في حالة من السبات أشهراً عدة على الرغم من أن المعدل الاستقلابي ينخفض كثيراً خلال السبات، إلاّ أنه ما يزال غير واضح كم هي كمية الأوكسجين التي يحتويها جسدها التي تكفي

لحاجتها منه. المحزن في الأمر، أنه قد لا تتاح لنا الفرصة بعد، لاكتشاف ذلك، نظراً لأن مواقع التشتية التي لم يكن يعرفها في الماضي إلاَّ السكان الهنود الأصليون (السيري) والذين كانوا يحافظون عليها بعناية شديدة، اكتشفها مؤخراً صيادو السمك المكسيكيون بمعداتهم الحديثة، مما أدَّى بسرعة إلى إنقاص أعداد هذه السلاحف.

غوص السكوبا

في منتصف القرن العشرين حدثت ثورة في الغوص، وذلك بإدخال جهاز التنفس تحت الماء المحتوى ذاتياً (سكوبا). مفتاح تلك الثورة هو تطوير صمام القلب سنة 1943 من قبل الفرنسيين جاك كوستو وإميل غانيان. هذا الجهاز، كما يدل عليه اسمه، يزود الغواص بالهواء حسب الطلب وبدرجة ضغط الماء المحيط نفسها. تتألف بقية جهاز السكوبا من خزانين أو أكثر من الهواء المضغوط يحملان على الظهر، ومن قناع وجه، وزعانف. وبصورة اعتراضية يبدو من المفاجئ أنه لم يتم إدخال الزعنفة حتى سنة 1953، بل حتى هذا الوقت لم تكن إلاَّ ذات شكل بسيط (مجذاف من خشب ومعدن)، لأنها ذات تأثير ملحوظ على كفاءة السباح.

أول ما استخدم غوص السكوبا إنما كان لتحديد موضع الألغام المعادية وإزالتها وذلك بعد الحرب العالمية الثانية. لكن في الستينيات من القرن العشرين تم إدخاله إلى الاستخدام العام ضمن سلسلة من الأفلام العجيبة التي صورها تحت الماء كل من كوستو وألمانيان اثنان هما لوت وهانس هاس. لقد كشفت أفلامهم عن صخور المرجان، الدلافين، القروش، والكثير الكثير من المخلوقات البحرية غير المألوفة وعن مدى التنوع والتعقيد في الحياة تحت مياه المحيطات. لقد سحر الناس ذلك العالم المخدر حيث يبدو الإنسان فيه قادراً على أن يطير بغير جهد بين عجائب بحرية من الأسماك الملونة المتلألئة، وحيث الحيوانات تثير الفضول أكثر مما تثير الخوف،

وحيث الكنوز تتناثر على قاع المحيط لكل من يمد يده، والقلة منها قد اكتشفت من قبل. وهكذا بدأ الكثيرون يرغبون في أن يروا ذلك بأنفسهم داعمين تطوير صناعة غوص السكوبا التي تدعم في الوقت الحاضر عدداً كبيراً من غواصي الاستجمام. مع ذلك، وكما رأينا من قبل، فإن عالم تحت الماء، رغم كل ما فيه من جمال، لا يخلو من المخاطر. وعلى من يرغبون في أن يكونوا غواصي سكوبا أن يدخلوا دورات تدريب لدى خبراء مشهورين قبل أن يغامروا بالنزول تحت سطح الماء.

إن الحد الأدنى للغوص بهواء مضغوط سواء كان ذلك عن طريق جهاز سكوبا أو تزويد سطحي بالهواء، هو نحو 30 متراً. هذا المستوى تفرضه غازات الهواء التي تتنفسها. ذلك أن كلاً من الآزوت والأوكسجين يتحولان، تحت ضغط معيَّن، إلى سم.

نشوة الأعماق

يكوِّن الآزوت والضغط بعدة وحدات جوية، تأثيراً مخدراً أطلق عليه جاك كريستو اسم «نشوة الأعماق» تستغرق أعراضه بعض الوقت لكي تظهر، وهي مماثلة لتلك التي تنجم عن تناول الكحول: ابتهاج، خفة ذهنية وسرعة خاطر ملحوظة، بعد عن الواقع، فقدان البراعة اليدوية وتصرفات غير عقلانية. هذا الإحساس بالسعادة والانتشاء هو وهمي وخطر معاً، ذلك أنه إذا ما استمر الغواص في الهبوط إلى الأسفل ستزداد ثقته بنفسه أكثر فأكثر، لكن ستنخفض قدرته أكثر فأكثر. يحدث خدر الآزوت الخفيف على عمق نحو 50 متراً. وفي الأعماق الأكبر يصبح ملحوظاً أكثر، إلى أن يفقد المرء آخر الوعي، وذلك عادة على عمق نحو 90 متراً. يمكن للغواص، مع التعرض المتكرر للحالة، أن يتعوَّد بشكل ما على آثار الآزوت، وهي الظاهرة التي تعرف باسم «التقدم التدريجي» والتي تجعله قادراً على أن يغامر بالوصول إلى الخمسين متراً دون أن يصيبه الخدر الشديد. مع ذلك، فإن

هذا الآزوت مسؤول عن وفاة الكثير من الغواصين وهم يحاولون القيام بغوصات عميقة، كما أنه يقلل حد الغوص الذي ينصح به، لدى استخدام الهواء المضغوط، وهو 30 متراً.

قام العالم جـ. ب. س. هالدين وهو ابن ج. س. هالدين ـ بدراسة علمية عن آثار خدر الآزوت وذلك باستخدام حجرة ضغط سنة 1941. لقد أخضع أشخاص تجاربه بمن فيهم هو نفسه وزوجته لاحقاً، لفحوص مهارة رياضية ويدوية، بحيث تشكل الفحص اليدوي من نقل حوامل ـ كرات صغيرة من إبريق إلى آخر وذلك باستخدام الملاقط، ولقد وجد أنهم جميعاً، حين يتنفسون هواء بدرجة ضغط 10 (أي ما يعادل عمق 90 متراً) ترتبك حركتهم نوعاً ما. أحدهم، وهو عالم مسؤول في قضايا الضغط الجوي، فشل في فحص المهارة، فيما بدا على آخر أنه ينتقل بالتناوب بين الابتهاج والاكتئاب، أو أنه في لحظة من اللحظات راح يتوسل طالباً إزالة الضغط عنه لأنه يشعر أن «الأمر.. مخيف». وفي لحظة أخرى راح يضحك ويحاول التدخل في فحوص المهارة لزملائه الآخرين. على أنه ما من أحد منهم استطاع أن يحصل على مجموعه تماماً ـ كما لاحظ هالدين باختصار ـ فالمشاهدات لم تكن مرضية كما هو مرغوب. الصعوبة الأخرى هي أن الشخص المشرف على التجربة كان يصاب بالخدر عادة شأنه شأن الخاضع لها. وغالباً ما كان يخفق في تسجيل الملاحظات على الورق أو إيقاف ساعة الضبط. مثل هذه الدراسات كانت كافية لتبيان أن الغواصين الذين يصابون بخدر الآزوت لا يمكن أن نتوقع منهم أن يسلكوا سلوكاً مسؤولاً، بل إنهم قد يتصرفون بردود فعل تهدد حياتهم وحياة غيرهم بالخطر. والحقيقة أنه عرف عن بعض غواصي السكوبا المصابين بهذا الخدر أنهم كانوا يقدمون أفواههم للسمك العابر.

يحدث الشفاء من تسمم الآزوت بسرعة ملحوظة إثر إزالة الضغط. ففي تجارب هالدين، كان الزوال المباشر للأعراض يتم حين ينخفض الضغط

من 10 إلى 5 وحدات جوية. ورد الفعل النموذجي كان «يا إلهي، أنا صاح».

لماذا يسبب الآزوت، في ضغط معيَّن، النشوة؟ سؤال ما يزال دون جواب. على أن تشابه الأعراض يدل على أن آلية عمله قد تكون هي نفسها آلية عمل الكحول، لكن هذا لا يساعد كثيراً نظراً لأننا ما نزال لا نعرف إلاَّ القليل عن آلية عمل الكحول. غير أن أحدث الدراسات تشير إلى أن الكحول تتفاعل مع صنف خاص من البروتينات في أغشية الخلية، تعرف باسم «قنوات الأيون» وهي التي تنظم قابلية الإثارة لدى الخلايا العصبية. هكذا، ربما، يمكن أن تكون الكيفية التي يعمل بها الآزوت.

كثير جداً من شيء جيد

الأوكسجين عنصر سام ويصبح هكذا على نحو متزايد مع تزايد الضغط[5]. وعلى الرغم من أن معظم الناس يمكنهم أن يتنفسوا، بأمان، الأوكسجين النقي تحت درجة ضغط 1، مدة تصل حتى الساعتين دون آثار ضارة، إلاَّ أنه بعد أربع وعشرين ساعة، يبدأ بالظهور عليهم نوع من التهيج الرئوي بسبب التخريب التدريجي للخلايا التي تبطن الجيوب الهوائية. العلامة الأولى للمشكلة هي السعال، لكن في الحالات الحادة، يمكن أن يصل الأمر إلى صعوبات في التنفس، تسرب السائل إلى داخل الرئتين بل حتى إلى نزف الدم من الشعريات الرئوية، وبذلك تمتلئ الرئتان بالدم. كذلك يتأثر الجهاز العصبي، بدرجة ضغط جوية. وقد يصاب المرء بالدوار،

(5) ذات مرة كرر والدي على مسامعي بيتاً من الشعر كان قد قاله الغواص البريطاني الشهير، بوستر كراب: «تحت، على عمق 30 قدماً، يسكن شيطان اسمه الأوكسجين بيت». لقد صيغ هذا الاسم عندما استعاد جندي من البحرية وعين بعد نوبة إغماء بسبب الأوكسجين. وحين سأل من الذي صرعه أرضاً، أجابوه أن الأوكسجين بيت، وشاعت التسمية بعد ذلك.

الغثيان، وشلل الذراعين والرجلين. كما تحدث تشنجات مشابهة لتشنجات نوبة صرع أساسية، خلال بضع ساعات وبسرعة أكبر أيضاً مع الإجهاد الجسدي، تكون هذه التشنجات عنيفة أحياناً إلى حد يكفي لكسر العظام. وإذا زاد الضغط الجوي فإن زمن ما قبل حدوث التشنجات يقل. إن أي تشنج تحت الماء قد يكون، وبكل وضوح، مميتاً، كما ينبغي تجنبه. لهذا، أجريت تجارب واسعة، ومرة أخرى من قبل هالدين، حول الحرب العالمية الثانية، فلاحظ: «التشنجات عنيفة جداً، وفي حالتي أنا نفسي فإن الأذية التي سببتها لظهري ما تزال تؤلمني برغم مرور سنة. إنها تدوم مدة دقيقتين يعقبها ارتخاء. لقد أفقت وأنا في حالة من الذعر الشديد بحيث قمت بمحاولات عقيمة للفرار من الحجرة الفولاذية».

لقد وجد هالدين وزملاؤه أن التعرض للأوكسجين النقي، بضغط 7 وحدات جوية، يصيب المرء بالتشنج بعد نحو 5 دقائق. ولفرحته، فقد اكتشف أيضاً أن الأوكسجين في هذا الضغط، ليس بالغاز الذي لا طعم له ولا رائحة كما هو حاله في الضغط الجوي العادي، بل له نكهة خاصة نوعاً ما هي مزيج من الحلو والحامض معاً ومثل «حبر ممدد فيه قليل من السكر». ولقد أحب أن يستخدم هذه الحقيقة لكي يوضح أن المرء ينبغي أن يصدق كل ما يقرأه في الكتب التي تقول على الدوام إن الأوكسجين لا طعم له.

استخدمت البحرية البريطانية، خلال الحرب العالمية الثانية وما تزال، جهاز تنفس مغلق المدارة يزود بالأوكسجين النقي. إنه يتألف من رئة موازية تحمل على الصدر وأسطوانة أوكسجين. الرئة الموازية هي عبارة عن كيس مطاطي كبير مرن يتوسع وينطبق مع أنفاس الغواص. يقع بين الفم والرئة الموازية جهاز لغسل ثاني أوكسيد الفحم (مليء بكلس الصودا) يعمل على إزالة ثاني أوكسيد الفحم الذي يزفره الغواص، فيما تزوده الرئة الموازية بالأوكسجين ليحل محل ذاك الذي استهلكه الغواص. لا غاز ينطلق في

الماء، وبالتالي لا فقاعات فاشية للسر تتشكل، إنها ميزة عظيمة في العمليات السرية حيث يتعين على الغواص أن لا يكشفه أحد. كذلك هي مفيدة أثناء زرع الألغام باليد لأن الفقاعات يمكن أن تفجر اللغم. ثمة ميزة أخرى أيضاً، وهي أن حجم أسطوانة الغاز يمكن أن يكون خمس حجم خزان السكوبا، (لأن الهواء هنا لا يحوي إلاّ 20 بالمئة من الأوكسجين) وهو ما يجعل الغواص أكثر قدرة على المناورة[6]، وإذا ما عمل الخزان الأكبر على نحو متناوب، فإنه يوسع نطاقه. إن الحد الذي وضع للغوص، نتيجة لتجارب هالدين هو 8 أمتار (1,8 بار) حين يتنفس الغواص الأوكسجين النقي. لكن حتى ذلك الوقت، فإن هذا يمكن تحمله بضع ساعات فقط. على أن بعض الناس أكثر عرضة للتسمم بالأوكسجين من بعضهم الآخر، لهذا فإن البحرية البريطانية تختبر حالياً مجنديها الغواصين الجدد بتعريضهم لضغط وحدتين جويتين كي ترى ما إذا كانوا يصابون بنوبة حين يتنفسون الأوكسجين النقي أم لا. وأولئك الذين يصابون يوجهون إلى ميدان تدريب واختصاص مختلف.

ليس بالإمكان أن يستخدم الأوكسجين النقي، تحت الـ 8 أمتار، بل يصبح من الضروري تزويد الرئة الموازية بمزيج من الغازات. هذا المزيج يكون عادة بنسبة 60 بالمئة أوكسجين و40 بالمئة هواء في الأعماق التي تصل حتى 25 متراً، ثم تخفض نسبة الأوكسجين في الأعماق المنخفضة أكثر، تصل إلى 33 بالمئة على عمق 50 متراً. سيئة هذا المزيج الغازي هي أن آزوت الهواء يتراكم في الرئة الموازية ليغدو من الضروري غسل الجهاز بين الحين والحين. وعلى الرغم من أن هذا يصدر فقاعات إلاّ أن ذلك يحدث بين الفترة والأخرى. لهذا تظل الرئة الموازية جهاز الخيار الوحيد في عمليات سرية كزرع القنابل في سفن العدو مثلاً. كذلك يكون الزمن

(6) يستخدم غواصو الكهوف أحياناً الأوكسجين النقي، نظراً لأن الأسطوانة الأصغر هي ميزة حسنة عندما يحاول الغواص أن يحشر نفسه عبر الثقوب الضيقة.

المطلوب لإزالة الضغط أقل بكثير، نظراً لأن القليل من الأوكسجين يكون موجوداً في مزيج الغاز.

تؤخذ السمِّية بالاعتبار أيضاً حين يتنفس المرء هواء نسبة تركيز الأوكسجين فيه منخفضة، وعلى نحو يماثل تلك الموجودة في الهواء في الأعماق. فضغط الهواء الذي يتنفسه الغواص حين يغوص يزداد بصورة متوازية مع ضغط الماء، بحيث يكون على عمق 90 م، مثلاً، 10 وحدات جوية، وبما أن خمس الهواء هو أوكسجين فإن هذا يعني أن الضغط الجزئي للأوكسجين هو وحدتان جويتان في الآن نفسه. هذا أمر يمكن احتماله فترة قصيرة من الزمن، لكنه غير مرغوب فيه بالنسبة إلى الغوصات الطويلة، وبالتالي يتعين إنقاص نسبة الأوكسجين في الغاز المستنشق. لا تعاني حيوانات الغوص العميق كالحيتان والفقم مثلاً، من التسمم بالأوكسجين أو خدر الآزوت نظراً لأنها لا تتنفس هواء مضغوطاً، بل الحقيقة أن الهواء لا يغادر رئاتها أثناء الغوص.

الإغماءات والشجاعة

علينا أيضاً أن نلقي نظرة على تأثيرات ثاني أوكسيد الفحم في الضغط الذي يمكن أن تكون له آثار خطيرة، برغم أنها قد لا تكون بخطورة الحال مع الأوكسجين والآزوت. يعمل ثاني أوكسيد الفحم، كما عرضنا في الفصل الأول، كمحرض قوي للتنفس. فأي ارتفاع في هذا الغاز لا يزيد معدل التنفس وحسب، بل يمكنه، إذا ما استمر، أن يؤدي أيضاً إلى الصداع والاضطراب وفقدان الوعي.

في مطلع القرن العشرين، وجد أن التسمم بغاز الفحم يفسر لماذا يعجز كثير من غواصي البحرية البريطانية عن عمل أي شيء وهم في الأعماق، فالغواص كان يزود بالهواء باستمرار من السطح، وهو ما كان يسري إليه عبر صمام متوضع إلى جانب خوذته، أمّا ثاني أوكسيد الفحم فهو

جـ.ب.س. هالدين (1892 ـ 1964) هو عالم بريطاني لامع وبالغ التأثير. دراساته عن آثار الغازات على جسم الإنسان تحت الضغط غيرت تغييراً جذرياً مهنة الغوص، إلاَّ أن عمله الأعظم كان كعالم مورثات، وكذلك دراساته حول الأساس الرياضي لنظرية التطور. إن شخصية متوهجة تحسن المماحكة والجدل، كما كان أيضاً ماركسياً ملتزماً وناشر علم بالغ النجاح، يكتب مقالات علمية منتظمة لـ «جريدة العامل اليومية».

ناتج الاستقلاب الذي يطرح في هواء الزفير. لهذا السبب يرفع التنفس نسبة ثاني أوكسيد الفحم في بذلة الغواص إلى مستوى يفوق مستواه في الهواء المستنشق، وبقدر يتوقف على معدل تدفق الهواء داخل البذلة. كما أن ممارسة أي عمل، تزيد المعدل الاستقلابي، وبالتالي تزيد أكثر وأكثر نسبة تركيز الغاز. ليس لنسبة 2 بالمئة من ثاني أوكسيد الفحم إلاَّ أثر ضئيل على أداء الغواص في حالة الضغط الجوي العادي، لذلك فإن المعدل الذي يتم به تزويده بالهواء يحسب بدقة بحيث يضمن عدم تجاوز هذا الحد. لكن، في ذلك الحين لم تكن تعطى الأهمية اللازمة إلى أن آثار ثاني أوكسيد الفحم

تتسارع مع تزايد الضغط وأنه على عمق 60 متراً، حيث الضغط 5 وحدات جوية، يكون لاثنين بالمئة من ثاني أوكسيد الفحم أثر مشابه لذلك الذي ينجم عن نسبة 10 بالمئة من هذا الغاز على السطح. وبالتالي، إذا حاول الغواص إجهاد نفسه، فإنه لن يلهث كثيراً فحسب بل غالباً ما يفقد وعيه أيضاً. لكن ما إن حدد سبب المشكلة حتى كان من السهل معالجتها وذلك بزيادة معدل التزويد بالهواء وبما يتناسب مع ضغط الماء الخارجي.

كذلك يمكن أن يحدث التسمم بثاني أوكسيد الفحم لدى استخدام جهاز إعادة التنفس مغلق الدارة المذكورة آنفاً، إذا كان جهاز غسل غاز الفحم الذي يطرد الغاز لا يعمل بالشكل المناسب، أو إذا ما تعطل. ولعل هذا أحد الأسباب التي تفسر لماذا أصيب عدد من غواصي الأسطول خلال الحرب العالمية الثانية، بفقدان الوعي تحت الماء وبالتالي غرقوا وماتوا برغم أنهم كانوا يعملون في أعماق ضحلة.

نتيجة لتلك المآسي، بوشر بالمزيد من الدراسات حول الآثار التي يتركها تنفس ثاني أوكسيد الفحم تحت الضغط. فقبل ثلاثة أشهر من اندلاع الحرب العالمية الثانية، أي في حزيران / يونيو سنة 1939، غرقت الغواصة البريطانية «ثيتيس» قرب ليڤربول، وهي تقوم بمناورات بحرية، مما أدى إلى هلاك تسعة وتسعين فرداً ولم ينج إلاّ أربعة أفراد، مرة أخرى، دعي جـ.ب.س. هالدين إلى الموقع، وهذه المرة من قبل نقابة العمال التي يمت كثير من رجال الغواصة إليها، وذلك بغية التحقيق في سبب الموت. استخدم هالدين أربعة مساعدين، من المتطوعين[7] الذين لا علاقة لهم بالعلوم إذ

(7) هؤلاء جميعاً أعضاء في اللواء الدولي، شيوعيون قاتلوا ضد فرانكو في الحرب الأهلية الإسبانية، وهي حقيقة قدمت لهالدين قدراً كبيراً من الاقتناع (فقد كان مناصراً متحمساً للشيوعية في ذلك الحين). لقد كتب: «اخترت أولئك الرجال كرفاق إذ ليس لدي أدنى شك في شجاعتهم وإخلاصهم». مبرراً أن الرجال الذين عاشوا تجربة القتال والحرب يحتمل أن يبقوا باردين تحت الضغط.

أدخلهم داخل حجرة فولاذية شروطها تحاكي شروط حجرة النجاة في الغواصة، فأصيبوا جميعاً، وخلال ساعة، بصداع شديد، ثم بدأ عدد منهم بالتقيؤ، وذلك بسبب ازدياد نسبة ثاني أوكسيد الفحم.

نحو ثلاثة بالمئة من هواء الزفير هو ثاني أوكسيد الفحم لهذا، إذا ما انحصر أناس في حيز ضيق واضطروا لأن يتنفسوا الهواء نفسه، فإن نسبة ثاني أوكسيد الفحم ترتفع. وفي غواصة مغلقة تماماً، فإن الارتفاع في ثاني أوكسيد الفحم قد يحدث قبل أن يقدر أحد أنه من الضروري مغادرة السفينة: وفي حال الغواصة «ثيتيس» بلغ هذا الارتفاع على ما يبدو نحو 6 بالمئة (قيمته العادية في الجو هي 0,04 بالمئة). لكن هذه ليست المشكلة الوحيدة، نظراً لأن الضغط الجزئي لثاني أوكسيد الفحم في الهواء يرتفع أعلى من ذلك حتى، حين تستخدم حجرات النجاة. وفي الغواصة، تنفتح فتحات النجاة نحو الخارج، وبذلك فإن ضغط الماء الخارجي يساعد في إبقائها محكمة الإغلاق، ولكي تفتحها، فإن ضغط الهواء داخل الغواصة يجب أن يتساوى مع ضغط الماء الخارجي وذلك بتدفق ماء البحر إلى حجرة النجاة. وحالما يتم تلافي مشكلة الضغط ويصبح بالإمكان فتح كوى النجاة، فإن البحارة يرتدون معدات التنفس ويصعدون إلى السطح.. ونظراً لأن الهواء في حجرة النجاة يضغط مع دخول الماء، فإن الضغط الجزئي لثاني أوكسيد الفحم سيرتفع تدريجياً.

نتيجة لذلك، ولهذا السبب، قام هالدين جنباً إلى جنب مع د. مارتين كيز بإجراء اختبارات شاملة حول آثار ارتفاع نسبة ثاني أوكسيد الفحم تحت ضغط متزايد، فوجدا أن ارتفاعه من 0,04 بالمئة إلى 6 بالمئة ضئيل الأثر بدرجة ضغط 1، لكن بدرجة ضغط 10 كان هناك تراجع ملحوظ في الأداء في اختبارات المهارة، إذ أصبح الأشخاص الخاضعون للتجربة جميعاً في حال ارتباك ومعظمهم أغمي عليهم خلال (5) دقائق. يمكن لأي اضطراب أو فقدان للوعي تحت الماء أن يكون ذا عواقب مهلكة. لهذا، دلت دراسات

هالدين على أنه حين أزيل الضغط فجأة في حجرة النجاة في الغواصة «ثيتيس»، فإن نسبة تركيز ثاني أوكسيد الفحم في الهواء المتبقي ربما كانت عالية إلى درجة تكفي لإضعاف قدرة البحارة على الحكم وتأخيرهم عن ارتداء أجهزة تنفسهم وتكييفها تكييفاً صحيحاً.

كان هالدين، كما ينبغي أن يكون واضحاً الآن، يستمتع، وعلى نحو غريب تماماً، بإجراء الاختبارات على جسمه نفسه (وكذلك أجسام زملائه) وحتى أبعد حد، كما أنه كان عالماً خالصاً بكليته للعلم، لهذا كان يتحقق ويبحث في آثار ثاني أوكسيد الفحم في درجات الحرارة المنخفضة التي يواجهها الإنسان في الأعماق. ولقد كتب عن ذلك في إحدى المناسبات: «غطست في ماء الجليد الذائب مدة خمس وثلاثين دقيقة متنفساً هواء يحوي 6,5 بالمئة من ثاني أوكسيد الفحم وفي آخر الفترة الزمنية تلك كان الضغط عشر وحدات ضغط جوي ففقدت الوعي. أحد أشخاص تجربتنا انفجرت رئته لكنه شفي بعد ذلك، كما أن ستة فقدوا وعيهم في حالة أو أكثر من حالات التجربة، فيما واحد منهم أصيب بتشنجات؟

هنا يتساءل المرء ماذا يتعين على مجلس الصحة والسلامة أن يقول عن دراسات كهذه؟ إذ برغم كل شيء، فإن شجاعة هالدين الشخصية وكذلك أعضاء فريقه، هي التي وفرت المعطيات الضرورية للفهم العلمي لآثار الغازات على جسم الإنسان الخاضع للضغط. والمعرفة التي حصلوها هي التي أنقذت حياة الكثير من الناس وما تزال حتى اليوم.

إلى أي مدى تستطيع الوصول؟

إن الخطر الناجم عن خدر الآزوت إنما يعني أنه لا يمكن استخدام الهواء المضغوط في أعماق تزيد عن 30 متراً. هناك يجب أن يستبدل الآزوت، وأن تعدل كمية الأوكسجين، مع نزول الغواص إلى الأسفل، باستمرار وعلى نحو يضمن ألاَّ يتجاوز الضغط 0,5 بار. يتحقق توازن الغاز

المستنشق بالهليوم، وفي الأعماق التي تزيد عن 30 متراً يتنفس الغواصون عادة مزيجاً من الأوكسجين ـ الهليوم يعرف باسم الهليوكس. يتميز الهليوم، كغاز حامل، على الآزوت بمزايا عدة أولاها: أنه يسبب ضرراً أقل كثافة وبالتالي أقل لزوجة: كتلة جزئية هي 4 فقط بالمقارنة مع 28 للآزوت. كذلك الهليوم، وهو أمر بالغ الأهمية، أقل قابلية للانحلال في الماء من الآزوت، وهو ما يخفض مقدار الغاز الذي ينحل في الدم وبالتالي يخفض المدة المطلوبة لإزالة الضغط. في الجانب السفلي، لكن للهليوم ناقلية حرارية عالية مما يعني أن قدراً كبيراً من الحرارة يضيع عبر هواء الزفير، وبذلك يمكن للغواص أن يحتاج إلى جهاز تدفئة إضافي لإبقاء جسمه دافئاً، وبسبب كثافته المنخفضة فإن طبقة صوت الإنسان ترتفع، فيضفي عليه نوعاً من اللحن الزقائي وكأنه شخصية من كرتون، ينتج صوت «دونالد دوك» هذا لأن الحبال الصوتية تهتز بسرعة أكبر مما هو الحال في الهواء الأخف.

أمّا في الأعماق التي تزيد عن 200 م (21 بار) فيظهر على الإنسان والحيوانات الأخرى التي تعيش على البر العرض العصبي للضغط العالي (هبنز). إنه اضطراب عصبي يعرف بين الناس «بالهازوز» لأنه يسبب الارتعاش. ثمة أعراض أخرى أيضاً هي الدوار، الغثيان، والنوم القصير، وكأنها فترات من عدم القدرة على الانتباه. لا يعرف أحد سبب الهبنز تماماً، لكن لعله ينتج عن الأثر المباشر للضغط على الجملة العصبية، إذ يظهر على الخلايا العصبية المعزولة فرط إثارة مماثل حين تضغط في المختبر إلى ما يماثل ضغط الأعماق، ومن الملاحظ أن آثار الضغط والمخدرات تتفاعل، حيث إن الشرغوف (فرخ الضفدع) يتوقف عن السباحة إذا ما تعرض إمّا لنسبة منخفضة من الكحول (2,5 بالمئة) أو إلى ضغط عال (20 ـ 30 بار) وحين يطبقان كلاهما معاً فإن الشرغوف يسبح بسعادة وهو يدور ويدور. كذلك فإن الفئران التي تعطى مخدراً عاماً تفيق إذا زيد الضغط وهي تحت المخدر. والعكس صحيح، فالهبنز ينخفض بفعل المخدرات العامة. هذه

التجربة لم تجر مباشرة على البشر لكن التجارب على الحيوانات أدت إلى اكتشاف أنه يمكن التغلب على الهبنز جزئياً بإضافة قدر ضئيل من الآزوت على مزيج الهليوكس. وهو الغاز الذي يعرف باسم المزيج الثلاثي.

يحدد الهبنز العمق الذي يمكن للغواص أن يصل إليه دون احتياطات اصطناعية، فعندما يتنفس الهليوكس يكون الحد هو 200 ـ 250 م لكن الغوصات التجريبية تدل على أن البشر يمكن أن يعملوا في أعماق تصل في البحر المفتوح إلى 450 م (و600 م في حجرة ضغط) شريطة أن يتنفسوا مزائج خاصة من الغاز كالمزيج الثلاثي مثلاً. مع ذلك، تبقى هذه المناطق حكراً على رواد اختبارات الأعماق وليس لزيارة الإنسان العادي. بالمقابل، فإن الثدييات البحرية تقوم بشكل منتظم بزيارة أعماق ما فوق الـ 200 م): وحيتان العنبر قد تصل في غوصاتها إلى 1100 م فيما وصلت الفقمة ـ الفيلة إلى عمق 1500 م. ثمة أنواع كثيرة أخرى من الحيوانات ـ السمك، البكتيريا والديدان متعددة الهلب (ما غلظ من الشعر) ـ تعيش في أعماق أكبر حتى، وذلك حول فتحات أواسط المحيط. إذن، لماذا لا تصاب بمرض الضغط العالي العصبي؟ تكشف الدراسات التي أجريت على أجناس البحار العميقة أن لهذه الحيوانات عتبات تحمل ضغطاً أعلى بكثير من الهبنز. بل الأكثر من ذلك أنها تتطلب، على ما يبدو، ضغطاً عالياً للقيام بوظائفها الفيزيولوجية المعتادة إذ إن إزالة الضغط، في حالتها هذه، يمكن أن يؤدي إلى أعراض شبيهة بأعراض الهبنز. لذلك، يمكن اعتبارها «محبة للضغط رغماً عنها». وحالياً يحاول العلماء أن يكشفوا اللغز الحقيقي وهو: كيف تستطيع خلاياها أن تقوم بوظائفها في مثل ذلك الضغط الشديد؟

العيش في الأعماق

كما رأينا، فإن المزيد من الغاز ينحل في سوائل الجسم في الأعماق بسبب ازدياد الضغط. وفي الأعماق السحيقة، قد تستغرق فترة إزالة الضغط

ـ حتى ولو كانت الغوصة قصيرة جداً ـ الكثير من الساعات، بحيث يغدو شيئاً غير عملي العودة مباشرة إلى السطح. بدلاً من ذلك، فإن الغواص يعيش ويعمل في الأعماق إذ يعود بعد انتهاء مناوبته إلى مقصورة المعيشة حيث يتم الحفاظ على ضغطها مساوياً لضغط الماء المحيط. يعرف هذا الغوص باسم «غوص الإشباع» نظراً لأن مدة الغوص تعني أن أنسجة الجسم تصبح مشبعة تماماً بالآزوت، وقد أصبح «غوص الإشباع» في السنين الأخيرة شائعاً نسبياً، حيث يمكن للغواصين أن يمكثوا في الأعماق أسابيع عدة قبل أن يعودوا إلى السطح. أمّا مدة شهر فهي مدة مألوفة بالنسبة إلى غواصي نفط بحر الشمال الذين يكلفون بتمديد وإصلاح خطوط النفط في قاع المحيط.

يتنفس «غواصو الإشباع» بمادة الهليوكس، والتركيبة الصحيحة تماماً من الغاز المستنشق تتوقف على عمق «المخزن» الذي يعيشون فيه. أحد المعوقات الرئيسية لتنفس الهليوكس هو تأثيره على النطق، غير أن جهازاً إلكترونياً يعرف باسم «مزيل اختلاط النطق الهليومي» يمكن أن يستخدم لإبطال هذا التأثير وجعل حديث الغواص مفهوماً أكثر. كذلك، وبسبب الناقلة الحرارية العالية للهليوم التي تستنزف حرارة الجسم، فإنه يتعين الحفاظ على الحرارة في مناطق المعيشة نحو 30°. ما عدا ذلك فإن صعوبات العيش اليومية تحت الضغط ضئيلة. لعل أبرزها الضجر أثناء فترات إزالة الضغط الطويلة: إذ لا بد من مرور أربعة أيام لإزالة الضغط عقب كل «غوصة إشباع» حتى عمق 100 م، وعشرة أيام لدى الصعود من عمق 300 م. خلال هذه الفترة، ليس باستطاعة الغواص إلاّ أن يجلس وينتظر، بل حتى عندما يتم التوصل أخيراً إلى الضغط الجوي العادي، يتعين على الغواصين التجاريين أن يمكثوا بجوار حجرة إزالة الضغط. وحتى عندما يتم التصرف طبقاً للجداول والتعليمات تماماً، فإن نحو 1 بالمئة من الغوصات تؤدي إلى شكل من أشكال الالتواءات وهو ما يمكن أن يتطلب المعالجة في حجرة إعادة الضغط.

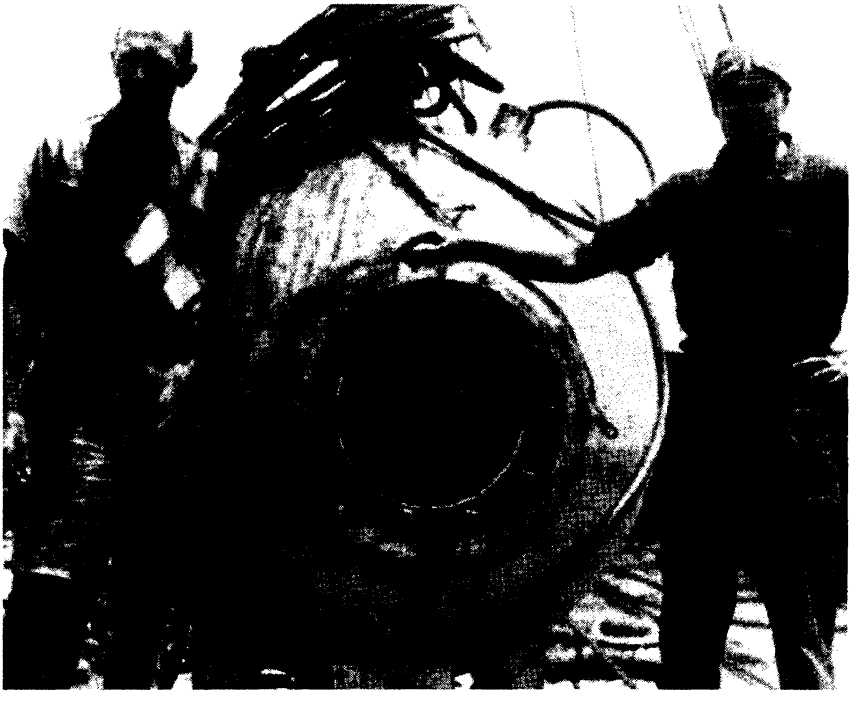
إلاً أن مشكلة المشاكل هي الطوارئ الطبية إذا ما حدث طارئ في سفينة إشباع، باعتبار أنه لا بد من مرور ساعات قبل إيصال الطبيب إلى مقصورة المعيشة. لذلك لا بد لكل غواصي الإشباع من أن يعرفوا كيف يعالجون أمراض الضغط العالي. وفي فرق الغوص الكبيرة، يدرب بعض الأفراد على التقنيات المتقدمة، مثل تركيب مصل وريدي، أو إعطاء مخدر موضعي مع ذلك، وبالنسبة للمشكلات الخطيرة حقاً، ينبغي إجلاء الغواص في الحال. الطريقة الأسلم والأسرع لفعل ذلك هي في إبقائه في ضغط المخزن نفسه وذلك باستخدام حجرة نقل عالية الضغط كتلك التي يشغلها المركز الوطني للضغط العالي في أبردين، سكوتلاندا لمساعدة الغواصين العاملين في حقول نفط بحر الشمال. إنهم يستخدمون حجرة رجل واحد لنقل الغواص المريض أو المصاب بأذى من منطقة معيشته في ماء البحر إلى سطح الماء. بعدئذ توضع هذه في عوامة وتوصل بحجرة أكبر تتسع لرجلين، حيث ينتظر طبيب ليقوم برعاية المصاب خلال الرحلة إلى اليابسة. لدى الوصول، ينقل الغواص، وهو ما يزال تحت الضغط نفسه، إلى حجرة طبية كبيرة حيث يمكن معالجته بأمان. كذلك ينبغي على سفن غوص الإشباع كلها والعاملة في بحر الشمال أن يكون لديها زوارق نجاة عالية الضغط تتسع لعدة أشخاص خشية الاضطرار لنقل مقصورة المعيشة، لأي سبب من الأسباب.

تحديات تحت الماء

ليس الضغط المشكلة الوحيدة بالنسبة إلى الغواص. بل هناك البرد الشديد وانعدام الوزن في الماء، وهما من الصعوبات التي يواجهها، إضافة إلى تأثير البصر لديه والسمع والتوجه أيضاً. يرتدي جميع الغواصين منظار الوقاية أو قناع الوجه، إذ بدونهما تكون العينان غير قادرتين على التركيز تحت الماء ليظهر كل شيء مغبشاً. السبب هو أن شعاع الضوء حين يمر من وسط إلى آخر ـ وفي هذه الحالة من الهواء (أو الماء) إلى العين ـ فإنه ينحني (ينكسر). تستخدم هذه الخاصية للمساعدة في تركيز أشعة الضوء على طبقة من الخلايا حساسة تجاه الضوء تعرف باسم الشبكية وتقع في مؤخرة العين مدى انكسار الضوء على سطح العين. هو في الماء أقل بكثير مما هو في الهواء، مما يجعل من المستحيل تركيز الصورة في الشبكية وبإبقاء حيز من الهواء يفصل العين عن الماء، وذلك بارتداء منظار وقاية أو قناع وجه، ينهي المشكلة. لكن نظراً لأن أشعة الضوء ستنعكس في هذه الحالة بواسطة الزجاج / السطح الداخلي المائي للقناع، ستظهر الأشياء أكبر بنسبة 30٪ وأقرب تحت الماء مما هي في الهواء، وقد يكون من المفيد أن نتذكر هذا عندما نستمع إلى قصص الغواصين عن القروش العملاقة.

يمتص الماء الضوء، لهذا تتناقص كثافة الضوء كلما ازداد العمق وحين الوصول إلى 600 م في عمق المحيط يصبح الظلام تاماً، ونظراً لأن امتصاص الضوء الأحمر أسهل من الأزرق، يقوم الماء أيضاً بدور مصفاة ألوان. إذ مع تزايد العمق، يتم أولاً تصفية اللون الأحمر ثم الأصفر فالأخضر وأخيراً لا يبقى غير الأزرق.

لقد وصف وليم بيب تغير الألوان هذا بما يشبه الشعر، فعلى عمق 15 متراً، وهو في قمرته الخاصة بالأعماق، نظر إلى الخارج فإذا أمامه «سديم متألق من الأخضر المائل للزرقة» راح يتحول ببطء إلى «ما يشبه ضوء الشفق الخفيف والأخضر البارد» ثم راح يهبط أعمق وأعمق، إلى أن بات اللون، على عمق 100 م أزرق شاحباً خالصاً: على عمق 200 م، «غدا الضوء أزرق وشأناً غير قابل للتحديد وعلى نحو مخالف تماماً لأي شيء رأيته في العالم العلوي وهو ما أثار أعصابنا البصرية بأشد الطرق إرباكاً». وقد كان يزيد من تألق الضوء الأزرق «مشعلنا الكشاف الذي كان يبدو أشد الأشياء التي رأيتها في حياتي صفرة».



وليم بيب (يسار) وأوتيس بارتون (يمين) بجوار كرة الأعماق التي قاموا فيها برحلتهم الملحمية «نصف ميل إلى الأسفل». بيب هو عالم طبيعي مشهور ومؤلف كثير من الكتب العلمية المشهورة. أمّا بارتون فشاب غني يحب المغامرات مهووس بالاستكشاف، صمم كرة الأعماق هذه ودفع تكاليف صناعتها. جدرانها من الفولاذ بسماكة 4 سم، ربطت إلى السفينة الأم بسلك فولاذي طوله 1067 م. فوهتها دائرية الشكل قطرها 35 سم فقط بحيث كان على شاغليها أن يعصرا نفسيهما عصراً لكي يدخلا ويخرجا منها والرأس في المقدمة. نوافذها صنعت من المرو المبرمج بسماكة 7,5 سم. داخلها، جهاز دعم الحياة ويتضمن خزانات أوكسجين، صينيات من كلوريد الكالسيوم (لامتصاص بخار الماء) ومحلول الصودا (لامتصاص ثاني أوكسيد الفحم). خلال هبوطها إلى الأعماق، لم يشاهد بيب وبارتون أنواعاً من الأسماك الحية، لم تعرف سابقاً إلاّ وهي ميتة، تعلق في شباك الصيد وحسب، بل شاهدا أيضاً مخلوقات لامعة غير معروفة البتة. ملاحظة بيب على ذلك هي شعوره وكأنه «عالم إحاثة استطاع فجأة أن يلغي الزمن ليرى مستحاثاته وقد عادت إلى الحياة».

ببطء، ومع نزوله أعمق وأعمق، راح لونه الأزرق الجميل إلى حد يصيب بالصداع يتلاشى ليتخذ لون الحبر القاتم. إلاّ أنه كان قد ترك انطباعاً دائماً في ذهنه من قبل. على أن مسكتشفين آخرين ذكروا أن الضوء الأزرق يتحول إلى بنفسجي غامق قبل أن تحل محله ظلمة أشد سواداً من الليل.

الجانب الساحر هو أن وصف بيب قرأه على نحو واضح توماس مات. إذ إنه أدخله في روايته «دكتور فاوست» فيما يدعي أدريان أنه وضع سجلاً جديداً لعمق البحار مع الباحث الأمريكي أكيركوك راوياً كيف استطاع «هو والپروفسور أكيركوك أن ينزلا في جرس غوص على شكل رصاصة قطرها الداخلي لا يزيد عن 1,2 متر ومجهزة على نحو أشبه ببالون جوي تم إسقاطه في البحر من سفينة مرافقة بواسطة رافعة في تلك النقطة العميقة جداً في الماء الذي بدأ في البداية صافياً كالبلور ينيره ضوء الشمس، «لكن تلك الإضاءة» وصلت فقط إلى عمق نحو 57 م «أمّا في الأعماق الأدنى فقد كان الاثنان ينظران عبر نوافذ المرو إلى سواد أزرق، من الصعب وصفه». بعد ذلك «حل سواد مطبق في كل مكان، سواد فضاء، واقع بين نجوم لم يصله شعاع أضعف شمس منذ قرون».

يتحدد لون أي شيء من الأشياء بطول الموجة الضوئية التي تعكسها الوردة الحمراء، مثلاً، تبدو حمراء لأنها تعكس الضوء الأحمر وتمتص أطول الأمواج الأخرى كلها. تحت عشرين متراً في البحر الأبيض المتوسط، ستظهر الوردة الحمراء نفسها وهي سوداء، نظراً لأنه لا يعود هناك أي ضوء أحمر تعكسه. في الأعماق الأكبر، تكون كثافة الضوء منخفضة إلى درجة أن الخلايا الحساسة ـ باللون (المخروطيات) في شبكة العين تصبح غير قادرة على أداء وظيفتها.

حينذاك يظهر كل شيء رمادي اللون، وحين يصبح معتماً جداً كما هو الأمر عند الغسق وفي أعماق المحيط، فإننا نستخدم مجموعة مختلفة من خلايا الشبكية لتبين الضوء. إنها العصيات التي لا تستطيع تمييز الألوان لكنها شديدة الحساسية تجاه الضوء شديدة الحساسية بالحقيقة، إلى درجة أنها تتعطل عن العمل في ضوء النهار ولا بد لها من عشرين إلى ثلاثين دقيقة لكي تستعيد قدرتها على العمل حين يعتم الضوء. يعرف هذا كل من جلس بعضاً من الوقت في غرفة انقطع عنها الضوء ثم لاحظ كيف أن الظلال الغامضة تبدأ ببطء وشيئاً فشيئاً بالتوضح على شكل أشياء قابلة للتمييز. لا يقضي معظم الغواصين في الأعماق وقتاً كافياً للتكيف مع الظلمة، مع ذلك، فإن العصيات فاقدة الحساسية تماماً تجاه اللون الأحمر. يمكن لمقدّم خوذة أحمر متحرِّك يُركب على الحافة الخارجية لقناع الوجه ويوضع على الرأس قبل الغواص (ثم يُنزع في الأعماق) أن يساعد في تحسين رؤية الغواص.

إن جزءاً من سحر الغوص، المستمد من الأفلام أو التجارب الشخصية، إنما يجسده صمت العالم تحت الماء، ذلك أن السمع تحت الماء أصعب بكثير مما هو في الهواء، وذلك لأن الصوت يخفت ويتلاشى بسرعة أكبر في الوسط الأشد كثافة. إضافة إلى ذلك، ولأن الأمواج الصوتية تنتقل بسرعة أكبر عبر الماء، فإنها تميل لأن تصل إلى كلتا الأذنين في الوقت نفسه تقريباً، مما يجعل من الصعب تحديد الموضع الذي جاء منه الصوت.

إن المحيطات أبرد بكثير من أن يستطيع الإنسان البقاء فيها حياً فترة طويلة من الزمن دون عازل (الاستثناء من هذه القاعدة هو سطح الماء في البحار الاستوائية). يمتص الماء البارد حرارة الجسم بفعالية عالية. لهذا السبب، فإن شكلاً إضافياً ما من أشكال العزل الحراري ضروري للغواص. من هنا تكون «البذلات الرطبة» مناسبة لأنها تحسن طبقة رقيقة من الماء بين الجسد وبطانة (Latex) البذلة، بينما «البذلات الجافة» تطرد الماء ويلبسها الغواص عادة فوق عدة طبقات من الملابس. يتسارع فقدان الحرارة، في الأعماق التي تزيد عن 50 متراً، بسبب الحاجة لتنفس غاز الهليوكس. يتمتع الهليوم بفاعلية حرارية عالية إلى درجة أن قدراً كبيراً من حرارة الجسم يفقد بالتنفس. لهذا غالباً ما يكون ضرورياً أن يزود غواصو البحار العميقة بأجهزة تدفئة شخصية وذلك بضخ الماء الحار عبر بذلة الغوص، وفي بعض الأحيان بتدفئة حتى الغاز الذي يقدم لهم.

يكون الغواصون فاقدي الوزن أساساً بسبب قابلية الطفو في الماء. هذا التحرر من قيود الجاذبية هو متعة من متع الغوص العظيمة، لكنه لا يخلو من صعوباته. إذ يصعب بصورة خاصة، استخدام الأدوات التي تتطلَّب عزم تدوير، ذلك أن جسدك كله يفتل حين تشد المفتاح بقوة، في حين أن الصامولة التي تحاول فكها تبقى ثابتة في مكانها لا تتحرك. كذلك من الصعوبة بمكان أن تبقى في النقطة نفسها والتيار من حولك جار. كما أن كثافة الماء التي تتزايد، مع تزايد العمق، تزيد إلى حد كبير من الجهد المطلوب للقيام بأي حركة وتحد من مقدار العمل الذي يمكن القيام به.

على الأرض، تخبرنا الجاذبية والأدلة البصرية عن موقع جسدنا. لكن هذه المعلومات لا تتيح لغواص فاقد الوزن، إمكانية رؤية ضعيفة، بل قد تؤدي إلى فقدان للاتجاهات وإلى الذعر. إذ من السهل أن تصاب بالذعر حين لا يكون واضحاً مباشرة لديك في أي جهة يقع السطح. لكن لحسن الحظ تظل ثمة أدلة: فالفقاعات تصعد دائماً إلى الأعلى، وحزام الثقل، حين يحرّر، يسقط دائماً إلى الأسفل.

أخطار طويلة الأمد

قبل مئة سنة تقريباً، تم اكتشاف الآثار طويلة الأمد للعمل تحت الضغط، وذلك لدى عمال الإنشاءات الذين يعملون في جو مضغوط. لقد ظهر لدى الكثير منهم آلام مهلكة في أوراكهم ومفاصل أكتافهم، وأحياناً، بعد زمن طويل من توقفهم عن العمل تحت الضغط، ولدى فحصهم بالأشعة السينية ظهر على مفاصلهم ما يدل على التآكل. الحالة الأولى لتلف العظم لدى غواص لم تذكر إلاَّ بعد ثلاثين سنة، لكن منذئذ فصاعداً بدأ تسجيل سلسلة مطردة من الحالات.

في أواسط الستينيات من القرن العشرين، كان الدليل دامغاً. ففي دراسة على 131 غواصاً، وعلى مدى عشر سنوات، تبين بالفحص الشعاعي أن اثنين وسبعين منهم لديهم تنكرز عظام، واثنين وعشرين منهم ليس لديهم أي علامة من علامات المرض. على غرار ذلك، تبين أن 20 بالمئة من عمال القيسونات العاملين في شق أنفاق «كلايد» كان لديهم آفة عظام وكان التلف يتموضع بصورة رئيسية في نهايات العظام الطويلة للأرجل والأذرع، فذهب الظن إلى أنه ينجم عن وجود فقاعات بالغة الصغر في النسيج العظمي تسد الشعيرات الدقيقة التي تزود الخلايا العظمية بالدم مما يؤدي إلى موتها.

أحد الأسباب التي تفسر لماذا يمكن للعظم أن يكون عرضة لمثل هذه الفقاعات البالغة الصغر هو أن الفقاعة حين تتشكل، تنضغط خلايا العظم الحي لكي تفسح مجالاً لها، نظراً لأن العظم نفسه غير قابل للانتفاخ. كذلك يمكن أن تتأثر، لدى بعض الناس، السطوح المفصلية للعظام، مما يسبِّب آلاماً مفصلية حادة في الأوراك والأكتاف.

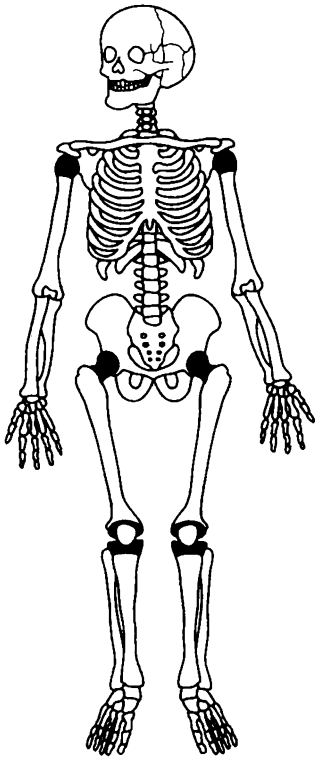
إن نسبة حدوث مرض العظام وحدته مرتبطان، كما يمكن توقعه، بالأعماق التي يصل إليها الغواص، إذ لم يكتشف أي أذى لدى أولئك الذين لم يتجاوزوا عمق الثلاثين متراً، في حين ظهرت أعراض التنكرز لدى نحو

20 بالمئة من أولئك الذين تجاوزوا المئتي متر. لهذا يخضع الغواصون التجاريون هذه الأيام، لفحوص عظمية دورية بحيث يمكنهم التوقف عن الغوص في الوقت المناسب لمنع انهيار العظم.

كذلك، يمكن أن يعاني الغواصون من فقدان السمع طويل الأمد. أسباب هذه الحالة ليست واضحة تماماً. على أن إحدى الأفكار المطروحة هي أن العمل تحت الماء يمكن أن يكون شديد الضجيج، لأن الهواء يندفع داخل الحجرة وخارجها خلال فترة ضغطه وإزالة ضغطه، كما أن الغاز يدور باستمرار في خوذة الغوص إضافة إلى أن أدوات البناء تحت الماء يمكن أن تكون صاخبة تماماً كنظيرتها على الأرض، والصدمة التي تنجم عن الصعوبات في موازنة الضغط في الأذنين أو عن الفقاعات التي تتشكل لدى إزالة الضغط، هي احتمال آخر وهي السبب المؤكد تقريباً، الذي يقف وراء ضعف السمع الذي يصيب غواصات المحار اليابانيات.

لقد أُجريت دراسات كثيرة حول ما إذا كان الغوص يسبِّب تلفاً دماغياً أم لا. وهناك اتفاق عام على أن الغواصين الذين يعانون من مرض إزالة الضغط الحاد يمكن أن تظهر لديهم إصابات عصبية دائمة، لكن رأياً قاطعاً نهائياً لم يتم التوصل إليه في ما إذا كان التلف ما تحت السريري يمكن أن يحدث لدى الغواصين الذين لم يواجهوا مشاكل إزالة ضغط أم لا. بعض الدراسات تدل على أنهم يتعرضون للارتعاش المتزايد وتناقص الإحساس في القدمين واليدين والأعراض الأخرى من الخلل الوظيفي للجهاز العصبي، في حين لم تبين دراسات أخرى أي آثار واضحة. لكن نظراً لتزايد عدد غواصي الاستجمام، فإن الحاجة لمزيد من البحث والدراسة باتت ماسة أكثر.

في سنة 1997 ظهر تقرير مقلق في الدورية الطبية البريطانية، إذ تم اكتشاف آفات صغيرة في أدمغة بعض غواصي السكوبا، باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي النووي. هذه الآفات كانت تترافق مع وجود مناطق من



مواقع الآفات العظمية لدى 72 غواصاً تبيِّنها دراسة أُجريت على 131 غواصاً في كيل ألمانيا.

الخلايا العصبية الميتة، فذهب الظن إلى أنها نجمت عن انسداد مجرى الدم الآتي إلى المخ بفعل فقاعات هوائية بالغة الصغر. لكن ليس لدى غواصي السكوبا جميعاً فتحات في أدمغتهم. فقد كشف فحص أدق أن هذه الفتحات شوهدت فقط لدى الناس الذين لديهم فتحة صغيرة بين جانبي القلب الأيمن والأيسر. والمدهش، كما يمكن أن يبدو، أن هذه الحالة شائعة تماماً وهي موجودة لدى نحو ربع الناس. إنها تزداد نظراً لأن الأذنين الأيمن والأيسر ـ وهما حجرتا القلب الخاصتان للضغط الواطئ ـ يتصلان من خلال فتحة تعرف باسم «الفوهة البيضوية». هذه الفتحة تكون مغلقة عادة عند الولادة، لكن الانغلاق لا يكون كاملاً تماماً لدى بعض الناس. ولدى هؤلاء تتشكل

الفقاعات البالغة الصغر في الدورة الدموية خلال إزالة الضغط وتكون أصغر من أن تسبِّب الالتواء إلاَّ أنها يمكن أن تمر وتتوضع في مجاري الدم الدماغية (بينما تشبكها، لدى أناس آخرين، الشعريات الرئوية حيث يكون أذاها ضئيلاً) على الرغم من أنه لا يوجد دليل في هذه الدراسة على إصابات عصبية واضحة، إلاَّ أنه يمكن نصح الناس ذوي الفوهات البيضوية المفتوحة بالابتعاد عن غوصات السكوبا.

داخل الهاوية

يستطيع الغواصون الذين يتنفسون الهليوكس أن ينزلوا إلى عمق 200 متر، إذا كانوا لائقين جسدياً ومدرَّبين جيداً. وإذا ما استخدمت غازات خارجية فإن هذا العمق يمكن أن يصل إلى 400 متر. لكن يتعيَّن على الغواص هنا أن يرتدي خوذة من ليف الزجاج وبذلة مدفأة. تحت هذا المستوى يتعين على الإنسان أن يأخذ وسطه البيئي معه. تتصف الغاطسات (أي الأجسام القابلة للعمل تحت الماء) بميزة هامة هي أن ركابها يعيشون في ضغط جوي عادي، بحيث لا تكون هنالك حاجة لإزالة الضغط المطولة كما أنها يمكن أن تنزل وتصعد بسرعة. مع ذلك يجب أن تكون جدران الغاطسة قوية بصورة كافية لمقاومة الضغط الخارجي والحيلولة دون تحطمها، كذلك لا بد من وجود ماسكات آلية أو أذرع متحركة دقيقة لجمع العينات.

شيدت غواصة العمل الأولى في العالم نحو سنة 1620 من قبل كورنيليوس ڤان دريبيل. وعلى الرغم من أن تصاميم مركبات تعمل تحت الماء كانت قد وضعت في وقت أبكر ـ من قبل ليوناردو دافينتشي وآخرين ـ فإن دريبيل كان سابقاً عصره بشوط بعيد. إذ حتى أواسط القرن التاسع عشر، لم يضف إلاَّ القليل من التطويرات على صناعة الغواصات، وذلك حين استخدمت في الحرب الأهلية الأمريكية الغواصات ذات المحركات البخارية والتي عرفت باسم «الداودية». لهذا كان على اكتشاف البحار العميقة

أن ينتظر زمناً أطول بكثير. إن النمط الأول للغاطسات، المصنوعة بحيث تقاوم الضغوط الشديدة الموجودة في الأعماق الكبيرة، إنما كانت كرة الأعماق، وهي شكل كروي فولاذي أجوف ذو جدران بالغة السماكة يتم إنزالها بأسلاك معدنية من سفينة على السطح. في كرة فولاذية كهذه، قطرها 1,4 متر فقط (4,5 أقدام) نزل وليم بيب وأوتيس بارتون إلى عمق 923 متراً محطمين الرقم القياسي، وذلك في برمودا في الخامس عشر من شهر آب (أغسطس) سنة 1934. لكن كرة الأعماق هذه لم يكن باستطاعتها أن تنزل إلاّ بشكل مستقيم، دون أن تقدم أكثر من لمحة لأعماق المحيط شديدة الإغراء والتعذيب.

أما غواصة الأعماق Bathscaphe التي اخترعها العالم السويسري أوغيست بيكار في الأربعينيات فقد أحدث ثورة في عالم الاستكشاف تحت الماء، نظراً لقدرتها الكاملة على المناورة واستقلاليتها عن السفينة الأم. لقد اشتق اسمها من كلمة Bathys الإغريقية وتعني العميق وكلمة Scaphos وتعني سفينة. إنها تعمل مثل بالون بالمقلوب. وهناك طوق علوي خفيف الوزن (يملأ بستين ألف غالون من النفط) يسمح للمركبة بأن تصعد، في حين يضاف إليها ثقل موازن لجعلها تنزل. أما التخلي عن الثقل الموازن في الأسفل فيسمح لغواصة الأعماق بأن تبحر صاعدة إلى السطح من جديد. تحت السطح، ثم تعليق حجيرة فولاذية كروية، جدرانها بالغة السماكة تحوي البحارة. . لقد حط جاك بيكار، ابن أوغيست، مع دون وولش، وهو ملازم في البحرية الأمريكية، على قاع البحر في أسفل خندق ماريانا وذلك في 23 كانون الثاني (يناير) 1960 وفي غواصة الأعماق «تريست»، على عمق 10914 متراً، وهو أعمق مكان في الأرض (إنه أكثر من ستة أميال عمقاً) والضغط هائل بحيث يصل إلى 1100 بار (أي 16500 رطل إنكليزي على كل بوصة مربعة). لا أحد بعد ذلك سجل رقمهما القياسي ذاك، رغم أن غطاساً آلياً يابانياً يدعى «كايكو» لمس القاع هناك سنة 1995.

لقد برهنت رحلة تريست أنه بإمكان الإنسان أن يهبط إلى قاع المحيط ثم يعود دون أن يمسه أذى، كما أن نجاحها فرَّخ جيلاً جديداً من الغاطسات حل فيها محل خزان الطوف الثقيل المزعج غلاف ضغط يوفر قابلية الطفو الأساسية. والآن تملك كل من اليابان، فرنسا، روسيا والولايات المتحدة جميعاً غاطساتها الخاصة. لكن لعل أشهرها جميعاً، الغاطسة «ألڤين» التي دشنها معهد وودز هول لدراسة المحيطات سنة 1984 والتي استخدمت لتحديد موضع القنبلة الهيدروجينية التي سقطت بحادث عرضي في البحر الأبيض المتوسط غير بعيد عن شاطئ إسبانيا. ولاستشكاف الفتحات الحرارية الهيدروجينية في الصخور الواقعة وسط المحيط وكذلك لإيجاد حطام السفينة «تيتانك». آخر نموذج من الغاطسات هو «طائرة الأعماق» وهي مركبة سريعة عالية القدرة على التحرك تشابه طوربيداً مجنحاً، صممه غراهام هوكز، «ليطير» عبر الماء. لكن حتى الآن فإن «طائرة الأعماق» لم تجرَّب إلاَّ في الأعماق الضحلة نسبياً.

الغواصة الأولى في العالم

أول غواصة عاملة في العالم صنعت نحو 1620 من قبل الكيميائي الهولندي كوريليوس ڤان دريبيل (1572 ـ 1634) الذي كان يقيم في لندن في ذلك الحين. لقد صنع ما مجموعه ثلاث غواصات، آخرها أكبرها وأكثرها إتقاناً وتعقيداً. ومن المعروف أنها أبحرت تحت الماء في نهر التايمز من ويستمنستر إلى غرينتش وتحت بصر الملك جيمس الأول. لقد بدت أشبه بجوزة هائلة الحجم يغطيها جلد مدهون بالشحم لمنع تسرب الماء. الصور شبه المعاصرة تدل على أن الغواصة كانت تتحرك بالمجاذيف في كلا جانبيها. لكن ما ليس واضحاً هو الكيفية التي كانت تحرك بها المجاذيف من داخل الغواصة دون أن يتسرَّب الماء. اللغز الآخر هو كيف كان المجذفون (والركاب) يتدبرون أمر التنفس. لقد كان باستطاعة الغواصة، على ما يبدو، أن تمكث تحت الماء نحو ساعة ونصف الساعة، وهي فترة طويلة كفاية لأن تسبب انخفاضاً مزعجاً في الأوكسجين وارتفاعاً في ثاني أوكسيد الفحم.

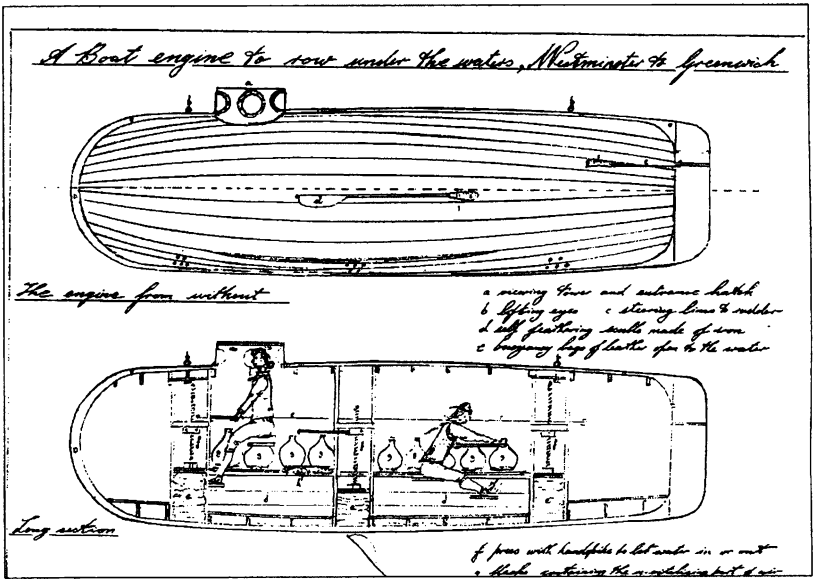
ويتضح، من إشارات وردت في أوصاف معاصرة للحدث تشير إلى «مشكلة الهواء»، أن كمية الهواء في آلة دريبيل لم تشكل عائقاً بالحقيقة. لكن كيف حُلَّت المشكلة فهو أمر ما يزال غير مؤكَّد. إذ يزعم أحد الكتاب أن الغواصة كانت تتصل بالسطح بواسطة أنبوب هوائي.

لوحة من القرن العشرين لغواصة أورتيليوس فان دريبيل رسمها جـ هـ. تويديل

غير أن العالم روبرت بويل الذي قابل صهر دريبيل كتب سنة 1660، أي بعد نحو 40 سنة، أن دريبيل استطاع بنزع سدادة وعاء ملآن بذلك السائل الكيماوي أن يستعيد للهواء المزعج نسبة ما من أجزاء حيوية جعلته من جديد، ولفترة حديثة من الزمن، صالحاً «للتنفس». ما هو ذلك السائل؟ أمر يظل غامضاً، نظراً لأن الأوكسجين لم يتم عزله فعلياً إلاَّ بعد 150 سنة من ذلك التاريخ.

مع ذلك ثمة أحد الاحتمالات الذي تدل عليه واقعة معروفة وهي أن دريبيل قام سنة 1610 بزيارة إلى براغ حيث كان الكيميائي البولندي سنديڤوغيوس يعمل. وقد كان يتملك سنديڤوغيوس هوى شديد تجاه ملح البوتاسيوم. إذ وصفه بأنه «الغذاء السري للحياة»، وقد ذكر أن «النترات الهوائية» التي تنتج حين يحترق يبقي الناس أحياء.

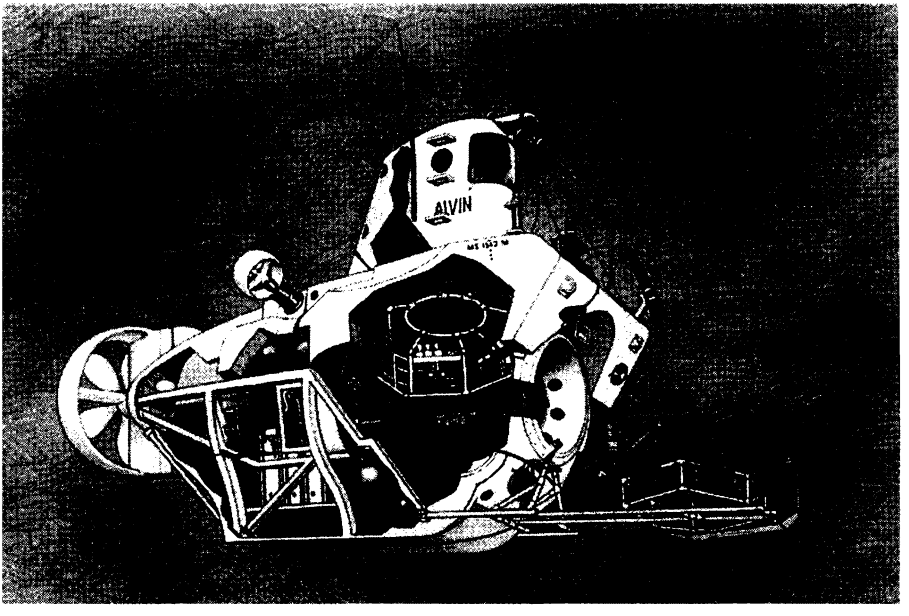
ولقد كانت ملاحظته صحيحة تماماً، إذ أن نترات البوتاسيوم تطلق الأوكسجين عندما تسخن. إذن ربما استخدم دريبيل مرطبانات من «النتر الهوائي» أو حتى حرق الملح الصخري نفسه ليحافظ على نقاء الهواء. على أن السؤال الصعب هو لماذا لم ترتفع نسبة ثاني أوكسيد الفحم إلى مستويات عالية تكفي لجعل المجذفين يفقدون وعيهم وهو السؤال الذي لمّا يحل بعد. ربما كانت الرحلة، وبكل بساطة، قصيرة جداً.



رسوم متصورة لنسخة من غواصة دريبيل، صممها صانع السفن التاريخي مارك ادواردز انطلاقاً من التكنولوجيا المعاصرة.

حياة تحت الضغط

يشتغل الغواصون التجاريون، هذه الأيام، بصورة منتظمة في أنوا
ختلفة من الأعمال تحت الماء، كالإشراف على خطوط الأنابيب مثلاً
ميانة معدات النفط، تفتيش أبدان السفن وإصلاحها، إخراج الحطام ب
حتى العمل القضائي. كما يغوص المزيد والمزيد من الناس من أج



آلفن هي غطاسة البحار العميقة شغلها معهد وودز هول لدراسة المحيطات وبحارتها ثلاث (عالمان وقائد سفينة) تستغرق غطستها النموذجية إلى عمق 4500 متر، نحو 8 ساعات تقضي منه أربعاً في القاع.

المتعة. والأعماق التي يمكن أن يصلوا إليها يمليها نوع الغاز الذي يتنفسونه لكن، وعلى الرغم من أنه بالإمكان التغلب على سمية الأوكسجين وخدر الآزوت باستخدام غازات تأتي من الخارج، فإن مرض الضغط العالي العصبي (هبنز) يفرض على الغواص الحر الالتزام بالحد الأدنى من التعليمات. إضافة إلى ذلك، فإن الغواصين يتأثرون تأثراً كبيراً بالبرد، كما أن مرض إزالة الضغط يحد من المعدل الأقصى لسرعة الصعود الذي يسمح به. هذا يعني أنه يمكن للغواصين أن يعملوا بأمان على الرفوف القارية لكنهم لا يستطيعون النزول تحتها إلى قيعان الهاويات. لهذا ومن أجل استكشاف أعماق البحار، لا بد من الغاطسات المقاومة للضغط أو المسبارات البعيدة. وفي الوقت الحاضر ثمة جدل لا بأس به حول أي من هذين الخيارين هو الأفضل. لكن من المحتمل، على ما يبدو، أن يستمر تطويرهما كليهما، فقط لأن من المحتمل أن تكون مكافآت استكشاف أعماق

البحار كبيرة ومجزية ـ نفط وثروات معدنية ذات نسب كثيفة، خمائر بكتيرية ومنتجات طبيعية يمكن أن تحدث ثورة في ميادين التكنولوجيا الحيوية والطب، نظام بيئي فريد لم يدرسه العلماء إلاَّ نادراً ـ وهناك أيضاً الإثارة والتحدي في أن تشاهد ذلك كله فعلاً بأم عينك.

النزول في الماء الحار

قبل بضع سنوات، عرَّفني زميل ياباني إلى شكل شرقي من أشكال الاختبار بواسطة النار. لقد أخذني إلى إبوسكي، وهي بلدة صغيرة في جنوب اليابان تشتهر بحماماتها ذات المياه المعدنية. إنها تقع على حافة البحر، تطل على منظر رائع لبركان نشط ذي اسم مثير هو ساكورا ـ جيما أي جبل الكرز. ارتديت «كيمونو» قطنياً وخرجت إلى شاطئ عريض من الرمل الأسود فاستقبلني بالترحاب منظر خارق للعادة. إذ كان هناك مئات من الرؤوس البشرية وقد زرعت على شكل صفوف منتظمة في الرمل أشبه ما تكون بنوع خاص من الملفوف أو كرات القدم المهجورة. لقد بدت كما لو أن أحد الساموراي القدامى أصيب باهتياج مسعور تاركاً ثمار أعماله على الشاطئ بانتظار أن يغسلها البحر. لكن السر انكشف حين أشار لي عجوز، كان يمسك بمجرفة، وقد تقدَّم مني، يريد حفر قبري. لقد تمددت في الحفرة الطويلة ضحلة العمق ثم طمرني بعناية بحيث لم يعد ظاهراً مني فوق الرمل سوى رأسي. والطمر في الرمل تجربة رطبة باردة أذكرها من العطل أيام الطفولة في إنكلترا. كان الماء الذي يسخنه البركان القريب يتغلغل حتى الشاطئ مما يجعل الرمل حاراً. وكان دفئه يغلفني متغلغلاً عبر الثوب القطني الرقيق، حالاً عقداً في عضلاتي لم أكن أعلم بوجودها، فيما كان الرذاذ الناجم عن أمواج الشاطئ يدغدغ قدمي مهدهداً إياي مما جعلني أغرق في

النوم، ليوقظني فيما بعد أصدقائي اليابانيون وهم يشيرون إلى الساعة الكبيرة على عمود بدت أشبه بقطعة كرميلا عملاقة في طرف عود تهيمن على الشاطئ. إذ كان قد انقضى علينا ونحن نتبخّر، خمس عشرة دقيقة وكان وقتنا قد انتهى.

الدقائق العشر التالية أمضيناها في البناء المجاور نغسل آثار الرمل، حاكين فاركين أنفسنا فركاً شديداً، منظفين شعورنا وأظفارنا وجلودنا إلى أن صار كل شيء فينا يلمع. حينذاك فقط، ونحن عراة نظيفون دون شائبة، بات بإمكاننا أن ندخل «الأونسن»، الحمام الحار المشترك.

«إنه حار». جاءني التحذير، لكنني لم أبالِ. فأنا دائماً آخذ حمامات حارة وأشرب الشاي وهو يغلي بل إنني مشهورة بأن لي أصابع من الحرير الصخري. بشجاعة خطوت إلى داخل البركة، فارتددت قافزة خارجها مرة ثانية. حرارتها تحرق. هي على الأقل 45 درجة مئوية، وخيل إليَّ أنني ولا بد أصبت بحروق من الدرجة الأولى ثم حملقت بذهول بالنساء اليابانيات رقيقات العظام اللائي يستلقين في البركة. كيف يمكنهن تحملها؟ ابتسمن ثم أومأن لي برؤوسهن مشجعات، مثرثرات في ما بينهن بأصوات عالية كأصوات الناي. لم يكن باستطاعتي أن أفهم كيف تراهن لم يحترقن وللتو داهمتني أفكار عن قدور الطبخ لدى آكلي لحوم البشر والعذابات التي كان يتحملها أولئك الذين كانوا يتهمون بالسحر في القرون الوسطى. بحذر شديد بدأت أدخل في الماء بوصة بوصة، متجاهلة الحرارة. بعدئذ مددت ذراعي على طول حافتي الحمام كي أوفّر سطحاً كبيراً للتبريد بالتبخر. تطلّعت حولي. كان المنظر أشبه بمستنبت زجاجي مليء بنباتات استوائية وأحواض كبيرة مختلفة. لقد ذكرني ذلك بعوالم قصص «نارينا» وبذلك المكان فيها حيث كل حوض يؤدي إلى عالم مختلف من تلك العوالم. الفارق، أنها هنا كانت ملأى بالماء وبدرجات حرارية مختلفة، ومحتوى معدني. عندما خرجت من الحوض الذي نزلت فيه بعد خمس دقائق، كان لوني أحمر

كرزياً لامعاً أشبه بسرطان بحري مسلوق. كل ما فيَّ من دم كان قد توجه إلى جلدي، وذلك في محاولة يائسة من جسدي لتبريده، لكن عبثاً، ذلك أنني لم أستطع التخلص من الحرارة التي ولدتها بنفسي وحسب، بل كنت مسرعة أراكم حرارة الحمام أيضاً. جلست على حافة الحوض، يتفصَّد جلدي عرقاً، لكنه شعور عجيب، إذ كانت الحرارة قد حلَّلت أوجاع الجسد والذهن كلها. منذئذ، وكلما ذهبت إلى اليابان، كنت أختار الذهاب إلى الأونسن (الحمام المعدني) المحلي.

من هذه التجارب التي لا أنساها أبداً زيارة شتوية قمت بها إلى «أونسن» يقع عالياً في جبال الألب اليابانية، تلك هي قمة زاو، حيث قام الشاعر تاشو بزيارة أوحت له ببعض من أشهر قصائده «الهايكو». كان الثلج يصنع ما يشبه العباءات للأشجار. وكانت تلك العباءات سميكة إلى درجة يصعب معها تمييز شكل الشجر فبدا أشبه بشموع ذابت. أما الجبال الرمادية الظليلة فكانت تتدرج في البعد نطاقاً بعد نطاق وكانت أشكالها ترق بما يمر فوقها من قزع الغيوم. إنه المنظر الهادئ اللطيف نفسه للوحة يابانية، كلها بالأسود والأبيض والظلال الرمادية، مع جمال شرقي أثيري كنت أحسب أنه لا يوجد إلاَّ في خيال فنان. لكن حينذاك أدركت، وكلي دهشة، أنها بالحقيقة صورة واقعية. على حافة الجبل، كانت تتجمع بيوت صغيرة من الخشب غائصة في أعماق الثلج، بينما كانت جداول حارة تجري في الشوارع مطلقة بخارها، مغلفة العابر غير الحذر بسحابة كبريتية دافئة.

«الأونسن» هو حمام حجري قديم تحميه جزئياً شرفة خشبية، لكن ما عداها يكون مفتوحاً لعناصر الطبيعة. تحده من كل جوانبه حديقة يابانية ومناظر ممتعة رائعة عبر الجبال. الماء باستمرار يجري إلى الحوض من جدول حار طبيعي. لقد جمدنا الهواء الجليدي حين مشينا عبر الثلج عراة إلى «الأونسن» ـ وهذه المرة سررت كثيراً بحرارة الحمام. لكنني كنت أقل سعادة بالبخار الذي كان يتصاعد من الماء. فقد كان ذا رائحة كبريتية

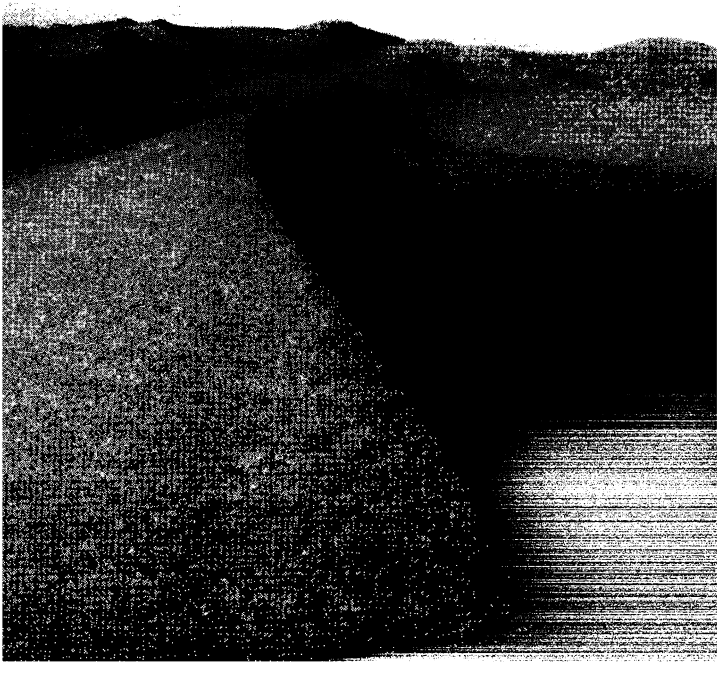
شديدة. وكان يعلق في بلعومي. سألت زميلي، وأنا مستلقية في الماء، شبه مخدرة بواسطة الحرارة، أن يترجم لي ملاحظة صغيرة مكتوبة على الجدار. كنت قد افترضت أنها تعني «ممنوع التدخين»، لكنها لم تكن كذلك، بل كانت تنصحنا بأن نغتسل جيداً بعد استعمال الأونسن، لأن الماء حمض إلى درجة يمكن معها أن تهترئ ثيابنا. بكسل تساءلت، وأنا في حالتي شبه المخدرة، ما تراه يمكن أن يفعل بجلدي؟ لكن بالحقيقة، كان الخطر هو الحرارة الشديدة، إذ على الرغم من أن غطسة قصيرة فيه تنشط على نحو عجيب، إلاَّ أن البقاء فترة طويلة يمكن أن يكون مميتاً، بالمعنى العام للكلمة.

3

العيش في المناطق الحارة

«قوتي جفَّت كقطعة من فخار
ولساني علق بين فكيّ
وقد جئت بي إلى غبار الموت»

المزمور 22



نحو نهاية القرن التاسع عشر وذات صباح، غامر أمين سر الهيئة الملكية في لندن، السيد بلاغدن، بالدخول إلى غرفة درجة حرارتها 105 مئوية، آخذاً منه بعضاً من البيض، قطعة من لحم البقر النيء وكلباً. بعد ربع ساعة كان البيض قد سلق تماماً واللحم قد شوي حتى صار هشاً، لكن بلاغدن وكلبه خرجا دون أن يصابا بأذى (برغم أنه كان على الكلب أن يبقى في سلة كي لا تحترق أقدامه). غير أن قدرتهما على تحمل درجة حرارة أعلى من درجة غليان الماء تبدو مدهشة أكثر حين يأخذ المرء بالاعتبار أن البروتينات تتغير طبيعتها الأصلية والخلايا تبدأ بالتلف تلفاً غير قابل للإصلاح. حين ترتفع درجة الحرارة فوق 41 مئوية، حتى إن درجة حرارة الجسم حين تصل إلى 43 مئوية تكون مميتة للبشر وأن كل الخلايا تقريباً تقتل إذا تجاوزت درجة الحرارة 50 مئوية بضع دقائق. مع ذلك، كما يبين السيد بلاغدن بكل وضوح، يمكن لجسم الإنسان أن يبقى على قيد الحياة مع تعرضه لدرجة حرارة 105 مئوية نحو 15 دقيقة تقريباً. كيف هي هذه الحالة؟ هوذا موضوع هذا الفصل.

تعتمد حياتنا على مفاعل نووي يبعد 93 مليون ميل ويقوم بإضاءة كوكبنا وتدفئته معاً. درجة حرارة سطح الشمس هي 6300 درجة، فيما سطح الأرض أبرد بكثير جداً، لكن ما يزال بإمكاننا أن نصل إلى مستويات يصعب

على البشر تحملها. إن أعلى درجة حرارة للهواء سجلت على الأرض هي الدرجة اللافحة 58 مئوية التي أخذت في الظل وذلك في العزيزية، ليبيا، في أيلول / سبتمبر 1992. درجات الحرارة فوق 45 مئوية تسجل بشكل عادي خلال أشهر الصيف في أواسط أستراليا، دول الخليج والسودان. والأشياء التي تتعرض تعرضاً مباشراً للشمس يمكن أن ترتفع حرارتها أكثر من ذلك أيضاً، بحيث يصبح المعدن أشد حرارة من أن تلمسه باليد، كما أن الرمل يصبح حارقاً للقدمين. كذلك يمكن لآثار الشمس أن تكون كبيرة في بيئة باردة. فالشمس ترفع حرارة حقول الثلج في إيڤرست إلى 30° مئوية، والمستكشفون القطبيون يمكن أن يعانوا في آن واحد من الحروق الشمسية وقضمات الصقيع معاً، بل حتى في الفراغ الفضائي المتجمد يمكن للأشياء التي تتعرض لأشعة الشمس أن ترتفع حرارتها سريعاً.

أعلى درجات الحرارة على الأرض هي في الصحارى، والصحراء، تعريفاً، هي المكان الذي يقل فيه معدل المطر السنوي عن 10 بوصات، لكن معظم الصحارى معدلات مطرها أقل من ذلك بكثير. بل إن بعضها قد لا يعرف المطر سنوات عدة. افتقاد الغيوم يعني أن الإشعاع الآتي من الشمس والجو كثيف، مما يرفع حرارة الهواء والأرض بسرعة في النهار لكن لتنخفض بالسرعة نفسها وعلى نحو شديد في الليل. الماء نادر، بحيث إن الأرض تظل بعض أيام السنة جافة، لكن الهواء الذي يظل حاراً عند الظهيرة يصنع سراباً يحول الأرض المحمصة إلى بحيرات وهمية متلامعة الحرارة يمكن أن تكون شديدة لكن تزيد من شدتها الرياح الجافة الساخنة التي تخلص الجسم من مائه وتذبل الجلد وتجفف المجاري الأنفية. كما أن الرمل والغبار الذي تثيره رياح الصحراء يكون مخرشاً ويكشط الجلد ويمكن أن يصيب المرء بالاختناق. كذلك تسبب الأشعة فوق البنفسجية الحروق الجلدية فيما يسبب الضوء الباهر غبش البصر. إن مناخ الصحراء ليس مناخاً مريحاً للإنسان. مع ذلك، فإن الإنسان استوطن الصحراء قروناً من الزمان

وآلاف الزوار يؤمونها كل سنة كي يشهدوا جمالها الأخاذ، الكثبان العظيمة التي تنقشها الرياح، والصخور المنحوتة الملونة بأجمل الألوان. ذلك أن هناك جملة من التكيفات السلوكية والفيزيولوجية تضمن بقاء الإنسان على قيد الحياة.

حرارة الجسم

كيف نفهم إمكانية تكيُّف الإنسان مع الحر الشديد؟ من المفيد أن ننظر أولاً ماذا نعني بحرارة الجسم وكيف تنظم في الأحوال العادية. ليست مناطق الجسم كلها ذات درجة حرارة واحدة، وما نقصده عموماً بحرارة الجسم يقتصر فعلاً على حرارة اللب، ذلك العمق الواقع بين أنسجة الصدر والبطن. هنا، الحرارة تبقى 37° مئوية على الرغم من أنها تتغير خلال اليوم بفارق نحو نصف درجة، إذ تكون أعلى عصراً وأدنى فجراً. كذلك تتأثر درجة حرارة اللب، لدى النساء، بالدورة الشهرية، إذ ترتفع قبل الإباضة مباشرة وتبقى عالية بدءاً من اليوم الخامس عشر إلى اليوم الخامس والعشرين من أيام الدورة الثمانية والعشرين. هذا التغير يتيح للمرأة أن تقرر متى تكون أشد خصوبة وتستفيد منها في عملية ضبط النسل.

تختلف درجة حرارة الغلاف الخارجي للجسم اختلافاً بيناً عن حرارة اللب، طبقاً لما تبينه بوضوح عدسة تصوير حرارية. إذ يمكن لشخص عار في غرفة باردة أن تكون حرارة جلده أقل من 20° كما يكون ذراعاه وساقاه أبرد أيضاً من لب الجسم. والعكس صحيح، فأثناء القيام بتمارين مجهدة يمكن أن ترتفع الحرارة داخل العضلات العاملة إلى 41° مئوية، رغم أن حرارة اللب قد لا تزيد سوى درجة أو درجتين. كذلك فإن المناطق التي يكون دفق الدم فيها عالياً تكون أكثر حرارة، وهو ما يفسر لماذا تشعر أن وجهك أشد حرارة حين تحمر خجلاً.

إن الحدود العادية لحرارة اللب هي ما بين 36 إلى 38° مئوية، وسريرياً

يحدد فرط انخفاض الحرارة بما هو دون 35° مئوية وفرط ارتفاع الحرارة بما هو فوق 40° مئوية، فإذا زادت حرارة اللب عن 42° مئوية يحدث الموت بسبب ضربة الحر، لهذا، ورغم أنه يمكن للبشر، في ظروف خاصة، أن يعيشوا في البرد الشديد (أنظر الفصل 4) فإن الزيادة في حرارة لبهم زيادة ضئيلة لا تزيد عن 5 درجات مئوية، تكون مميتة. على أن السائل المنوي حساس حساسية خاصة تجاه الحرارة العالية، وأكثر بكثير من بقية الجسم، وهو ما يفسر لماذا تتوضع الخصى، لدى الثدييات، خارج الجسم، حيث تظل أبرد. ومن المثير للسخرية أن البنطلونات المحكمة على الجسم، رغم أنها قد تبدو مثيرة جنسياً أكثر، إلاّ أنها عملياً تخفض خصوبة الرجل نظراً لأنها تقلل من فقدان الحرارة وبالتالي من إنتاج المني.

الشعور بالحرارة

لسنوات طويلة، شغلت العلماء مسألة الكيفية التي يحس بها الجسم بحرارته الداخلية. ذاتياً، من الواضح لنا جميعاً أن نهايات الأعصاب في الجلد هي التي تزوده بالأحاسيس الواعية للحر والبرد. مع ذلك فإن شيئاً من التأمل يدل على أن الحرارة التي تتعلق ببقائنا أحياء ليست حرارة الجلد بل هي بالأحرى حرارة الدماغ. لذلك، يمكن أن يكون أكثر منطقية أن نضبط حرارة الدماغ ونراقبها أكثر من حرارة مسطح الجسم، تماماً مثلما يتم التحكم بأجهزة التدفئة المركزية من قبل منظم حرارة مركزي وليس من قبل مئات كثيرة من المنظمات المفردة على الجدران الخارجية للمنزل.

سنة 1885، اكتشف إي. آرونسون وجـ. ساخ المنظم الحراري للجسم الذي يقع تحت السرير البصري، وهي منطقة من الدماغ تقع في قاعدة الجمجمة. لكن بعد زمن طويل من ذلك الاكتشاف، استمر الجدل في ما إذا كان الدماغ أو الجلد هو الأكثر أهمية في ضبط الحرارة. أخيراً حلت القضية بزرع جهاز إحساس حراري داخل دماغ عالم تطوع لهذه الغاية ومن ثم جرب

في ما إذا كان رد فعل جسده تجاه البرد تؤثر فيه حرارة الدماغ أم حرارة الجلد. ولكي يبرد الدم الذي يصل إلى الدماغ بسرعة دون أن يتأثر الجلد، فقد أعطي الشخص الخاضع للتجربة قطعة مثلجات (بوظة) ليأكلها فثار لديه في الحال رد الفعل النموذجي تجاه البرد وهي الحقيقة التي حسمت الجدل: فالمنظم المسيطر لحرارة الجسم يقع في الدماغ.

غير أن الحساسية تجاه الحرارة لا تقتصر على الدماغ. إذ حسبك أن تشرب فنجاناً من القهوة الحارة إلى درجة حارقة، دون أن تنتبه لها، فإذا أريقت عليك قفزت عالياً مصدوماً، كي تقدر أن جلدك، لسانك، بطانة فمك وبلعومك هي أيضاً تمتلك أجهزة إحساس حرارية. وإذا كانت لا تكتشف الحرارة الفعلية لمحيطنا، أي أنها تكشف حرارة الجلد الذي تتوضع فيه. هذه الحقيقة توضحها تجربة بسيطة، الهواء المنفوخ على اليدين بواسطة مجفف أيدٍ كهربائي يبدو بارداً حين تكون اليدان ما تزالان رطبتين لكنه يصبح حاراً على نحو مزعج حين تجفان.

تكون أجهزة الإحساس الحرارية في جلدنا من نوعين مختلفين: نوع يستجيب للحرارة التي تراوح بين 15 و35° مئوية وتشير إلى درجة البرودة أو السخونة، وهذه تعرف باسم مستقبلات البرد، نظراً لأن السرعة التي ترسل بها الإشارات الإلكترونية للدماغ تزداد حين تهبط الحرارة وتكون حساسيتها أشد نحو 28° مئوية، مما يدل على أن الإنسان يمكن أن يكون قد تطور في بيئة متوسط حرارتها حول هذه الدرجة.

أمّا النوع الآخر من المستقبلات فتحرضه الحرارة التي يشعر بها كما يشعر بالألم، لقد تم مؤخراً عزل هذه المستقبلات كما حددت سلسلة الـ د.ن.أ. فيها وذلك بالاستفادة من جاذبيتها الشديدة للبهار الكابزيسين، وهو عنصر فعال من بهارات الفلفل الحار. ذلك الفلفل، إذا ما أدخلته بشكل غير ضار داخل ثمار حمراء لامعة في فمك، فإنه ينفجر انفجار بركان، معطياً

عاً من الإحساس الشديد بالحرق يشبه كثيراً الإحساس الحارق الذي يترَ
اولك لطعام هندي أو مكسيكي. وإذا حاولت إخماد النار الحارقة بالم
نك تزيد الطين بلة ويتنشر الإحساس الحارق إلى النواحي الأخرى م
سم. وغالباً ما يعقب الألم الأولي تفصد شديد للعرق، كما لو أن التوا
عت درجة حرارة الجسم فعلاً.

تطور ميزان الحرارة

إن أول من صنع ميزان الحرارة هو غاليلو غاليلي الذي اشتهر أكثر بملاحظاته حول جهاز آخر هو المنظار الفلكي، وكان ذلك نحو 1610. لقد كان غاليلو أستاذاً للرياضيات في جامعة بادوا، ولكي يدعم دخله الضئيل نوعاً ما، كان يصنّع ويبيع أدوات وأجهزة طبية. وميزانه الحراري كان، بكل بساطة عبارة عن أنبوبة زجاجية جوفاء مملوءة جزئياً بالماء، تقفل من أحد طرفيها وتغمس من الطرف الآخر بكوب من الماء (بعض المراجع تذكر أنه نبيذ). حين تزداد الحرارة، يتمدد الهواء في الأنبوبة دافعاً بالماء نزولاً على العمود، وهكذا كلما ارتفعت الحرارة أكثر فأكثر نزل مستوى الماء أدنى فأدنى. وبكتابة مدرج رقمي على جانب الأنبوبة، يمكن القيام بقياس كمي للحرارة. غير أن الصعوبة الأساسية التي واجهت هذا الجهاز هي أن مستوى السائل كان حساساً أيضاً تجاه الضغط الجوي بحيث إنه كان يتذبذب حتى عندما تكون الحرارة ثابتة. هذه المشكلة حلت بإغلاق الطرف الآخر للأنبوبة.

التطوير الأساسي التالي أدخله غابرييل دانييل فهرنهايت وهو صانع أدوات علمية ألماني عمل في أمستردام، وأدخل استخدام الزئبق بدلاً من الماء (أو الكحول) في موازين الحرارة سنة 1724. يتمتع الزئبق بميزة خاصة هي أنه يتمدد بسهولة أكثر بفعل الحرارة كما أنه لا يتبخر وتسهل رؤيته أكثر. إن مقياس فهرنهايت الحراري هو شكل معدل من المقياس الذي كان يستخدمه ريامور، العالم الأقل شهرة، وكان يرتكز أساساً على ثلاث درجات ثابتة: درجة تجمد الماء (32 فهرنهايت)، درجة غليان الماء (212 ف) ودرجة حرارة إبط رجل سليم الجسم (98,4 ف). هذا المقياس ما يزال يستخدم في الولايات المتحدة حتى اليوم، فقد كان فهرنهايت أيضاً أحد الأوائل الذين سجلوا درجة غليان الماء المختلفة باختلاف الضغط الجوي.

إضافة إلى فهرنهايت وريامور، ثمة عدد من الأشخاص الآخرين اخترعوا موازين حرارية، لكن مع تدرجات حرارية مختلفة، إذ كان هناك اعتقاد شائع بأن الدرجات الثابتة نفسها لا تنطبق على مختلف الأمكنة في العالم. ولقد أزال أنديرز سيلسيوس هذا التشوش سنة 1742 حين اخترع ميزان حرارة بمقياس المدرج 100 درجة. لقد كان يعمل في جامعة أوبزالا، أقدم جامعة في السويد، وقد يكون ميزانه الحراري موجوداً حتى الآن في المتحف. إنه ما يزال يحمل مقياسه المدرج بخط اليد. لقد بيّن سيلسيوس باستخدامه هذه الأداة، أن الثلج يذوب دائماً بدرجة الحرارة نفسها على المدرج، سواء تم القياس في المجاهل الشمالية من لابلاند أو في المناخ الأكثر لطفاً في جنوب السويد. والأكثر من ذلك، فقد بين، باستخدامه أحد موازين ريامور الحرارية أن درجة تجمد الجليد في السويد هي نفسها التي قاسها ريامور في باريس. كما ثبت الدرجة 100 باعتبارها درجة ذوبان الجليد بالدرجة صفر باعتبارها درجة غليان الماء، لكن بعد وفاته تم عكس المدرج ليعطي الدرجات التي نستخدمها اليوم.

بعد سنوات كثيرة مضت على هؤلاء الرواد الأوائل اخترع عالم الفيزياء البريطاني، اللورد كيلڤن (1824 ـ 1907) ميزان الحرارة ذا المدرج الذي يستخدمه العلماء. هذا المدرج يبدأ بالصفر المطلق، وهي درجة الحرارة الأخفض على الإطلاق. لقد حددها بالدرجة صفر ك (كيلڤن) وهي تتطابق مع الدرجة 273 مئوية. غير أن أول من قاس درجة حرارة الجسم بطريقة علمية إنما هو ڤينيتيان سانتوريو سانتوريو الذي نشر كتاباً طبياً هاماً هو «فن الإحصاء الطبي» سنة 1612. وقد عدل مقياس غاليليو كي يقيس تغيرات درجة حرارة، ليس الهواء فحسب، بل الجسم أيضاً. وتعليماته تقضي: أن يمسك المريض بالكوب الكروي أو يتنفس فوقه وهو داخل غطاء للرأس أو يدخل الكوب في فمه بحيث يمكننا أن نعرف إذا كان حال المريض أحسن أم أسوأ. كذلك أضاف سانتوريو سلّماً مدرجاً، لكن هذا كان لتمكين الطبيب من تحديد ما إذا كانت درجة حرارة المريض قد تغيرت عن الدرجة التي قيست حين كان في صحة جيدة، أكثر مما كانت الغاية منها مقارنتها بالقيمة «العادية» الثابتة. ففي أيام سانتوريو، لم يكونوا قد عرفوا بعد أن للناس كلهم درجة الحرارة العادية ذاتها.

يتفاعل الفلفل الحار (الكابزيسين) مع البروتيين النشائي نفسه المسؤول عن الإحساس بحرارة الوجع، وهو ما يمكن أن يفسر لماذا يعتبره الناس حاراً. كذلك يتم تحريض مستقبلات الفلفل الحار بواسطة الرزينيفراتوكسين، وهو السمّن الذي يؤخذ من عصارة الفنْريون الراتنجي (Euphorbia resinifera) الذي يسبب إحساساً شديداً بالحرق وحكة جلدية تنتج عن العصارة الحليبية لهذه النباتات. غير أن الناس الذين يتناولون بانتظام الكثير من التوابل في طعامهم يصبحون أقل حساسية تجاه تأثيرات الفلفل الحار والتوابل المشابهة له ويصبح بإمكانهم أن يستهلكوا «الكاري» الأحمر الحار دون أن يصيبهم أي أذى. كذلك من الممكن أيضاً أن التعرض الطويل للفلفل الحار يؤدي إلى تخفيض في عدد مستقبلاته. وهناك فرضية أخرى مخيفة أكثر هي أن التركيزات العالية للدوار تسبب موت الخلايا العصبية المزروعة مخبرياً. وأياً كان السبب، فإن إنقاص الفلفل الحار للإحساس بالألم في الألياف العصبية هو الأساس الذي يقوم عليه استخدامه كمسكن لآلام المفاصل (ويستخدم عموماً كمرهم).

يختلف محتوى الفلفل الحار عن مختلف أنواع البهارات. هذه الحقيقة هي التي دفعت ويلبور سكوفيل، سنة 1912، لاختراع طريقة لقياس شدة كل نوع من أنواع التوابل وذلك بغية توفير وسيلة للتقدير بشكل معياري للنوعية التي يتم استيرادها إلى الولايات المتحدة. وقد تضمن اختباره قياس الكمية الدقيقة من البهار التي يجب تخفيفها بالماء حتى يكون بالإمكان فحصها بمجرد وضعها على اللسان. وحسب مقياس سكوفيل، فقد كان لبهار الجرس اللطيف أقل من وحدة حرورية واحدة، في حين كان «للجالوبينو» الأشد حرورة 1000 وحدة، و«للهابانيرو» الناري 100,000 و«للكابزيسين» النقي كمية هائلة تصل إلى 10 ملايين وحدة حرورية.

مثلما يحرض الفلفل الحار مستقبلات الحرارة، كذلك هناك مواد كيماوية أخرى تتفاعل مع المستقبلات التي تحس بالبرد، خادعة الجسد،

دافعة به إلى التفكير بأن المادة باردة، والمنثول، وهو عنصر رئيسي من عناصر زيت النعنع، مثال على ذلك إذ كان يعتقد في الماضي أن للمنثول خصائص طبية معتبرة وفي ثلاثينيات القرن العشرين، تمت زراعة أكثر من 500 مذاق بالنعنع حول مدينة ميتشام في إنكلترا. كما حدثت زراعات مماثلة في فرنسا، إقليم بيدمونت في إيطاليا، وأماكن أخرى في أوروبا. كذلك كان اليابانيون مقتنعين بقيمته واعتادوا أن يحملوا المنثول معهم في علب فضية صغيرة تتدلى من أحزمتهم. وهو ما يزال يستخدم حتى اليوم في لفائف التبغ لتوفير نكهة «باردة» للدخان وفي العلكة ومعجون الأسنان لتزويد تلك المواد بنكهة «طازجة».

يمكن للإشارات الآتية من أجهزة الإحساس بالبرودة والحرارة الموجودة في الجلد أن تحدث آثاراً موضعية. فإذا غطست رأسك في ماء بارد فإنه سيحمر نظراً لأن مزيداً من الدم سيتوجه إلى هناك لتدفئة الجلد، على الرغم من أن درجة حرارة لب جسدك لم تتغير. والأمر الأكثر أهمية هو أن الإشارات تنتقل أيضاً إلى الدماغ حيث تتكامل المعلومات مع المعلومات الآتية من مستقبلات الحرارة المركزية في المنطقة ما تحت السريرية للدماغ والتي تنظم عادة المعدل الإجمالي لناتج الحرارة وفقدان الحرارة في الجسد.

لكن، خلافاً للبشر، ثمة عدد من الحيوانات لديها أعضاء متخصصة بالإحساس بالحرارة تكون قادرة على اكتشاف الأشعة تحت الحمراء وتقوم بدور عدسات التصوير الحراري، والأفاعي هي أفضل النماذج التي درست من هذه الحيوانات، فأفعى «ڤايبر» الحفر، شأنها شأن ذات الأجراس، لها «عينان» حساستان تجاه الحرارة تُعرفان باسم العضوين التجويفيين وتتوضعان على كلا جانبي الرأس. إنهما مدخلان دقيقان بقطر خرم الإبرة، يتسعان ليتحولان إلى تجويفين أوسع بقطر عدة مليمترات. يتمكن هذان العضوان ـ التجويفان من اكتشاف موضع الفريسة ذات الدم الحار وتحديد موضعها

بحيث يمكن للأفعى أن تضرب فريستها بدقة حتى في الظلام. لكن ما يزال من غير الواضح تماماً كيف يعمل هذان العضوان ـ التجويفان ربما جزئياً لأن أفعى القايبر عدوانية في الغالب وعضتها قاتلة، وكذلك تملك أفعى البوا العاصرة والأناكوندا والبيثون أجهزة إحساس بالحرارة ذات حساسية مفرطة، فأفعى البوا العاصرة قادرة على اكتشاف، وبشكل تلقائي تقريباً، ما يصل بضآلته إلى واحد من عشرة ملايين من الحريرة في السنتمتر المربع. وهذا يعادل اكتشاف الحرارة المنبعثة من مصباح كهربائي بقوة مئة واط (أو، بالحقيقة، إنسان) على بعد نحو 40 متراً. كذلك توجد أجهزة إحساس بالأشعة تحت الحمراء في الجانب السفلي من خنفساء النار Melanophila التي تضع بيوضها في الغابة المحترقة حديثاً. فالخنافس البالغة تنجذب لنيران الغابات في أعداد كبيرة، تهديها الحرارة نفسها إلى مصيرها. وهي حساسة تجاه هذه الحرارة إلى حد يمكنها معه أن تكتشف وجود نار على بعد 50 كم.

المشي على النار وما شابه ذلك

النار صديق مدهش وعدو مميت. والطفل سرعان ما يتعلم أن لهبها اللامع المتراقص يدل على الخطر. والخوف من «فرن ناري حارق» يستخدم في أقاليم عديدة لضمان خضوع التابع وتبعيته. سواء في الدنيا أو الآخرة. كما أن محاكم التفتيش الإسبانية كانت تعتقد أن الموت على المحرقة كان ضرورياً لتطهير الآثمين غير التائبين من آثامهم وبذلك تخلص أرواحهم من اللعنة، في حين أن مجرد ذكر الجحيم يستحضر معه صور النار دائمة الاشتعال. إن انبهارنا بقدرة مشاة النار وهم حفاة الأقدام على موقد من الجمر الأحمر دون أن يصيبهم أذى، إنما هو مستمد، ليس فقط من تصور الألم بل أيضاً ممّا يرتبط بذلك من موروثنا الثقافي. والحقيقة، يمكن للمشي على النار أن يبدأ كوسيلة لتقدير إثم الآثم أو اختبار الإخلاص والقوة الروحية للمترهبن.

مخلوقات النار

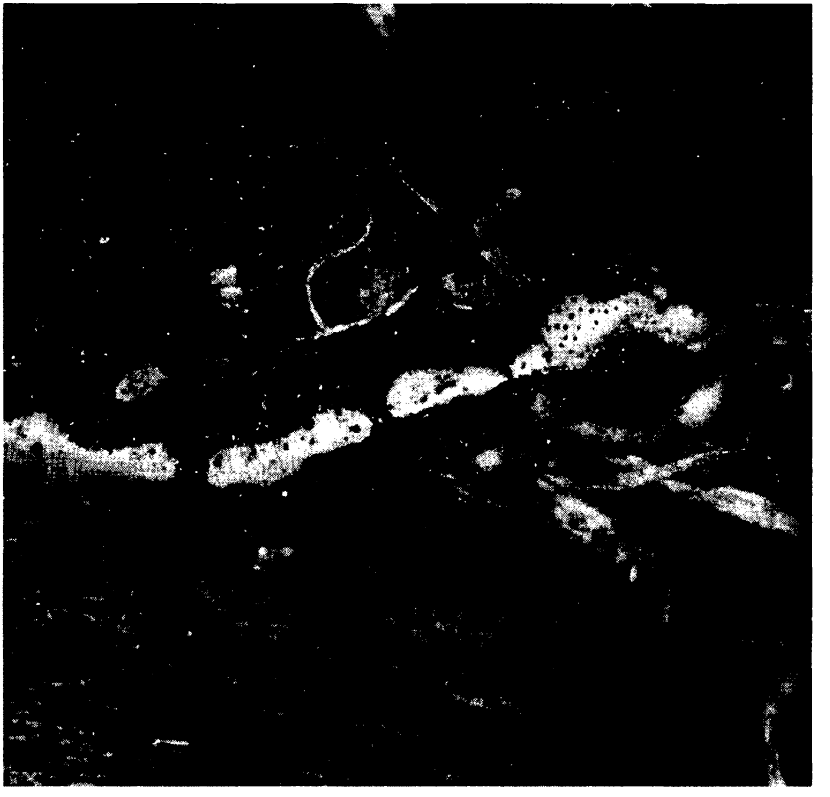
العنقاء طائر عربي مشهور، سمي كذلك للونه الأرجواني المحمر الرائع، وقد زعموا أنه يعيش أكثر من 2500 سنة، لكن حين تدنو منيته يبني لنفسه محرقة جنائزية من خشب البخور والمر ثم يتجه باتجاه الشمس ويندفع إلى قلب اللهب. بعد تسعة أيام تخرج عنقاء جديدة من رماد الطائر القديم. وفي العصور القديمة كانت العنقاء تقدم دعماً قوياً لفكرة بعث المسيح، ذلك أنه إذا كان لدى مجرد طائر القدرة على أن يموت ثم ينبعث للحياة ثانية، فكيف يمكن للمرء أن يشك في قدرة الرب على فعل ذلك؟

أصل أسطورة العنقاء ليس واضحاً، غير أن ت.هـ. وايت يشير إلى أنها ربما نشأت من عادة التضحية الاحتفالية لمالك الحزين الأرجواني من قبل الكهان المصريين في هليوپوليس، وذلك كرمز مقدس للشمس التي تموت ليلاً لتبعث من جديد في الصباح بما يشابه حال مالك الحزين. مع ذلك، ثمة فكرة أخرى هي أنها ربما نشأت من حقيقة أخرى وهي أن بعض أفراد عائلة الغراب تتكوم أحياناً على حافة نار صغيرة ثم تمدّ ريش أجنحتها إلى الجزء الأبرد من اللهب، وقد ذهب الظن إلى أن هذا السلوك قد يفيد في حرق الطفيليات، في حين يحمي جلد الطائر من الحرارة غطاؤه الريشي.

غير أن العنقاء هي مجرد أسطورة وإن كانت أسطورة رائعة. لكن سمندل النار هو مخلوق حقيقي ذو جلد لامع رطب منقط بشكل دراماتيكي بالأصفر الفاقع والأسود الفاحم. وقد كان ينظر إلى هذا البرمائي الرائع بمزيج من الخوف والهلع في العصور القديمة إذ كان يظن أنه شديد السمية ويطفئ النار. ونظراً لأنه لم يكن يظهر إلاّ نهاراً أو بعد عاصفة هوجاء، فقد أصبح مرتبطاً بالبلل والرطوبة، هذا، إضافة إلى حقيقة أخرى، هي أن الناس كانوا يشاهدون السمادل تخرج من الجذوع الرطبة التي توضع على النار أو ربما أدى هذا إلى الاعتقاد القديم بأنها تطفئ النار، أمّا «كتاب الحيوان»، وهو مؤلف لاتيني عن الحيوانات وعاداتها صدر في القرن الثاني عشر، يقول:

«السمندل أخذ اسمه هذا لأنه يتغلب على النار... إنه الحيوان الوحيد الذي يطفئ اللهب ويقضي على النار. وهو، بالحقيقة، يعيش في وسط النار دون أن يصاب بأذى ودون أن يحترق، وليس ذلك لأن النار لا تحرقه وحسب، بل لأنه عملياً يطفئ النار ذاتها».

أرسطو نفسه كتب شيئاً مماثلاً، أمّا پلايني فقد كان أكثر من تجريبي، إذ إنه اختبر الفرضية بوضع سمندل في اللهب، وبالطبع، احترق المخلوق سيِّئ الحظ وصار رماداً، لكن رغم الدليل الذي رآه بأم عينه، فقد ظل پلايني ينشر الأسطورة التي تقول إن السمندل قادر على إطفاء النار.



يخبرنا ت.هـ. وايت، في حاشية لترجمته الرائعة «كتاب الحيوان»، أنه كان لدى أمبراطور الهند بذلة مصنوعة من جلود ألف سمندل وأنه كان لدى البابا ألكسندر الثالث سترة قصيرة مصنوعة منها ولدى پريستور جون رداء من تلك الجلود، إذن، من المفترض أنهم كانوا يعتقدون، كما كان كاكستون يعتقد «أن لهذا السمندل صوفاً تصنع منه الثياب والأحزمة التي لا يمكن أن تحترق بالنار». والحقيقة حين اكتشف الحرير الخصري، ذهب الظن إلى أنه هو نفسه صوف السمندل الناري.

لا تتميز الخنفساء القاذفة بتحملها للنار وحسب، بل باستخدامها للحرارة كسلاح دفاعي، فحين تثار، تطلق رشاشاً كاوياً إلى درجة عالية، من بخار شديد الحرارة ممزوج بما فوق أوكسيد الهدروجين، على مهاجمها الذي لا يشك بشيء. ينتج هذا البخار المؤذي زوج من الغدد في بطن الخنفساء، كل منهما تتألف من حجرتين، إحداهما ملأى بمحلول سائل من بروكسيد الهدروجين والهدروكينون الكيماويين، والأخرى تحوي مزيجاً من الخمائر. حين تخاف الخنفساء، تدفع بالخمائر من مكانها إلى الحجرة الأخرى. وهذه تحرص على تفاعل باعث للحرارة بين بروكسيد الهدروجين والهدروكينون، أمّا الطاقة الناتجة عن التفاعل فتسخن المحلول إلى درجة الغليان وبتدوير طرف بطنها. تكون الخنفساء قادرة على رش مهاجمها بدقة عالية. إن الألوان السوداء والصفراء الفاقعة لهذه الحشرات، إضافة إلى صوت الانفجار المسموع الذي يرافق كل إفراغ مثير، كله يساعد في تذكير أعدائها بأنها حشرة ينبغي تجنبها.

مع ذلك، ليس هناك شيئاً خارقاً للطبيعة فيما يتعلق بالمشي على النار، ولا هو يتطلب «حالة ذهنية» خاصة. السر فقط يكمن في ناقلية الخشب المنخفضة للحرارة والفترة القصيرة نسبياً التي تبقى فيها القدمان على تماس مع الجمر. فالخشب ناقل بالغ السوء للحرارة (وهو ما يفسر لماذا تزود المقلاة بمقبض خشبي) والفحم الخشبي، كعازل، أفضل بأربعة أضعاف تقريباً. هذا يعني أن القليل من الحرارة الكامنة في الرماد الحار ينتقل إلى القدمين وأن من الممكن للمرء أن يمشي على جمر درجة حرارته تبلغ حتى 800° مئوية وحتى مسافة 52 متراً، إذن، المشي على النار هو مسألة فيزيائية أكثر مما هو مسألة فيزيولوجية.

يمكن للإنسان، المزود بملابس واقية، أن يحتمل حرارة مفرطة الشدة. والعسكريون يزودون ببذلات «عدم الخوف» المصنوعة من طبقات عدة من صوف اللباد، طُوِّرت أصلاً لحماية الوقادين من الشرارات المتطايرة، ثم عدلت بحيث تحمي الجنود من حروق الوهج أو الاندفاعات الخاطفة للحرارة الشديدة الناجمة عن الانفجارات. إذ يغدو باستطاعة

الرجل، إذا ما لبس قفازات «عدم الخوف» أن يلتقط قضيباً من المعدن حامياً حتى درجة الاحمرار. كما أن المواد التركيبية المقاومة للهب، كالنوميكس مثلاً، يستخرج من قبل سائقي سيارات السباق والأشخاص الذين يعملون في صيانة معدات النفط لحماية أنفسهم من الحروق التي تسببها النار المندلعة، كذلك يرتدي رجال الأعمال المثيرة بزات مصنوعة من مواد مشابهة لتصوير المشاهد التي تلتهم فيها النيران الممثل. إذ يصبح بالإمكان، والمرء يرتدي بزة كهذه، أن يظل جسمه بارداً في قلب اللهب عدة ثوان.

لكن، بغير حماية، حتى الحرارة المعتدلة تقتل الخلايا، بل إن لمس قضيب حام عرضياً بإصبعك أو أي جزء من لحمك يترك عليه علامة بيضاء وذلك لأن خلايا الجلد تقتل. إن حروقاً سطحية صغيرة كهذه تسبب موت الطبقة العليا من خلايا الجلد، لكن إذا ما طال التعرض للحرارة أكثر، فإن إيذاء النسج الواقعة تحتها قد يحدث أيضاً، ويمكن أن يستمر الأذى والتلف بعد إبعاد المنطقة المتأثرة عن النار وذلك بسبب الحرارة التي تختزنها النسج، وهذا ما يفسر لماذا يعتبر العلاج الأفضل للحروق الصغيرة هو التبريد السريع بماء بارد أو بقطعة ثلج.

وعلى الرغم من أن خلايا الثدييات جميعاً تموت بدرجة حرارة تزيد عن الخمسين مئوية لفترة بضع دقائق، إلاَّ أن الإنسان يستطيع أن يتحمل درجة حرارة جوية أعلى بكثير فترات قصيرة من الزمن شريطة أن يكون الهواء جافاً جداً كما أثبت ذلك بكل وضوح السيد بلاغدين، كما أن كثيراً من الناس يعرفون هذا بالتجربة فالساونا تصل حرارتها عادة إلى 90° مئوية. إذ بينت التجارب أن بالإمكان تحمل درجات حرارية، في جو جاف، تصل حتى 127° مئوية مدة عشرين دقيقة بل هناك تقارير عن قصص نوادر تتحدث عن درجات حرارة أعلى حتى من ذلك، تحمَّلها أناس، لكن فترات من الزمن أقصر. وذلك لأن التعرق يبرِّد سطح الجلد إلى درجة أخفض بكثير من درجة حرارة الهواء وهو ما يفسر لماذا يمكن للهواء الحار جداً أن يسفع

شعرك وحاجبيك دون أن يصاب جلدك بأذى.

إن درجات الحرارة الشديدة للغاية، كتلك التي يواجهها المرء في الحرائق المندلعة، تعتبر خطرة أشد الخطورة. ذلك أن الهواء الحار يتلف الأغشية الرقيقة التي تبطن الرئتين ويبطل عمل جهاز تبريد الجلد، مما يؤدي إلى حروق شديدة. لكن لحسن الحظ، نادراً ما تتجاوز حرارة هواء الأرض الخمسين درجة مئوية، والحرارة التي تكون شديدة إلى درجة تحرق الجلد لا يواجهها الإنسان عادة إلاَّ مع النار. لكن على الرغم من أن بإمكان الإنسان أن يتحمل درجة حرارة في جو جاف أعلى من درجة غليان الماء فترة قصيرة من الزمن، إلاَّ أنه لا يمكنه تحملها للأبد. ذلك أن درجة حرارة الجسم ترتفع، مع الزمن، بصورة حتمية. فخلايا الدماغ بالغة الحساسية تجاه الحرارة الدرجة 42° هي كل ما يمكنها أن تتحمل ـ وزيادة بضع درجات في حرارة الدم يمكن أن يكون لها أثر شديد على وظائف الدماغ. لهذا، وعلى المدى الطويل، يمكننا القول إن قدرة الإنسان على التكيف مع الحرارة وتحملها يعتمدان على الأجهزة المنظمة للحرارة التي تضمن بقاء درجة حرارة الجسم دون الـ 42° مئوية.

قوام حار

الحرارة هي ناتج ثانوي للحياة، كما يتضح من سرعة تبرد الجسم بعد الوفاة. وكما كتب الفيلسوف جون لوك نحو 1666 «لا أحد يصبح أكثر سخونة حين يتوقف عن التنفس»، فإن التفاعلات البيوكيماوية التي تزداد خلايانا بالطاقة لا تكون كافية تماماً. وهي، بشأنها شأن محرك السيارة، تولد قدراً صغيراً من الحرارة كناتج ـ ثانوي. وهكذا، فإن الحرارة التي تخبئ الجسم، عند الراحة وفي مناخ دافئ، تكون كافية لتوفير الدفء الداخلي الذي نحتاج، لكن في المناخ البارد يمكن أن يكون الفاقد الحراري في البيئة المحيطة كبيراً إلى درجة تقتضي توفير دفء إضافي. بالمقابل، فإن القيام

بتمارين جسدية يمكن أن يحرص على إنتاج حرارة أكثر من خمسة أضعاف ويصبح من الضروري بمكان زيادة الفاقد الحراري زيادة كبيرة. كذلك هناك أمكنة كثيرة في العالم، تكون فيها درجة حرارة المحيط أكبر من حرارة الجسم وبالتالي يتعين تخفيض ما يكسبه الجسم من حرارة الجو إلى أدنى حد.

قبل أن تكون هناك طريقة لقياس حرارة الجسم، كان يظن أن تلك الحرارة تختلف من ناحية إلى ناحية أخرى في العالم وأن الناس الذين يعيشون في المناطق المدارية والاستوائية درجة حرارتهم أعلى من أولئك الذين يعيشون في الشمال المتجمد، بل أن جوهانز هاسل الذي كتب سنة 1578، قدم مصوراً عن مقدار الحرارة والبرودة التي يتوقع وجودما لدى الناس الذين يعيشون في مختلف خطوط العرض، وفي أوروبا العصور الوسطى، كانت ممارسة الطب تقوم أساساً على نظرية جالينوس الكلاسيكية التي تزعم أن الجسم يحتوي أربعة أمزجة رئيسية (Humour) «وهذه الكلمة مأخوذة من الكلمة اللاتينية (Umor) وتعني السائل». هذه الأمزجة أو السوائل، هي الدم، البلغم، المرارة السوداء والمرارة الصفراء. لهذا، فإن درجة حرارة كل شخص، وهي الكلمة التي تستخدم بصورة مرادفة لدرجة حرارة الجو، إنما يحددها خليط هذه الأمزجة لدى كل فرد، فهيمنة الدم تؤدي إلى المزاج الدموي، البلغم طبيعة بلغمية، المرارة السوداء تسبب المزاج السوداوي، والصفراء المزاج الصفراوي والإنسان يكون سليماً صحيحاً، إذا ما كان مزيج هذه العناصر متوازناً. لكن نظراً لأن هذا التوازن يختلف من شخص إلى آخر، ينتج عن ذلك أنه ليس لكل جسم درجة الحرارة ذاتها. وبالتالي، ما يمكن أن يبدو وكأنه حمى لدى فرد ما قد يكون حرارة عادية لدى آخر. «من الواضح»، كتب السير وولتر رالي، في إحدى ملاحظاته سنة 1618، «أن الناس يختلفون كثيراً بالنسبة إلى درجة حرارة أجسامهم». كذلك علق السير فرانسيس باكون قائلاً: «هناك أشخاص

بدرجات الحرارة كلها». وإذا كنا ما زلنا نتكلم عن أشخاص ذوي دم بارد فإنها الحقيقة التي ورثناها من هذا المعتقد القديم».

مع ذلك فإن البشر شأن الثدييات الأخرى، هم عبارة عن حافظات حرارة تحافظ على حرارة الجسم ثابتة بغض النظر عن درجة الحرارة الخارجية. هذا يعني أنه ينبغي إقامة توازن دائم بين معدل إنتاج الحرارة ومعدل فقدانها. لهذا السبب، تكون الحياة في المنطقة الحارة مسألة تخفيض للناتج الحراري وزيادة للفاقد الحراري. أمّا الطريق الثالث ـ أي اختزان الحرارة داخل الجسم لعرضها فيما بعد، وذلك بالسماح لدرجة حرارة اللب بالارتفاع ـ فهو ليس خياراً متاحاً للبشر، بل تستخدمه، أحياناً، حيوانات أخرى، كما سيناقش لاحقاً.

التبرد

تخفف جميع الحيوانات، بما فيها البشر، من شدة الحرارة بواسطة مكيفات سلوكية تتضمن الخمول والبحث عن الظل. كما يخفض مقدار الطعام المتناول، نظراً لأن عملية الاستقلاب تولد حرارة فيما يصبح الطعام ذو المحتوى العالي من الماء ذا جاذبية متزايدة، كما تصبح أيضاً مفضلة المثلجات، الفواكه، الخيار والقثاء والأكواب الباردة الطويلة من شراب الليمون وقت الصيف. وبما أن النشاط العضلي يولد مقادير كبيرة من الحرارة. فإن العمل اليدوي يقتصر على بداية النهار ونهايته. حين يكون الجو أبرد قليلاً، لهذا فإن كثيراً من الناس يأخذون قيلولة ظهيرة طويلة ـ ما عدا، طبعاً، الكلاب المسعورة المشهورة والإنكليز الذين يسخر من حبهم لشمس الظهيرة نويل كاوارد، رغم أن أغنيته ليست مجرد خيال. فالراجا البريطاني في الهند كان يعتقد فعلاً أن ممارسة الرياضة الجسدية ضرورية لمنع الإصابة بالأمراض الاستوائية وكان الجميع، رجالاً ونساء على حد سواء، يمارسون نوعاً من الرياضة عصراً. وربما كانوا يقدرون كل التقدير الرشاقة

الجسدية التي كانوا يحافظون عليها، لكن الركض هنا وهناك تحت الشمس وهم يلعبون التنس أو البولو جعلهم يتعرضون لخطر الإصابة بضربة الشمس.

ينظم الناس ملابسهم أيضاً وكذلك مساكنهم، ودرجة تعرضهم للشمس في المناخ الحار. وخلافاً للسياح، فإن سكان الصحارى الأصليين غالباً ما يرتدون طبقات عدة من الثياب الواسعة الفضفاضة التي تغطي الجسم تماماً. كذلك فإن للجمال وحيوانات الصحارى الأخرى وبراً كثيفاً، وبصورة خاصة على ظهورها. الأمر الذي قد يبدو محيراً في البداية لكن إذا أمعنا النظر نجد أن ثمة تفسيراً بسيطاً. فالوبر والملابس واقية شديدة الفعالية من الحرارة ذلك أنها توفر طبقة عازلة، وظيفتها إبقاء الحرارة خارجاً حين يكون المحيط أكثر حرارة من الجسم. فالجمل مقصوص الوبر يتطلب ماء أكثر بكثير لأنه يكسب حرارة بسرعة أكبر، وبغض النظر عن توفير الإنعاش لك، فإن خلعك ملابسك يجعل جسدك أكثر حرارة بأسرع وقت. هنا الثياب الفضفاضة أفضل نظراً لأنها تتيح للتيارات الهوائية الجارية إمكانية تبخير العرق وفي الوقت نفسه توفر الحماية من شمس الصحراء الحارة.

لقد طورت الحيوانات سلوكات ملحوظة كثيرة لتفادي شدة الحر. فالعلجون الناميبي، وهو أحد البرمائيات الصحراوية القليلة، يقبع طوال النهار واضعاً نفسه تحت بضع بوصات من الرمل، حيث درجة الحرارة أدنى بكثير مما هي على السطح ثم لا يظهر إلاّ بمجيء الليل وبرودته. أمّا نحل العسل فيستخدم استراتيجية مختلفة، إنه يستخدم التبريد بالتبخر للحفاظ على درجة حرارة يرقاته النامية بصورة ثابتة وهي 35° مئوية. فإذا ارتفعت درجة الحرارة كثيراً داخل الحلبة، نشرت النحلات قطيرات الماء على سطح قرص الشهد ثم بدأت تهوي بأجنحتها بغية إيجاد تيارات هوائية تستبدل الهواء الرطب الحار ليحل محله هواء جاف أبرد. هناك حيوانات أخرى تتحمل حر الصيف الشديد باللجوء إلى حالة من الحذر الشديد يعرف باسم التصيف، حيث ينخفض معدل الاستقلاب انخفاضاً مذهلاً. إنها، بلجوئها إلى نقطة ظليلة أو

يلبس الطوارق، مثل معظم سكان الصحراء، الملابس الطويلة التي تغطي الجسم تماماً.

أخدود تحت الأرض، لا تفعل شيئاً سوىٰ الانتظار، وبكل بساطة، إلى أن يأتي وقت أفضل.

على المنوال نفسه، كان الناس، عندما لم يكن هناك مكيفات، يبنون مساكن تحت الأرض هروباً من الحر: فالمغول تراجعوا لكي يبردوا «التيخانا» (الأقبية)، ومساكن متماتا في الصحراء الكبرى تقع على عمق 10 أمتار تحت الأرض، والناس في البلدة الصحراوية الأسترالية، كوبر بيدي، المشهورة بمناجم الأوبال (حجر كريم) كانوا يعيشون أيضاً في مساكن تحت الأرض (ما يزال بعضها صالحاً). بل حتى في المناخات الأقل رعباً، فإن العمارة الشاقولية تعكس الحاجة لتخفيض شدة الحر. ولاقطات الريح كانت

ذات مرة تزين سقوف حيدر أباد في باكستان لكي تلتقط أنسام العصر العليلة وتدفع بها داخل الغرف. أمّا البيوت اليابانية التقليدية فإنها مصممة بحيث تكون الجدران مائلة إلى الخلف كي تعرض البيت للتبريد بالرياح. وفي ريف دورسيتشاير، حيث ترعرت كانت جدران البيوت تبنى من الخضار المشوي والقش، يعرف باسم اللبن، غالباً ما تصل سماكتها إلى القدمين، وفي أيام الصيف الحارة التي أتذكرها جيداً من طفولتي. فإن خصائصها العازلة كانت توفر ملاذاً بارداً من الحر.

التعرق

على الرغم من أن سلوكك يمكن أن يخفض المعدل الذي يمتص به جسدك الحرارة من محيطك، فإن الحرارة التي ينتجها الجسم نفسه ينبغي طرحها. هنا يخدم الجلد باعتباره عضواً رئيسياً في عملية التنظيم الحراري لدى الإنسان. فالحرارة التي تولدها العضلات والأعضاء الداخلية الأخرى ينقلها الدم إلى الجلد، في حين يقوم بتنظيم الفاقد الحراري إلى المحيط اختلاف مقدار الدم الذي يتدفق عبر شبكة الأوعية الدموية الدقيقة التي تمتد قريباً من سطح الجلد. إن الارتفاع في درجة الحرارة يؤدي إلى تمدد هذه الأوعية الدموية السطحية ويدفع بالدم الدافئ أقرب وأقرب إلى البشرة، وهو ما يزيد الفاقد الحراري. الأمر الذي يفسر توهج البشرة الذي يحدث حين تكون حران. والعكس صحيح، حين تهبط حرارة الجسم فإن الأوعية الدموية السطحية تتقلص وتنكمش، وبالتالي يفضل الدم الجريان باتجاه الأوعية الأعمق بحيث يتم الاحتفاظ بالحرارة. أي ببساطة، جهاز تنظيم الحرارة في الجسم هو نسخة أكثر تعقيداً من جهاز تبريد المحرك في السيارة، حيث القلب يحل محل مضخة الماء. والدم يقوم مقام المبرد الدوار والجلد مقام المشع الحراري.

يفقد الجلد الحرارة بعمليات أربع: الإشعاع، التوصيل، الحمل

الحراري، وتبخر العرق. فالإشعاع، أثناء الراحة في هواء ساكن، يكون مسؤولاً عن 60٪ من فقدان الحرارة، أمّا التوصيل والحمل فيسهمان بنحو 20٪ (أو أكثر حين يكون هناك رياح). وطالما حرارة الجلد أقل من حرارة لب الجسم فإن عمليات الإشعاع، التوصيل والحمل تكون كافية لتبريد الجسم إنها تتيح إمكانية الحفاظ على حرارة الجسم. في الهواء الساكن بدرجة حرارة أقل من 32° مئوية.

لكن ثمة أماكن أخرى كثيرة على الأرض، الحرارة السائدة فيها أعلى من حرارة الجسم وبالتالي فإن هذه العملية نفسها أي الإشعاع التوصيل، والحمل ستعمل على امتصاص الحرارة من الخارج أي تزيد من شدة حرارة الجسم. خلال حرب الخليج الأولى، أبحرت كثير من السفن إلى الخليج العربي عبر مضيق هرمز حيث كانت درجة الهواء الخارجي تتجاوز 47° مئوية والرطوبة عالية جداً. تلك الحرارة، تحت السماء الصافية، وأشعة الشمس الباهرة وانعكاس الأشعة على الماء، لم تكن تحتمل. وحين لبس الجند ملابسهم المضادة للحريق وبذلات عملهم لم يكن باستطاعة طاقم الرشاشات أن يثبت على متن السفينة أكثر من عشر دقائق. كذلك فإن المدنيين لا يمرون دون تأثر. ففي كل سنة يتوجه آلاف الحجاج إلى مكة المكرمة حيث معدل حرارة الجو يزيد على 40° مئوية، فيهلك الحر كثيراً من أولئك الحجاج.

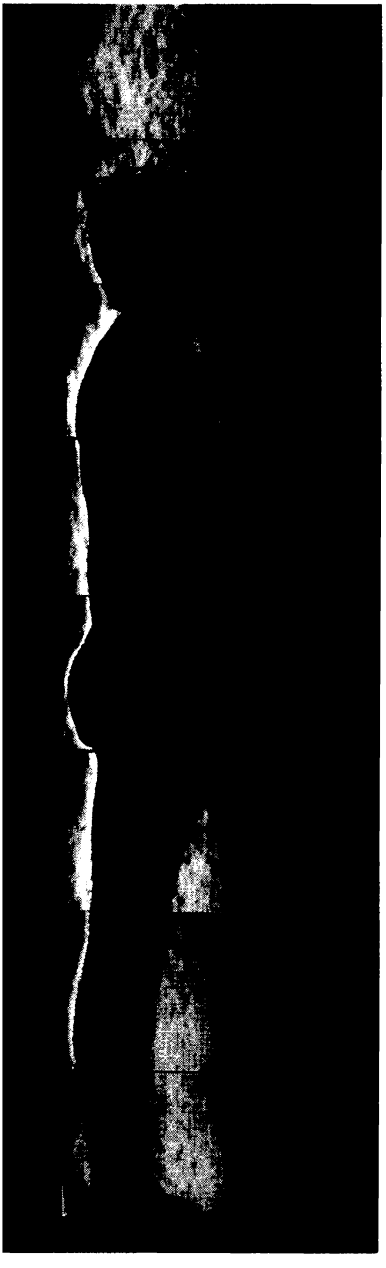
فيزياء انتقال الحرارة

الحرارة هي طاقة حركة الجزيء. تحدد حرارة الغاز السرعة المتوسطة للجزيئات التي يتكون منها: فكلما كانت حركة دوران الجزيئات أسرع كانت حرارته أعلى، وكلما كانت حركتها أبطأ كانت حرارته أدنى. تكون الجزيئات المكونة، في الأجسام الصلبة، مترابطة بعضها ببعضها الآخر وغالباً ما يتصورها العلماء على شكل مجموعات من النوابض المترابطة معاً. فكلما ارتفعت درجة الحرارة ازداد المدى الذي تهتز فيه النوابض وتتحرك. وكلما انخفضت الحرارة قل المدى الذي تتحرك فيه النوابض وتهتز. في درجة الصفر المطلق (273° ـ مئوية) تنعدم الحركة تماماً، وقد تتساءل متعجباً لماذا كان هذا هو المحدد الأساس ـ لأنه، بالتأكيد، وحسب التعريف، عند الصفر المطلق لا تحدث أي حركة. سبب هذا ليس نفسه سبب الحالة التي تنجم عن أوهام الفيزياء الكمية التي تذكر أنه من غير الممكن التكهن بوضع جزيء بدقة تامة كما تتكهن في الوقت نفسه بقوته الدافعة (وهذا المبدأ الشهير الذي قال به هايزنبرغ) إذ كلما حاولت أن تتكهن بدقة أكثر موضع الجزيء ومكانه فعلاً، يتعين عليك أن تكون أكثر ريبة حول مقدار الزخم الذي يملكه والعكس بالعكس. نتيجة لذلك، يتضمن مبدأ هايزنبرغ أنه يتعين على جزيئات جسم صلب أن تتحرك دائماً ولو قليلاً، حتى في درجة الصفر المطلق.

تنتقل الحرارة من جسم إلى آخر بالتوصيل، الحمل والإشعاع. فالتوصيل هو العملية التي تنتقل فيها الحرارة بين شيئين هما على تماس مباشر، كالجلد والهواء مثلاً، فإذا ما كانت درجة حرارتهما مختلفتين، ستنتقل الحرارة من الأكثر حرارة إلى الأقل، أي ببساطة، ستضخ جزيئات الجسم الأكثر حرارة إلى الجسم الأبرد ليزداد معدل حركتها. رغم أنها في الوقت نفسه ستخفض من سرعتها هي. تعرف السهولة التي تنتقل بها الحرارة عبر الجسم باسم: الناقلية الحرارية: فالخشب ذو ناقلية أدنى بكثير من النحاس وهو ما يفسر لماذا تزود مقلاة النحاس بمقبض خشبي، أمّا العزل ـ أي مقاومة تدفق الحرارة، فهو عكس الناقلية. يتصف الهواء والريش بناقلية حرارية متدنية (أو قيمة عزل عالية) وهو ما يفسر لماذا يمكن للريش الذي يصنع على شكل طبقات يتخللها الهواء أن يصبح حافظاً ممتازاً).

يزداد انتقال (الحرارة في السوائل (الماء أو الهواء) بعملية الحمل الحراري. وأفضل ما يفسر هذه العملية هو أن تتصور أنك غطست فجأة في حمام ماء بارد. فالماء الذي يلامس جلدك سيسخن تدريجياً وإذا استبدل ذلك الماء بماء بارد جديد ستبدأ العملية نفسها مرة ثانية لتسخين المزيد من الماء (وبالتالي تبريد جسدك). هذه العملية التي يتم فيها باستمرار إبدال الماء الملامس لجلدك تعرف باسم الحمل الحراري وتنتج عن حقيقة معروفة وهي أن الماء الساخن يرتفع إلى الأعلى (لأنه أخف). أمّا الفروق الحرارية في ماء الحمام فتعني أن هناك دوراناً مستمراً للماء يرتفع فيه الماء الدافئ وينزل الماء البارد. مع هذه التيارات الدوارة يتبدل باستمرار الماء الملامس لجلدك ويسهل انتقال الحرارة.

لقد تم، وبكل بساطة، تفسير الحمل الحراري والتوصيل، لكن العلماء وقفوا إزاء طبيعة الإشعاع قروناً من الزمن حائرين. ذلك أنه تنبعث من الأجسام كلها أشعة كهرطيسية وبقدر ما تكون أكثر حرارة، يكبر مقدار الإشعاع الذي ينبعث على كامل نطاق الطيف الكهرطيسي، لكن قمة الانبعاث هذا تتوقف على حرارة سطح الجسم وتتغير باتجاه الموجات الأقصر طولاً حين يحمى الجسم أكثر.



صورة ضوئية أخذها شلايرن لرجل ، يظهر فيها عمود الهواء الدافئ الصاعد أعلى والذي يحيط بنا باستمرار.

يحدد طول الموجة ما إذا كان بإمكاننا أن نرى الإشعاع أو لا نراه على شكل لون أو نشعر به كحرارة. فالإشعاع ذو الموجة الطويلة يكون غير قابل للرؤية بل نلحظه فقط كحرارة: مثال على ذلك، يظل بإمكانك أن تحس بحرارة النار التي توقفت عن التوهج منذ زمن طويل، ويعرف هذا باسم الأشعة تحت الحمراء. لكن حين تزداد درجة حرارة الشيء، فإن طول الموجة، حيث معظم الإشعاع ينبعث، يتغير متحولاً إلى النطاق المرئي ويبدأ الشيء بالتوهج. المظهر الأول له هو اللون الأحمر المعتم، ثم يتغير اللون من الأحمر إلى الأصفر فالأبيض (ومن هنا عبارة حام حتى الابيضاض) وذلك طبقاً لارتفاع درجة حرارة الشيء والمعدل الذي يقصر به طول الموجة، وبإمكانك، التوقع أن يتغير اللون تبعاً لألوان الطيف ويتحول من الأصفر إلى الأخضر فالأزرق. لكن يتضح ببساطة أن هذا ليس هو الذي يحدث حين نحمي محراكاً من حديد. السبب (كما ذكرنا سابقاً) هو أن المحراك يبقى في الآن نفسه ضوءاً على كامل نطاق الطيف الكهرطيسي، ووحده طول الموجة الذي يحدث به انبعاث الذروة هو الذي يتغير مع تغير درجة الحرارة، الأبعد من ذلك هو أن المقدار الإجمالي للإشعاع المنبعث يزداد ازدياداً كبيراً مع ازدياد درجة الحرارة وبذلك تنبعث أيضاً أشعة ذات موجات طويلة أكثر بكثير. من هنا، فإن الضوء المنبعث من المحراك هو مزيج من أمواج ذات أطوال شتى، لهذا تبدو بيضاء، كضوء الشمس، والمحراك الحامي حتى درجة الابيضاض يكون أشد حرارة بكثير من قضيب أحمر معتم الحمرة أو من جمرات نار على وشك الانطفاء.

تبلغ حرارة سطح الشمس نحو 6300° مئوية وتبعث أشعة مرئية طول موجتها الذروة نحو 0,5 ميكرومتر. الأمر الذي يفسر لماذا تبدو تلك الأشعة لامعة، إلى حد الإبهار. كذلك فإنها ترسل أشعة ذات أمواج أطول وتوفر الحرارة التي تحافظ على كل حياة على الأرض. يطلق أيضاً جسم الإنسان، الذي تبلغ درجة حرارته 37° مئوية، أشعة طول موجتها الذروة هو 10 ميكرومتر وهو يظل خارج نطاق الرؤية تماماً. لكن، إذا ما تم عزل المحيط جيداً، يصبح بالإمكان أن تحس بالحرارة المنبعثة من كائن بشري آخر (في الفراش، مثلاً). وبشكل عرضي، من الجدير أن نلاحظ أن حرارة الشمس تزيد بمقدار 20 ضعفاً عن حرارة جسم الإنسان على مقياس كيلڤن (6600° ك مقابل 300° ك) وأن ذروة طول موجة الأشعة المنبعثة أقصر نحو عشرين مرة مما هو لدى الإنسان، وهو ما يوضح أن ذروة طول الموجة يتناسب بكل بساطة مع درجة الحرارة.

والحرارة، شأنها شأن الضوء، يمكن أن تنظر إليها كموجات أو كجسيمات (تعرف باسم فوتونات) على حد سواء. ولكي نفهم كيف يحدث انتقال الحرارة المشعة ـ ولماذا يمكنها أن تعبر هذا الفضاء الفاصل بين الشمس والأرض ـ قد يكون من المفيد أن ننظر إلى الحرارة باعتبارها فوتونات تمتصها أو تبعثها ذرات جسدك.

فالذرة هي أشبه بمنظومة شمسية مصغرة. في القلب منها، هناك النواة التي يدور حولها إليكترون أو أكثر. تفصل الإلكترونات عن النواة فواصل محددة دقيقة، تماماً مثلما تفصل مدارات الفلك الكواكب عن الشمس. عند هذه النقطة، ينتهي التماثل لأن المدار الذي يجد الإلكترون نفسه فيه يتوقف على طاقته، لذا يمكن للإلكترونات أن تقفز من مدار إلى مدار آخر تبعاً لما إذا كانت تمتص طاقة أو ترسل طاقة. يمكننا هنا أن ننظر إلى هذه الطاقة على شكل فوتونات أو جسيمات ضوئية. إن قفزها إلى مدار خارجي إنما يحدث بسبب امتصاص فوتون، في حين ينبعث فوتون حين ينزل الإلكترون راجعاً إلى مدار أدنى.

تمتص الجزيئات الأشعة وترسلها إلى الذرات بطرق مختلفة: تزيد أو تنقص مقدار اهتزازها. تنتقل الفوتونات عبر الهواء بسرعة الضوء (186000 ميل في الثانية). أمّا الأشعة التي تصل من الشمس فتمتصها الجزيئات في جلدنا معززة اهتزازها ومسخنة إياها أكثر. تسبب فوتونات الأشعة فقدان الحرارة حين يتناقص مقدار اهتزاز الجزيء. إن جسدك وأنت تقرأ هذا، يشع فوتونات إلى العالم من حولك. إنك في حالة دائمة من التبادل الثنائي؛ تشع فوتونات وتأخذ فوتونات من الناس أو الأشياء في الغرفة، حيث تجلس.

عندما تكون حرارة الجسم أعلى من حرارة الجو تكون الطريقة الوحيد لفقدان الحرارة هي التعرق. وهذا يقوم على المبدأ نفسه الذي يتم به تبري النبيذ بالفخار ويستغل حقيقة معروفة، هي أن تحويل الماء السائل إلى بخا ماء يتطلب قدراً كبيراً من الحرارة. يستخدم، في حرارة الجسم العادية، نح 2400 حريرة لتبخير كل مليمتر من الماء من درجة التجمد إلى درج الغليان[1]. معظم هذه الحرارة، يأتي من الجسم نفسه لهذا فإن تبخر العرق

(1) الحريرة، أو الكالوري، هي مقدار الطاقة المطلوب لرفع درجة حرارة غرام واحد من الما درجة مئوية واحدة. ولأن هذا الكم يتفاوت قليلاً حسب درجة الحرارة والضغط، فإن م

يبرد الجلد، نتيجة لذلك. فإن الدم الجاري عبر الجلد يبرد، وخلال دورانه إلى اللب الأكثر حرارة يساعد في تخفيض حرارة الجسم.

يوجد في جسم الإنسان نحو 3 بلايين غدة عرقية، نصفها تقريباً موجود في جلد الصدر والظهر. وهناك أعداد كبيرة منها أيضاً على الجبهة والراحتين. إن من السهل عملياً أن ترى المسام واحدة واحدة وذلك بدهن جلدك بزيت واقٍ من الشمس والجلوس تحت الشمس الحارة بضع دقائق. إذ ما إن يسخن الجلد حتى تبدأ قطرات العرق بالظهور، كل من فوهة غدّة عرقية بذاتها. فالطبقة الزيتية تخفض معدل تبخر الماء وتجعل من الأسهل رؤية العرق (على أن عدسة تمسكها باليد ستجعل الأمر أوضح حتى).

يحرض هرمون الأدرينالين على التعرق، والأدرينالين يطلقه الجسم حين ترتفع حرارته. كذلك يزيد التوتر من إطلاق الأدرينالين وهو ما يفسر لماذا نعاني من تعرق الراحتين والجبهة عند الخوف. ثمة مثل قديم يقول: «الخيول تتبلل بالعرق، الرجال يتعرقون أمّا النساء فيتوهجن) وعلى الرغم من أنه ينظر إلى هذا القول على أنه مجاملة ڤكتورية، إلاّ أن ثمة شيئاً من الحقيقة في هذا القول نظراً لأن النساء يفرزن نحو نصف العرق الذي يفرزه الرجال حين التعرض لدرجة الحرارة ذاتها. كذلك، هناك تباين لا بأس به في التعرق من عرق إلى آخر. فسكان غينيا الجديدة، مثلاً يتعرقون أقل من النيجيريين أو السويديين.

يمكن أن يزيد التعرق من الفاقد الحراري بمقدار عشرين ضعفاً تقريباً، لكن فقط على حساب الماء الضروري للجسم، وذلك إلى حد يصل إلى الـ

الأدق أكثر تعريفها بأنها الطاقة المطلوبة لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء من 15° إلى 16° درجة مئوية. وهي بالضبط واحدة من ألف حريرة تستخدم لحساب المحتوى الغذائي للطعام. ويشار إليها على نحو أكثر دقة بالكيلو كالوري. أمّا الطاقة التي تستخدم لتبخير الماء فإنها تنطلق على شكل حرارة عندما يتكاثف البخار، وهو ما يفسر لماذا يسبب البخار حروقاً أكثر شدة من الماء وبدرجة الحرارة ذاتها.

3 ليترات كل ساعة، لكن معدلات تعرق عالية كهذه لا يمكن أن يتحملها الجسم طويلاً، والمعدل العادي لفقدان الماء ولدى رجل يعمل في الحر هو 10 ـ 12 ليتراً في اليوم. وفي الجو الصحراوي الجاف، يمكن أن يتبخر العرق بسرعة كبيرة إلى درجة يصير معها الجلد جافاً. ضع راحتك على ذراعك ولسوف تجد أنها سرعان ما تتغطى بالعرق. بل حتى وإن لم تكن تشعر بالحر، يحدث فقدان الحرارة بالتبخر بمعدل نحو 0,8 ليتر من الماء كل يوم.

إن التبريد بالتبخر ذو أهمية بالغة للرياضيين. إذ يتمكن راكبو الدراجات في «سباق فرنسا» المرهق من ركوب دراجاتهم باستمرار صاعدين التلال فترات من الزمن تصل حتى الاثنتي عشرة ساعة، لكن في المختبر، غالباً ما يفاجأون ويصيبهم الغم حين يجدون أنهم لا يستطيعون تحمل المعدل نفسه من الممارسة حتى ساعة واحدة. ذلك أن الريح الرأسية، وهم على الطريق، تلك التي تسببها حركتهم إلى الأمام، تطرد بسرعة طبقة الهواء المجاورة لجلدهم وتعزز بصورة ملحوظة عملية التبريد بالتبخر، لكن على دراجة ثابتة في مختبر، تنخفض عملية الحمل الحراري هذه انخفاضاً شديداً. يرافق ذلك أن معدل الفاقد الحراري يصبح أقل، لهذا سرعان ما يصبح الدراج مرهقاً منهكاً. لكن إذا ما حركنا له نسيماً اصطناعياً بتدوير مروحة، فإن الدراج سيتمكن من الاستمرار مدة أطول. يمكن أن يكون الانخفاض المفاجئ للحرارة بواسطة التبريد بالتبخر وراء عدد من الحوادث التي يصاب فيها الدراج أو العداء فجأة بضربة حرارة إثر توقفه عن التمرين. ولعل التوقف السريع لحركة الهواء الحار بالجسم ينقص معدل الفاقد الحراري إلى درجة تكفي لحدوث ارتفاع هام في درجة حرارة الجسم. ولعل هذا أيضاً هو السبب وراء القاعدة المأثورة في أن الخيول يجب أن «تتبرد» تدريجياً بعد الجري لا أن تتوقف مباشرة.

إن غطسة سريعة في حوض ماء، في يوم حار، أو رشة ماء سريعة

تترك جسدك كله مغطى بقطيرات ماء وتساعدك في التبرد وذلك بتعزيز الفاقد الحراري بالتبخر. تستخدم الفيلة استراتيجية مماثلة وذلك بأن ترش بخراطيمها أو بعضها بعضاً بالماء. كما أن عدداً من حيوانات أستراليا طوّرت شكل عمل أكثر تكثيفاً لفقدان الحرارة بالتبخر. إذ إنها بدلاً من التعرق، تلحس نفسها لحساً شديداً معتمدة على أن تبخر لعابها يبردها. ليست هذه الطريقة، كما يمكن تصورها، طريقة تبريد شديدة الفعالية، كما أنها تبدو أشبه بالملاذ الأخير. ثمة طريقة أخرى يلجأ إليها لقلاق الغابات الذي يبول على قائمته كل دقيقة وبالتالي يزيد من التبرد بالتبخر. أمّا الكلاب، قرب المنازل، فتمد ألسنتها المرطبة من أفواهها وبذلك تسرّع الفاقد الحراري كما تلهث فينجم عن ذلك تبريد المجاري الأنفية وتسهيل الفاقد الحراري بالتبخر في المجاري العلوية.

يمكن للبشر أن يعيشوا مرتاحين في درجة حرارة محيطة أعلى من حرارة أجسادهم وذلك شريطة أن يكون الهواء جافاً إلى درجة كافية. لكن إذا كانت الرطوبة أعلى من 75 بالمئة فإن العرق يسيل من الجلد على شكل سائل دون أن يتبخر. في هذه الظروف يغدو التعرق مجرد فقدان ماء من الجسم دون أن يكون له أي أثر تبريدي، وهذا يفسر لماذا يكون اجتماع الحرارة الشديدة والرطوبة العالية ضاغطاً جداً. لقد كتب الحاكم إليز عن المناخ في جزر الهند الغربية وجامايكا يقول: «من الصعب على المرء أن يقول إنها حياة، لمجرد أن يتنفس ويجر جسداً مهدود الحيل، لكن هكذا عموماً هي حالتنا بدءاً من أواسط حزيران / يونيو وحتى أواسط أيلول / سبتمبر. على أن الشاعر الأسترالي ليز موراي حددها بصورة أشد بلاغة:

بشدة أمسكت بنا أنصاف ليالٍ

ملحية زنخة لطقس جهمني

لتلقينا على الرمل الرطب، ماسحة كل أثر لهواء...

حين تتلامس الجلود تبلل بعضها بعضاً

وحين يلمس الجلد أي شيء يبلله

كما يبلل نفسه بنوع من الاحتواء المتبادل

أمّا الرؤوس الخافقة بشدة فتغدو عرائش من هراء[2]

يجد معظم الناس صعوبة في تحمل درجة الحرارة 50 مئوية حين يكون الهواء مشبعاً بالرطوبة، لكنهم يجدون الحرارة الجافة بدرجة 90 مئوية لفترة قصيرة من الزمن مقبولة تماماً. وعلى الرغم من أنه قد يبدو حاراً تماماً كالساونا، إلاّ أن الحمام البخاري يكون دائماً أدنى حرارة من الساونا. يتضح من هذا كله أن التعرق يمكن أن يكون غير ذي تأثير على فقدان الحرارة إذا ما غطست في الماء. وهذا يعني أنه يمكن أن يكون مميتاً ـ بالمعنى الحرفي للكلمة ـ أن تبقى مدة طويلة في حوض استحمام عميق حرارته أعلى من حرارة جسدك. على أن أشد الحمامات اليابانية حرارة (الأونسن) تصل حرارته إلى 46 ـ 47° مئوية. إلاّ أن أقوى الأقوياء وأشجع الرجال لا يستطيع البقاء فيها أكثر من 3 دقائق، فيما معظم الناس لا يستطيعون أن يتحملوا إلاّ درجة الحرارة 43° مئوية.

يشعر الناس عادة بالإرهاق والإنهاك أول وصولهم إلى منطقة استوائية حارة، مع ذلك تحدث لهم درجة ما من التأقلم، فالجنود الذين نقلوا جواً من شمالي أوروبا إلى المملكة العربية السعودية خلال حرب الخليج الثانية، ظلوا طوال الأيام القليلة الأولى يشعرون بالتراخي والتخبط والإرهاق. وقد زادت التمارين من حالتهم سوءاً. لهذا سرعان ما غدوا مستنفدي القوى، وهي حالة غير مثالية بالنسبة إلى جيش. لكن خلال أسبوع أو نحو أسبوع، تأقلم الجنود مع الحر واستعادوا قوتهم وقدرتهم على الاحتمال. يعزى

(2) ليز. إ. موري «استرجاع الرطوبة».

التأقلم أساساً إلى التزايد الملحوظ في مقدار العرق المفرز مصحوباً بانخفاض في مقدار الملح الذي يحويه.

إبقاء الرأس بارداً

يواجه الظبي مشكلة خاصة. إنه يعيش في سهول أفريقيا الحارة والجافة، حيث الظل قليل، ووسيلته الوحيدة للهرب من الحيوانات المفترسة هي الجري أسرع منها حين تطارد. غير أن الجري يولد مقادير كبيرة من الحرارة، تصل حتى الأربعين ضعفاً لحرارته وهو في حالة الراحة. وبالتالي فإن الظبي الذي يجري يكون عرضة لخطر الإنهاك الحراري.

إن دماغ الثدييات حساس حساسية خاصة تجاه الحرارة، كما ذكرنا من قبل، فهو العضو الذي يموت أولاً حين ترتفع درجة حرارة الجلد. لهذا فإن الطريقة الوحيدة لتفادي فرط الحرارة هي إبقاء الدماغ بارداً حتى وإن ارتفعت حرارة بقية الجسم. إنها الاستراتيجية التي يتبناها الغزال والبقر الوحشي الذي يتحمل جسده حرارة تصل حتى 45° مئوية بكل رباطة جأش.

تمتلك هذه الحيوانات مبدلاً حرارياً وعائياً متخصصاً يعرف باسم «ريتي ميرابيل» (وتعني حرفياً الشبكة العجيبة) تبرد الدم الذاهب إلى الدماغ. فقبل أن يصل إلى الدماغ، يتفرع الشريان السباتي إلى شبكة من مئات التفرعات الصغيرة التي تتداخل وتختلط مع شبكة مشابهة من الأوردة الدقيقة التي تعيد الدم بارداً من المجاري الأفقية إلى القلب. يتم تصريف الحرارة من الشرايين الساخنة إلى الأوردة الباردة بحيث تنخفض حرارة الدم الداخل إلى الدماغ، وعلى الرغم من أن حرارة الجسم قد ترتفع ما يزيد على أربع درجات مئوية، إلاَّ أن درجة حرارة الدماغ لا تزيد إلاَّ أقل من درجة واحدة. بهذه الطريقة، يحافظ الغزال الذي يعدو بأقصى سرعته على دماغه بارداً ويختزن الحرارة الزائدة داخل جسمه إلى أن تنتهي أزمته، ثم تبدد هذه الحرارة المختزنة ليلاً بواسطة التوصيل أو الحمل الحراري. وبالتالي، فإن هذه

الاستراتيجية تحافظ أيضاً على الماء لأنها تخفض الحاجة إلى التعرق.

أهمية الحجم والشكل

إن حجم الجسم أمر مهم بالنسبة إلى التنظيم الحراري، إذ مثلما تذوب الكتلة الكبيرة من الجليد، حين تترك سليمة لا تمس، ببطء أشد مما هي الحال عندما تكسر إلى قطع، نظراً لأنه يكون لها مساحة سطحية بالنسبة للحجم أقل بكثير. كذلك فإن حيوان كبير الحجم يفقد الحرارة بسرعة أقل من حيوان أصغر. إن حيوانات ضئيلة الحجم، مثل الطائر الطنان والزّبابة (حيوان شبيه بالفأر يأكل الحشرات) يمكن أن يفقد الحرارة بسرعة كبيرة إلى درجة يعجز معها من الحفاظ على حرارة جسمه ليلاً. والعكس صحيح، فالحيوانات الكبيرة تكون عرضة لخطر فرط الحرارة إذا جرت في مناخ حار، لهذا فإن المطاردات في سهول أفريقيا هي دائماً نوع من جري المسافات القصيرة.

لقد لاحظ علماء الأعراق والآثار منذ زمن طويل أن أبعاد جسم الإنسان مترابطة مع درجة حرارة المحيط الذي نشأت فيه مختلف الأعراق البشرية وترعرت. إن الانتقاء الطبيعي هو الذي كوّن أجسامنا وبناها، بحيث إن الناس تكيفوا مع العيش في الأقاليم الباردة، كالأنويت في مناطق القطب الشمالي، حيث واحدهم قصير ممتلئ، ذراعاه، ساقاه، أصابع يديه وحتى قدميه قصيرة. فهذا يساعده في الحفاظ على الحرارة لأنه يضمن مساحة ـ سطح بالنسبة إلى الحجم ذات معدل منخفض. على أن الأعراق التي نشأت في بيئة جافة حارة، كسهول أفريقيا الاستوائية، تكون طويلة وناحلة وذات أطراف أطول بكثير. مثال على ذلك شعب الماساي والسامبورو اليوم الذين لا تخدم بنيتهم هكذا وحسب، بل كان هكذا أيضاً بعض أشباه الإنسان من الأوائل الذين كانوا يعيشون في المنطقة نفسها من أواسط أفريقيا. إن صبي الناريوكتوم ـ وهو أكمل هيكل عظمي للإنسان منتصب القامة وجد حتى الآن

ـ له، كما وصفه آلان ووكر وبات شيبمان بوضوح كبير، أطراف أطول حتى من الأفارقة الأحياء الآن. فكون المرء طويلاً يسهل فقدان الحرارة نظراً لأنه يوفر مساحة سطحية أكبر نسبياً لإفراز العرق، في حين أن التوصيل الحراري من أنسجة الجسم العميقة يتعزز إذا كان هناك قليل من الشحم تحت الجلد. لهذا السبب، فإن الشكل الطويل النحيل هو الشكل المثالي للمناخ الحار وهو ذو أهمية خاصة إذا ما كنت صياداً تحتاج إلى الجري للإمساك بغذائك، كذلك لدى الحيوانات طرق متطورة لزيادة مساحتها السطحية بغية تعزيز الفاقد الحراري. وهذه هي الوظيفة الرئيسية لأذني الفيل الضخمتين ولقوائم الطيور الدقيقة الطويلة الخالية من الريش.

غالباً ما يكون الطعام نادراً في الصحراء، لهذا فإن البشر والحيوانات الأخرى تختزن طبقات من الشحوم حين يكون الغذاء وافراً. لكن الشحوم عازل شديد الكفاءة والفعالية ويعيق فقدان الحرارة إذا ما تكدس متوزعاً تحت الجلد. نتيجة لذلك، يغلب على سكان الصحراء أن يختزنوا شحومهم في مكان بعينه. وسنام الجمل يخدم هذا الغرض إذا أنه ليس، كما يعتقد أحياناً، لاختزان الماء. على المنوال نفسه، فإن الهوتنتوت في جنوب أفريقيا يختزنون الشحوم بصورة رئيسية في أردافهم، وهي الحالة التي تعرف باسم التألي (تراكم الدهون في الإليتين)، بينما تكون لديهم أطراف نحيلة طويلة تسهل فقدان الحرارة. كذلك نجد التألي شائعاً لدى الأوروبيين والأمريكيين الشماليين مفرطي الوزن، لكنه لم يعد ذا قيمة تكيفية لدى شعب حسن التغذية أو في الأقاليم الأكثر برودة.

ضربة الحرارة

يموت في الولايات المتحدة كل سنة نحو 250 نسمة من ضربة الحرارة وفي السنين السيئة قد يصل الرقم إلى 1500 ونيف. فدرجة الحرارة في الغرب الأوسط ارتفعت في شهر تموز / يوليو 1998، أي ما يزيد عن 38°

مئوية وبقيت هكذا حتى في الليل طوال أربعة وعشرين يوماً، فقضى نحبه مئة وخمسون نسمة. وخلال موجة حر مماثلة، لكن أقصر، في السنة التالية مات خمسون نسمة في ليلة واحدة في مدينة شيكاغو وحدها. ذلك أن الإنسان في شروط مفرطة هكذا، يمكن أن يذهب إلى فراشه وهو حسن على ما يبدو، ولكنه يوجد ميتاً أو مريضاً مرضاً شديداً في الصباح التالي. إن إغلاق النوافذ خشية اللصوص يمكن بدلاً من ذلك أن يسرّع الأزمة الناجمة عن ضربة الحرارة. وكبار السن يكونون، وبصورة غير متناسبة، عرضة للخطر لأن تعرقهم يكون أقل، لهذا في موجة حر 1998، نصح كبار السن والفقراء بأن يذهبوا إلى أسواق التبضع المكيفة خلال النهار. أمّا الأطفال فقد حددت حركتهم في الداخل وأدخل نظام المناوبات الليلية لعمال من الخارج.

في مطلع القرن العشرين، كانت ضربة الحرارة تعتبر شكلاً من أشكال السكتة الدماغية الشمسية. إذ كان يظن أن ضوء الشمس يحتوي أشعة أكتينية خطرة يمكن أن تخترق الجمجمة وتصل إلى الدماغ حيث «تسبب ضربة الشمس». هذا أفضى إلى انتشار زي الخوذة الشمسية ولبادة العمود الفقري لإعاقة وصول الأشعة الشمسية. على أن بعضهم نادى بوضع صفيحة رفيعة من معدن خفيف في أعلى القبعة الشمسية. وإليزابيث هوكسلي في كتابها «العظاءة المرقشة» وهو وصف مثير لحياتها في كينيا كفتاة شابة بعد الحرب العالمية الأولى، أن المسافرين كانوا يلبسون: «لبادات عمود فقري مصنوعة من اللباد المنسوج مع مادة حمراء والمزرر إلى الجهة الخارجية من القميص. ذلك أن الشمس ما تزال تعتبر نوعاً من الحيوان المتوحش الخطر الذي يصرعك أرضاً إذا لم تأخذ حذرك منه كل دقيقة من اليوم ما بين الساعة التاسعة والساعة الرابعة.

كما أن وصفها لوصول ابن عم لها يدعى هيلاري، يقدم صورة أكثر وضوحاً، فقد كان ملفوفاً بطبقات من الملابس الواقية من ضمنها: قبعة

هندية ضخمة ربط بها لفاع أرجواني طويل ينساب نازلاً حتى أسفل الظهر. تحت هذا كان هناك لبادة ممتدة فوق العمود الفقري مصنوعة من جلد الكونغوني ومبطنة بالفانيلا الحمراء. أما الوجه فكان يختفي خلف نظارات سوداء كبيرة بارزة وفوق هذا كله، كان هناك مظلة شمسية مخططة ضخمة. لقد أسرع، وهو يمسك بالمظلة، إلى ظل الشرفة وبحذر بدأ يجرِّد نفسه من بعض حواشيه، قائلاً «قش فوق حديد ممتوج هي ذي خطوة في الاتجاه الصحيح، لكن يجب أن يكون هناك ما تبلغ سماكته الضعفين من اللباد المعيَّر بين الصفيح والقش. رغم ذلك لست أحسب أن باستطاعتي أن أغامر بعدة رأسي الأخف».

على أن اهتماماته لم تكن مقتصرة على نفسه فقط، فقد أنحى باللائمة على ابنة عمه، أم إليزابيث:

«هل تحسبين أنه شيء آمن أن نبقى على هذه الشرفة دون قبعة؟ وتلك «البلوزة» ـ ساحرة، لائقة، لكن هي لا شيء بالنسبة للحماية من الأشعة الأكتينية... يجب أن تكوني أكثر حذراً، تيللي!! أنت تعلمين أن الشمس تؤثر في السائر الشوكي وتتلف العقد العصبية وفي النهاية تصيبك، بكل تأكيد، بالجنون.

لم يكن ابن العم هيلاري الوحيد الذي يخشى أشعة الشمس الأكتينية المشؤومة. وقد كانت الأوامر تقضي بأن يلبس الجندي البريطاني خوذة من نسيج اسفنجي أو قبعة هندية خاصة بالشمي طوال النهار، وعقوبة عدم انصياع هذا الأمر كانت بالغة القسوة، الحجز في الثكنة مدة 14 يوماً.

سنة 1917 فقط تبيَّن بالدليل القاطع أن ضربة الشمس هي قصور في تنظيم الحرارة أكثر مما هي تأثير مباشر للشمس الاستوائية. مع ذلك فقد استغرق وقتاً من الزمن إلى أن تلاشى الاعتقاد بالأشعة الأكتينية، وظل يعتبر أحد الاحتمالات حتى سنة 1927. أما هذه الأيام فيشار إلى ضربة الشمس على أنها ضربة حرارة تمييزاً لطبيعتها الإيديولوجية (علم الأسباب المرضية).

كوام من خوذ النسيج الاسفنجي وهي قيد الفحص النهائي قبل توزيعها على الجنود البريطانيين سنة 1942.

إن القيام بتمارين وتدريبات في المناخ الحار هو سبب شائع لضربة لحرارة. وضمن عوامل الخطر أن تكون غير معدّ جسدياً، ألاً تشرب كفاية فترات طويلة والتوقف السريع. إن العدائين الهواة في سباقات الماراثون هم عرضة للإصابة على نحو خاص كما أن منظمي السباقات يواجهون أحياناً صعوبة اتخاذ القرار فيما إذا كان عليهم أن يلغوا السباق بسبب الطقس أم لا. لكنه لا يستثنى منه الرياضيون المحترفون. ففي سنة 1999، انهار جيم كورير يعانياً من التجفف والإنهاك الحراري إثر فوزه في المباراة الثانية لأطول فراديات جرت في ويمبلدون أربع ساعات وسبع وعشرين دقيقة. لكن دون ن تتأثر حشود المتفرجين التي كانت تشهد المباراة، إذ نادراً ما تكون إنكلتر حارة في الصيف. كما أن ذلك النهار لم يكن حاراً على نحو غير عادي. لحرارة الجسم الداخلية الناشئة عن شدة منافسته للحمية هي التي أدت إلى نهيار كورير.

لم يكن كوربير يحتاج إلى أكثر من بعض السوائل في أوردته وإلى الراحة. أما النجم السينمائي مارتن لورنس فكان أبأس حظاً، إذ قضى ثلاثة أيام في العناية المركزة وهو في حالة غيبوبة نتيجة ضربة شمس. فقد مضى هذا الممثل، لرغبته في خسارة بعض الوزن من أجل دور جديد، يعدو عدواً وئيداً في درجة حرارة 38 مئوية وهو يلبس عدة طبقات من الملابس وسرعان ما دقت حرارة صيف لوس أنجلوس ناقوس خطرها فانهار خارج منزله وحرارة لبه تبلغ 42 درجة مئوية، وقد كان حسن الحظ إذ نجا من الموت.

يكون خطر ضربة الشمس عالياً على نحو خاص، حين لا يتم التبرد بالتبخر. إذ لا تكون الظروف الرطبة والحارة مخيفة وحسب بل تكون فعلياً أشد خطراً. يمكن للملابس أن تضعف تبخر العرق أيضاً. فالخيوط الجديدة «القابلة للتنفس» والمستخدمة في صناعة الملابس الحديثة الواقية من الماء، تسمح للعرق بالتسرب خارجاً. لذلك من المريح أن يلبسها المرء حين يمشي، أكثر من الملابس الواقية من المطر المطاطية القديمة الطراز. والبذلات غير النفاذة يمكن أن تكون خطرة إذا اجتمعت مع التمارين الرياضية العنيفة. فقد مات جندي بريطاني شاب، شارك في سباق ضاحية، من ارتفاع الحرارة المفرط لأنه كان يرتدي بذلة غوص مطاطية. لقد حالت ملابسه دون فقدان الرطوبة بحيث إن العرق المتصبِّب منه تجمَّع داخل البذلة محدداً تحديداً شديداً قدرته على فقدان الحرارة بالتبخر. ولحرصه على إثبات جدارته، فقد تابع، الأمر الذي أدَّى إلى نتائج مأسوية.

تكون ضربة الشمس لدى الناس كثيري الجلوس، عادة نتيجة قلة التعرُّق. أما الناس المصابون بالتليف الكيسي فهم عرضة على نحو خاص للإصابة بضربة الشمس وذلك لعدم قدرتهم على التعرق. وعلى الرغم من أنهم يتحملون عادة درجات الحرارة المعهودة في المملكة المتحدة دون صعوبة، إلاَّ أنهم قد يعانون من إنهاك الحر في الأقاليم الاستوائية. ويحدث هذا أحياناً حين يؤخذ المرضى البريطانيون الشبان في رحلة إلى ديزني ورلد

في فلوريدا. ومن المثير أن ازدياد تعرض المصابين بالتليف الكيسي لضربة الحر، هو المفتاح الذي فتح الباب لفهم أساس هذا المرض. فقد لاحظ طبيب الأطفال بول دي سانت آغنيز، أثناء موجة حر في نيويورك سنة 1951، أن كثيراً من الأطفال الذين أدخلوا المستشفى بسبب ضربة الحر كانوا يشكون أيضاً من التليف الكيسي، فقام، وقد تحقق من أهمية هذه الملاحظة، بتحليل عرقهم ليكشف أنه كان يحوي نسبة من الملح عالية بشكل غير عادي، فشكّل هذا الاكتشاف الأساس لفحص العرق الذي ما يزال يستخدم سريرياً لتشخيص المرض. إننا نعلم الآن أن التليف الكيسي هو نتيجة نقص وراثي في بروتين غشائي هو المسؤول عن نقل أيونات الذكور خارج الخلايا. ويتكون العرق من محلول ضعيف من كلور الصوديوم(ملح الطعام) لذا فإن البحر، عن طريق طرح الكلور، يعيق تدفق الماء إلى الغدة العرقية وبذلك يمنع تشكل العرق.

إن التعرض الطويل لمناخ حار، حتى لدى الناس العاديين، يمكن أن يؤدي إلى قصور في التعرق. يسبق هذا عادة التهاب الغدد العرقية المعروف باسم الحر الواخز الذي يتميز بظهور حبيبات صغيرة حمراء مثيرة للحكاك على كل بوصة من الجسم بحيث لا يمكنك أن تضع دبوساً بين حبيبة وحبيبة: إنه يصيب واحداً من كل ثلاثة أشخاص يتعرضون للمناخ الحار، كأولئك الذين يعملون في المناجم العميقة مثلاً أو في الأفران. وفي أيام الحكم البريطاني للهند، كان البريطانيون يعانون كثيراً من الحر الواخز خلال الفصل الحار في الهند طبقاً لما كتب أحدهم في الملاحظة الآتية: «يمكن للفتى أن يكون جالساً يلعب الورق ويبدأ الحك حكاً خفيفاً. لكن ما إن ينتهي المساء حتى يبدأ الاندفاع هنا وهناك كالمجنون، راغباً في تمزيق نفسه إرباً إرباً في محاولة منه لتهدئة التهيج. ولقد رأيت واحداً أو اثنين يمزقان نفسيهما وهما يحكان صدريهما إلى أن بدا الجلد كله يتدلى نازلاً على شكل طبقات».

وعلى الرغم من أن الالتهاب يخمد أخيراً، فإن الغدد العرقية قد تتوقف عن أداء وظيفتها معرضة المرء للإصابة بضربة الحر. ولحسن الحظ، فإن الحالة تنعكس لدى العودة إلى أحوال مناخية باردة.

يمكن لبعض الفقارات أن تسبِّب فرط الحرارة. ولعل أشهر هذه الفقارات هو الفقار سيِّئ السمعة إكستاسي 3 (النشوة)، وهو الفقار المنشط الذي يؤخذ غالباً في «حالات الافتتان» لمنح المرء زخماً «عالياً» أو الحفاظ على زخمه وقدرته على التحمل أثناء الرقص. يمكن لاستخدام هذا الفقار، إذا ما اجتمع مع التمارين البدنية، أن يؤدي إلى ارتفاع مميت تماماً في درجة حرارة الجسم. على هذا النحو تعرف جيداً مشكلة فرط الحرارة الناجمة عن الإكستاسي، مما دفع ببعض النوادي لتوفير مساحات خاصة «للتبرد»، وهي العبارة التي دخلت الآن معجم اللغة الإنكليزية.

تحدث ضربة الحر، حين يخفق الجهاز العادي المنظم للحرارة في تنظيم حرارة الجسم وتزداد درجة اللب إلى 41° مئوية أو ما فوق. يمكن أن تكون بدايتها هذه سريعة، على نحو ملحوظ وعلائم الإنذار المبكر تتضمن الوجه المتوهج، الجلد الجاف الأحمر، الصداع، الدوار، افتقاد الطاقة، وسرعة الغضب المتزايدة. إذ، على الرغم من ارتفاع درجة حرارة الجسم، فإن التعرق يتوقف بحيث يمكن لدرجة الحرارة أن ترتفع أكثر وأكثر ويحدث الموت حين تتجاوز درجة الحرارة 42° مئوية.

إن ضربة الحر هي أحد الطوارئ الطبية التي تتطلب المعالجة فوراً. والمصابون الذين لا يعالجون يموتون بسبب تلف المخ الناجم عن ارتفاع درجة حرارة الجسم، بل حتى مع المعالجة يمكن أن تتجاوز نسبة الوفيات 30 بالمئة. إن الطريقة الأفضل لتبريد المصاب بضربة شمس هي مسح جبهته بإسفنجة مبللة بالماء الفاتر، ذلك أن التبريد بالتبخر يخفض حرارة الجلد بفعالية أكثر من تغطيس المرء في حوض ماء بارد الأمر، الذي يمكن أن

سبب تقلصاً وعائياً عاماً يقوم بتوجيه الدم بعيداً عن الجلد وبالتالي يحد م ـدان الحرارة. تستخدم في الحالات الشديدة، الضمادات الثلجية الت ـضع على الجلد حيث تكون الأوعية الدموية الكبيرة قريبة من سط ـجلد. كمناطق الرقبة مثلاً، أو تحت الإبطين أو في منطقة الإربية.

خنازير ترتعش وبشر يرتجفون

ثمة واحد من كل 20000 نسمة لديه مرض وراثي نادر يدعى فرط الحرارة الخبيث. حين يعطى هؤلاء الأشخاص الغازات المخدرة المعروفة كالهالوثين مثلاً، ترتفع درجة حرارتهم بسرعة كبيرة، تصل أحياناً إلى درجة مئوية واحدة كل 5 دقائق. هذا يحدث لأن المخدر يسبب تقلصات تلقائية في العضلات الهيكلية، أي ببساطة تامة، يرتعش المصاب من فرط الحرارة. يعد هذا المرض كابوس العاملين في مجال التخدير، إذ إنه يمكن أن يكون مميتاً إذا لم يعالج بسرعة.

يبتدئ التقلص العضلي من خلال الزيادة في تركيز شوارد الكالسيوم داخل الخلايا وهو ما ينشط البروتينات القابضة. ينحبس الكالسيوم عادة داخل حجيرة تخزين خاصة مغلقة بغشاء في الخلية العضلية ولا يطلق إلاّ استجابة لدافع عصبي. يعاني المصابون بفرط الحرارة الخبيث من نقص في المسام البروتينية التي تتحكم بإطلاق شوارد الكالسيوم من مخازنها داخل الخلايا، والمخدر، لدى هؤلاء الناس، يفتح أبواب المسام على مصاريعها سامحاً للكالسيوم بالتدفق من مخازنه إلى الخلية ليباشر التقلص. إن عالم الفيزيولوجية العضلية شيرلي بريانت هو أول من ذكر أن عقار الدانترولين الذي يمنع انفلاق الكالسيوم قد يكون علاجاً فعالاً لفرط الحرارة الخبيث. وما يزال هذا العقار حتى اليوم في مسارح العمليات في كل أنحاء العالم لمواجهة طارئ كهذا.

لا يقتصر فرط الحرارة الخبيث على البشر فقط، بل يوجد أيضاً لدى الخنازير حيث يعرف بعارض التوتر الخنزيري إذ يمكن أن ينجم عن فرط التوتر (خلافاً للمرض لدى البشر) فالجري، الجنس، الولادة، والتوتر الناجم عن نقل الخنازير إلى السوق، أو حتى الشروط العادية التي تعيش فيها هذه الحيوانات يمكن أن تطلق العنان لارتفاع مميت في درجة حرارة الجسم، وهو أمر ذو أهمية اقتصادية بالغة، إذ حين تموت الخنازير المصابة بهجمة من هجمات هذا المرض، يصبح لحمها قاسياً لا يباع.

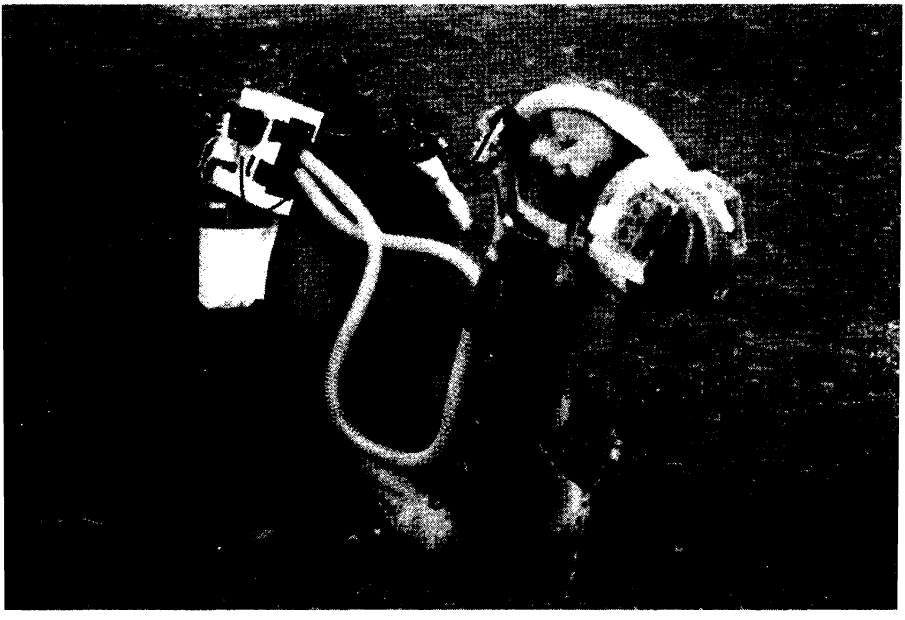
لقد برهن الخنزير أنه نموذج مفيد جداً لفهم هذا المرض لدى الإنسان. ففي سنة 1991، تم تحديد المورث المسؤول عن عارض التوتر الخنزيري وتبيان الكيفية التي يشغل بها مسام إطلاق الكالسيوم العضلية، كما تم اكتشاف التغيرات الأساسية في هذا البروتين الذي يؤدي إلى التقلصات العضلية حين يتعرض الخنزير للهالوثين. فقد تبين أن كل الخنازير المصابة بهذا العارض لديها التغير نفسه في المورث، مما يدل على أنها كلها تنحدر من حيوان مؤسس واحد طور بصورة تلقائية ذلك التغير في وقت ما في الماضي. وقد تم الآن إخراج هذا المورث من جموع الخنازير البريطانية بتحديد الحيوانات المشكوك فيها والتعرف إلى إصاباتها وذلك بإجراء اختبار بسيط، إذ تعطى الحلاليف نشقة سريعة بنسبة 3 بالمئة هالوثين كي تتنفسها. وللتو تصاب الحيوانات حاملة المورث المرضي بتصلب عضلي عابر (يمكن الشفاء منه) وتبعد في الحال من قطيع التربية.

وما إن تم تحديد المورث لدى الخنازير والتعرف إليه، حتى صار من اليسير نسبياً التوصل إلى المورث البشري وتبيان أنه هو المسؤول عن فرط الحرارة الخبيث. واختبار المورثات هذا متاح الآن لكل من يشك في أن لديه هذا المرض.

الحمى

تكون أداة تنظيم الحرارة في منطقة ما تحت السرير البصري لدى الإنسان ثابتة، عادة، على درجة الحرارة 37° مئوية تقريباً، لكن أثناء الإصابة بالحمى، يمكن أن تتوضع على درجتين أو ثلاث درجات أعلى، وتنتظم درجة الحرارة حينذاك، بالحساسية نفسها، حول نقطة التوضع الجديدة هذه. تعزو إعادة التوضع الحراري هذا إلى مركب من الناقلات الكيماوية المعروفة باسم الغديدات البروستية الواقعة بجانب المخ وهو المركب الذي نطلق استجابة لوجود جرثومة أو مواد مولدة للحمى تفرزها الجراثيم. وعمل الإسبرين الذي يخفض الحرارة إنما يقوم على حجزه لمركب الغديدات البروستية هذا.

طوال قرون، كان يدور جدل شديد حول ما إذا كانت للحمى أي وظيفة مفيدة في الأمراض السارية. إحدى النظريات، وصاحبها توماس



نياس استهلاك الأوكسجين لدى الجمل. لقد تكيف الجمل بشكل عجيب مع حياة الصحراء، حيد يعمل وبره السميك كعازل جيد ينقص الكاسب الحراري، فيما تقدم قوائمه الطويلة النحيلة سطد ذا مساحة كبيرة من أجل الفاقد الحراري. مما يسمح لحرارة جسده حين يقل الماء، بالارتفا حتى 6 درجات مئوية قبل أن يبدأ بالتعرق وبالتالي يحتفظ بالماء. تفقد الحرارة المختزنة ليلا حين تكون حرارة الرطوبة أقل دون أن يفقد ماء بالتبخر. لا يخفض اختزان الحرارة في النهار م لفاقد المائي وحسب، بل ينقص أيضاً مما في الحرارة (نسبة الزيادة أو النقص) بين المحيد سطح الجسم وبذلك ينقص ما يأخذه من الحرارة. يتحمل الجمل نقصان الماء الشديد دون أذى يما يعمل سنامه كخزان شحوم يلجأ إليه حين يقل الطعام. أمّا أذناه وخيشوماه فهي كلها مبطن بأشعار دقيقة تقوم بدور المصفاة لغبار الصحراء، كما أن له صفين مزودجين من الأهداب لتقو الدور نفسه.

سيدنهام في القرن السابع عشر، تقول إن الحمى «ربما هي محرك قوي تأتي ه الطبيعة إلى العالم لقهر أعدائها» هذه الحجة، إذا ما صغناها بعبارات حديثة مرة ثانية تدل على أن الحمى هي جزء طبيعي من آلية دفاع الجسد جاه عدوى نشأت لأن بعض الجراثيم أكثر تأثراً بدرجة الحرارة المرتفعة م خلايانا ذاتها. لكن، ثمة نظرية بديلة فحواها أن الحمى هي مجرد عرض م عراض شدة الإصابة وأنها، بمعزل عن كونها ذات قيمة علاجية، قد تتضم

فعلياً قدرة المصاب على مكافحة العدوى. هذا الجدل ليس فقط ذا أهمية أكاديمية فقط بل في الصميم منه مسألة هامة وهي: هل من المجدي بذل الجهد لتخفيض حرارة المريض إلى مستواها العادي أم غير مجد؟

وحتى اليوم ما تزال القضية دون حل، إذ إن هناك أدلة تدعم كلا جانبي النقاش. مع ذلك، يفضل معظم الناس وجهة النظر القائلة، بأن ارتفاع حرارة الجسم درجة أو درجتين ليس بالأمر الضار، بل قد يكون نافعاً لدى البالغين[4]. هذه الفكرة تدعمها حقيقة معروفة وهي أن معدل البقاء على قيد الحياة لدى العظاءات التي تصاب بعدوى جرثومية يكون أعلى بكثير، حين توضع في شروط باردة. ذلك أن حرارة جسم العظاءة تتوازن مع حرارة المحيط. هذا الاكتشاف يدعم الحجة القائلة إن ارتفاع حرارة الجسم يعزز قدرته على مكافحة العدوى. والحقيقة، كانت المعالجة بالحمى، قبل ظهور المضادات الحيوية، تستخدم بنجاح كعلاج لمرض الزهري والسيلان. يمكن إحداث الحمى الاصطناعية بطرق عدة أكثرها غرابة الإصابة بطفيلي الملاريا الذي كان يقتل لاحقاً بواسطة الكينا. فإذا ما بقي المرء على قيد الحياة بعد هذه المعالجة، كانت جرثومة الزهري تقتل أحياناً بشيء من الحظ قبل أن يقتل مضيفها البشري ـ وكان المريض يشفى، ربما هو شكل غير عادي من أشكال التجربة بواسطة النار.

الحياة بغير ماء

مثلما الطعام هو مفتاح البقاء في المناطق الباردة، كذلك الماء هو العامل المحدد للحياة في المناطق الحارة. إن القدرة على التبرد، من خلال التعرق بغزارة، تتوقف على توفر الماء، لذا فإن الصعوبة الرئيسية بالنسبة إلى

(3) الاسم العلمي للإكستازي هو 3,4 ـ مثيلينديديوكسيميثامفيتامين إنه من مشتقات الأمفيتامين.

(4) هذه الحجة تطبق فقط على البالغين. أمّا الأطفال الصغار فيكونون عرضة لتشنجات ناجمة عن الحمى، لذا ينصح بالتبريد.

الحياة في الصحراء ليست في أنها حارة بل في أنها جافة. ففي حين يمكن للناس أن يعيشوا أياماً عدة دون طعام، إلاّ أنهم لا يستطيعون ذلك دون ماء. لهذا، لا يرفض المضربون عن الطعام، كما يلاحظ، تناول الماء، لافتراضهم أن هلاكهم سيكون أسرع من أن يترك تأثيراً عاماً كافياً.

يحدث التجفف، عندما لا يعوض الإنسان الماء المفقود بواسطة التعرق من خلال شربه للماء الذي يحرض إفراز الهرمونات التي تعمل للحفاظ على الماء، بإنقاص مقدار الماء المطروح بالبول، وكذلك بزيادة المأخوذ من الماء وذلك بجعلك تشعر بالعطش. لكن إذا ما استمر فقدان الماء، فإن الوجه والعينين، كلها تتخذ هيئة الغائر الكالح: كما يرافق ذلك فقدان وزن، وهي الحقيقة التي يستغلها فرسان السباق والمصارعة في كفاحهم لوضع حدود لأوزانهم، فيتعرقون أوزانهم الزائدة في حمامات الساونا. يستطيع معظم الناس أن يتحملوا نقص الماء في الجسم بنسبة 3 ـ 4 بالمئة دون صعوبة، لكن يحدث الإرهاق والدوخة حين يبلغ الفاقد 5 ـ 8 بالمئة في حين أن ما فوق 10 بالمئة يسبب إعاقة ذهنية وبدنية مصحوبة بعطش شديد. أمّا فقدان أكثر من 15 ـ 25 بالمئة من وزن الجسم فإنه مميت لا محالة.

وعلى الرغم من أن الناس يموتون حين ينخفض الماء في أجسامهم بنسبة 15 بالمئة، فإن الجمل لا يتأثر حتى وإن فقد ما يصل إلى 25 بالمئة من ماء جسمه، وهو ما يمكّنه من السير سبعة أيام دون طعام أو شراب، أحد أسباب تحمل الجمل الملحوظ وقدرته على مقاومة التجفف هو قدرته على منع انخفاض حجم الدم، رغم نقص الماء الكبير. إذ حتى عندما يفقد الجمل ربع مائه، لا ينقص حجم الدم إلاّ بمقدار يقل عن العشر. بالمقابل، فإن حجم الدم لدى البشر ينقص بنحو الثلث، لتزداد بذلك لزوجة الدم. وبقدر ما تزداد كثافة الدم، يصبح دورانه أبطأ وضخه أصعب، وبالتالي يغدو الفاقد الحراري عبر الجلد أقل، مما يجعل المرء يعاني من ارتفاع مميت في

حرارة الجسم، كما يعزز خطر الإصابة بالسكتة. ذلك أن نقص الماء لا ينقص حجم الدم والسوائل خارج الخلايا وحسب بل يسبب أيضاً زيادة امتصاص ماء الخلايا، مما يجعلها تتقلص وتنكمش فيتلف غشاء الخلية وبروتيناتها.

غير أن الموت بسبب التجفف ليس سهلاً، لأن الضحية يتعذب عذاباً مستمراً بالظمأ الحارق، لقد سجل عدة أشخاص ذوو قوة جسدية ملحوظة أرقاماً قياسية للأجيال القادمة. أنطونيو ڤيتربي، وهو محام أمام القضاء في الجمهورية الفرنسية الأولى، حكمته بالإعدام محكمة باستيا (في كورسيكا) خلال فترة الاسترداد لمعتقداته السياسية. لقد اختار، تجنباً لحبل المشنقة، أن يموت بحرمان نفسه من الطعام والشراب وقد استغرق ذلك سبعة عشر يوماً من الأيام المؤلمة وقوة الإرادة الخارقة تماماً. وتكشف مفكرته أنه كان يقاسي من ظمأ لا يحتمل ولا تخف حدته في حين هجره الشعور بالجوع بعد بضعة أيام.

عندما يتزامن نقص الماء مع الحر الشديد، يحدث التجفف والموت بسرعة أكبر من السرعة التي مات بها ڤيتربي، إذ يموت نصف الضحايا تقريباً خلال الساعات الست وثلاثين الأولى. والحكايات عن مسافرين في الصحارى فقدوا ماءهم فحلت بهم مصاعب مميتة أو شبه مميتة كثيرة للغاية، كما كتب في ملاحظاته أحد رحالة الصحارى المتمرسين:

«في درجة الحرارة المرعبة تلك، يتعين أن تتجدد رطوبة جسد المرء باستمرار، لأن الرطوبة هامة وحيوية شأنها شأن الهواء. إذ يشعر المرء كأنه في محرق زجاج حارق. فالحلق يجف ليصبح كالجلد ثم يبدو وكأنه ينطبق بعضه على بعض. كرات العين تحترق كما لو أنها تواجه ناراً سافعة فيما اللسان والشفاه تغلظ وتتشقق وتسودّ».

أشهر حالات البقاء الصحراوية وأبرزها هي حالة المكسيكي پابلو ڤالنسيا الذي تاه في منطقة أطلس تيناجاس جنوب غرب أريزونا صيف 1905.

لقد قضى سبعة أيام بلياليها دون أي ماء في درجات حرارة تراوح بين 85° فهرنهايت ليلاً و95° فهرنهايت نهاراً. وحين وجدوه، كان عارياً تماماً وقد حرقته الشمس حتى الاسوداد. أمّا أطرافه السفلية والعلوية ذات البنية العضلية ـ الحسنة سابقاً فقد كانت منكمشة على نفسها ترتعش. وكانت شفتاه قد اختفتا كأنما بترتا، تاركتين حواف واطئة من نسيج مسود، فيما كانت عيناه تحملقان دون أن يرف لهما جفن، وكان قد أصيب بالصمم تجاه كل شيء ما عدا الأصوات العالية، كما كان أعمى لا يميز شيئاً سوى الضوء والظلام. كذلك كان عاجزاً عن الكلام أو البلع لأن فمه كان جافاً كالجلد. لكن پابلو كان محظوظاً إذ إنه لم يصب بالهذيان أو الحركات العنيفة (كتلك التي تحدث في نوبة صرع) والتي تصيب أحياناً أولئك الذين يواجهون التجفف الشديد وتعجل في هلاكهم. لقد كان ما يزال قادراً على المشي وهو يترنح ببطء وألم وأن يميز نقطة علام مألوفة حين يواجهها. والحقيقة، كان بمستطاعه تقريباً العودة إلى المخيم قبل أن يجدوه. في الحال غطسه منقذوه في الماء ثم أدخلوا قسراً الماء والكحول المخففة بين شفتيه. وفي غضون ساعة كان قادراً أن يبلع ثم في غضون يوم واحد أن يتكلم وفي اليوم الثالث أن يبصر ويسمع، وخلال أسبوع كان على ما يرام مكتسباً 8 كلغ وزناً.

لكن ليس كل الناس لهم البنية الحديدية التي كان يمتلكها پابلو ڤالنسيا، لذا فإن الموت، بسبب اجتماع التجفف مع ضربة الشمس يمكن أن يكون أسرع بكثير. في هذا المقام، يروي لنا لويل وديانا ليندسي كيف أحس راكب دراجة نارية صحراوي بالوهن في رحلة عصر يوم حار في صحراء «عنزة» فأرسل جماعته أمامه للبحث عن مساعدة، ثم أصيب وقد أصبح وحده، بالتجفف والهذيان لينطلق، مهملاً الخطة التي اتفق عليها مع فريقه، في أن يجلس ساكناً وينتظر المساعدة لاحقاً بهم عبر المنطقة التي تدعى عن جدارة باسم أوروبا سيكاديل ديابيلو (غسالة إبليس الجافة). بعد أربع ساعات اكتشف أحد الجوالين جثته. مثل هذه القصص ليست نادرة للأسف، حتى

في الوقت الحاضر ولا هي تحدث، بالضرورة، في مناطق نائية. فتعطل آلة على طريق صحراوي، أو ضياعك في نزهة نهارية يمكن أن يكون ذا عواقب وخيمة إذا نفد منك الماء.

إنك، وأنت في حالة النشاط الشديد، تفقد ماء أكثر مما تستهلك بصورة إرادية، أي ببساطة، أنت لا تشرب ما يكفي لمنع التجفف، لذا يحتمل أن تصاب بالعجز بسبب نقص الماء دون أن تشعر بذلك الظمأ الذي لا يحتمل[5]. فقط حين تستريح وتأكل تشرب ما يكفي من الماء لتعويض ما فقدته بالتعرق. وإذا مارست الرياضة في طقس حار، من الضروري أن تشرب حتى وإن لم تشعر بالحاجة للشرب، لكن إذا لم يكن هناك ماء، فإن خير ما تفعله هو إيقاف نشاطك وجلوسك ساكناً في الظل. فالرياضة، بكل بساطة، تجعلك أكثر حرارة، لهذا امش في الليل حين يكون الهواء أبرد. لا تحاول أن تطيل أمد ما لديك من ماء بامتناعك عن الشرب: إذ هو فرض لازم عليك أن تشرب حين تشعر بالعطش وأحد الأقوال المأثورة في الصحراء يقول: «أن تختزن الماء في جسدك خير من أن تختزنه في زجاجتك». يجسد الجمل هذا القول تماماً. إن باستطاعته أن يشرب حتى 120 ليتراً لدى بلوغه الماء وفي أقل من عشر دقائق. بالمقابل، على الناس المصابين بتجفف حاد أن يرشفوا الماء رشفاً خفيفاً رغم ظمأهم الشديد. فاستهلاك الكثير من الطعام بعد الصيام لا يؤدي إلاّ إلى التقيّؤ.

يتوجب على مخلوقات الصحراء أن تستفيد من كل قطرة ماء تجدها وأن تطور بعض الأساليب الخارقة لفعل ذلك. وهكذا تجمع خنافس الصحراء الماء بواسطة التكثيف، مستبطنة أعلى الكثيب الرملي موجهة جسدها باتجاه نسيم الصباح العليل. كذلك فإن ريش الصدر لدى ذكر القطا

(5) عند العمل في إقليم حار، يمكن أن يحتاج المرء حتى إلى 18 ليتراً من الماء يومياً لمنع التجفف: وهو مقدار يوازي 36 علبة من الكوكاكولا.

يمتص الرطوبة مثل ورق النشاف، لهذا، يعمد هذا الطائر، بعد أن يشرب كفايته، إلى أن يغطس صدره في الماء محملاً به ريشه قبل أن يطير عائداً إلى فراخه، مما يتيح للقطا إمكانية التفريخ عميقاً في الصحراء، بعيداً عن الماء ـ والعلجوم القريض ـ المار في المناطق الخلفية الأسترالية يختزن الماء في مثانته حين يكون وافراً ويصنع لنفسه حجرة تحت الأرض، حيث يمكنه أن يعيش سنوات عدة حين يندر الماء، وهو نفسه ما يوفر مؤونة ماء مفيدة، أثناء الطوارئ، لسكان المنطقة الأصليين.

كذلك، طورت الثدييات طرقاً وأساليب لتخفيض ما تفقده من ماء، فجرذان الكنغارو لها مبدل حراري متخصص في مجاريها الأنفية يبرد الهواء المستنشق إلى درجة حرارية أقل من حرارة الجسم. مما يجعل بخار الماء الذي يحمله يتكثف في المجاري الأنفية، وهذا يخفض فقدان الماء بالتبخر، كما أن بعض الطيور تستخدم استراتيجية مشابهة. غير أن البشر لا يملكون هذه المقدرة، بل يفقدون الماء باستمرار من سطوح جهازهم التنفسي (إذ يفقدون قدراً كبيراً من الماء عبر الرئتين).

ينتج عن استقلاب الطعام نواتج لا قيمة لها، كالمبولة مثلاً. تلك التي تتطلب الماء لطرحها، على أن البشر يستطيعون أن يفرزوا بولاً شديد التركيز، بينما يمكن لبعض حيوانات الصحراء أن تفعل ذلك وعلى نحو أفضل بكثير. ذلك أن كثيراً منها لا تشرب أبداً خلال حياتها القصيرة لكنها تحصل على مائها كله من غذائها. ولهذه الحيوانات كِلَى كفوءة للغاية يمكنها أن تفرز بولاً عالي التركيز، يمكنها بواسطته أن تستخدم ربع الماء الذي تحتاجه الكلية البشرية لطرح المقدار نفسه من المبولة. أمّا الطيور فتظل أفضل، حتى إنها تفرز حمض البول الذي يتطلب القليل من الماء لطرحه، والمادة البيضاء الصلبة أو شبه الصلبة الناتجة عن ذلك يعرفها كل من يقف قرب مستوطنة نوارس أو سرب حمام.

إن المحيطات هي صحارى أيضاً، إذا كما هو معروف جيداً، ليس بالإمكان شرب ماء البحر من أجل البقاء. فماء البحر يحوي تركيزاً ملحياً أعلى مما يمكن للكلى أن تفرزه، لهذا فإن شرب ماء البحر يسرع التجفف عملياً. فإذا ما وجدت نفسك على خشبة نجاة في وسط المحيط والشمس الحارقة تسفعك، فإن أفضل برهان أمامك هو أن ترش نفسك بماء البحر لتسهل التبريد بالتبخر. وهو ما يساعد في إبقاء الماء في الجسم وذلك بإنقاص الحاجة للتعرق وللأسباب نفسها، عمد جون فيرفاكس، حين كان في المحيط الأطلسي سنة 1969 يجدف بيد واحدة ودون توقف، إلى النوم في النهار والتجديف ليلاً تحت النجوم عندما يبرد الجو.

ملح الأرض

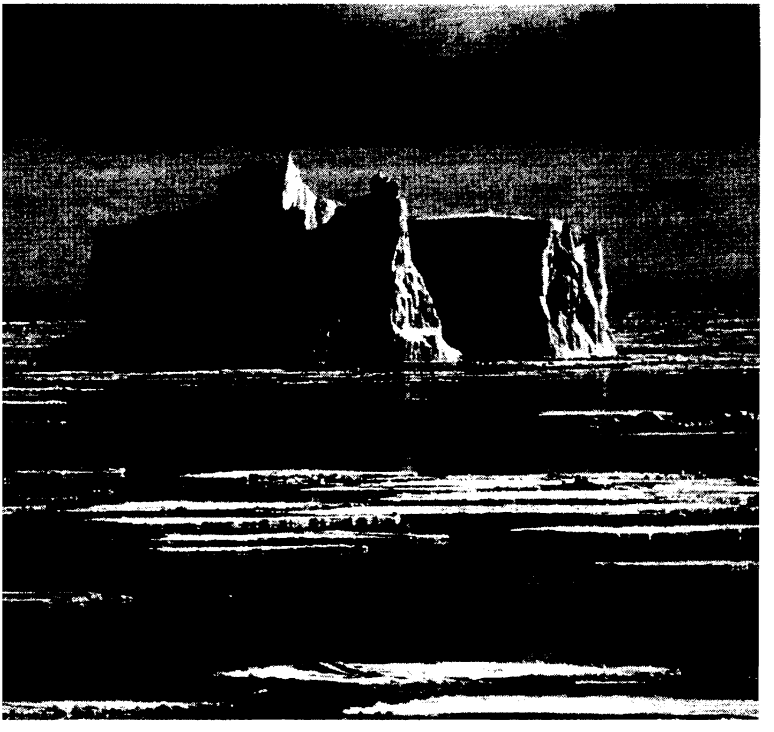
يحتوي العرق على مقدار هام من الملح. وبقدر ما تتعرق، يطرح المزيد من الملح، بل في بيئة حارة يمكن للملح المطروح من العرق أن يكون كبيراً يصل إلى 12 غراماً في اليوم أو ثلاث ملاعق ملح تقريباً. يتغلب الجسم على هذه المشكلة بإفراز هرمون يعزز احتفاظ الكليتين بالملح بحيث لا يطرح إلاّ أقل قدر منه في البول، كما يحرص على تناول الملح بحيث يأكل المرء المزيد منه.

كان جدي يعمل مراقب عمال في مصنع لعجلات القاطرات. وكان الفولاذ المنصهر يتدفق من أفران عملاقة إلى مراجل ضخمة تنقل المعدن الحار ـ حتى الابيضاض ـ إلى جزء آخر من المصنع حيث يصب في قوالب العجلات. وكانت الحرارة الشديدة تعني أن العمال يتعرقون تعرقاً غزيراً، مما يجعلهم عرضة لفقدان الملح والماء. وكان يسحر أمي حب أبيها الشديد للشطائر المالحة ذوق لا يمكن تفسيره على ما يبدو لطفلة صغيرة. لكن وراءه قاعدة فزيولوجية سليمة، نظراً لأن الملح المفقود بالتعرق يجب تعويضه بواسطة الغذاء.

إن نقصان الملح يؤدي إلى تشنجات عضلية مؤلمة في الذراعين والساقين تعرف أحياناً باسم «تشنجات الوقادين» إذ إنها كانت شائعة بين العاملين في تزويد محركات السفن بالوقود كذلك يمكن لمن يعملون في ظروف حارة كعمال المناجم أو الرياضيين الذين يمارسون الرياضة في بيئة حارة، أن يعانوا منها أيضاً. تظهر التشجنات فقط حين يترافق نقص الملح مع الممارسة العضلية، لكن لدى الناس الأقل نشاطاً، يسبب نقص الملح الإرهاق، النُّوام، الصداع والغثيان. أو العلاج فهو تناول المزيد من الملح وهي واحدة من المرات القليلة التي يوصي بها الطب عملياً.

مهد حار للجنس البشري

يعد التعرق مفتاح البقاء في المناطق الحارة. إذ يمكن للبشر أن يتحملوا درجة لا بأس بها من الحرارة الجافة، إذا ما كان لديهم وفرة من الماء (والملح) لتعويض ما يفقدونه بالتعرق ـ إنما ليست درجة الحرارة ذاتها حيث ندرة الماء والظل تجعل الصحراء مكاناً خطيراً. لكن، حين تترافق الحرارة الشديدة برطوبة عالية، لا يعود التبرد بالتبخر ممكناً فيرتفع خطر ضربة الشمس ارتفاعاً كبيراً يتكيف البشر، فزيولوجياً، تكيفاً سيئاً مع ظروف كهذه وبقاؤنا على قيد الحياة في بيئة حارة ورطبة يتوقف على الجمع بين تكيفات سلوكية معينة واستخدام التكنولوجيا (التكييف الهوائي، مثلاً). بالمقابل، نجد أننا حسنو التكيف مع الحرارة الجافة، لأن الطبيعة وهبتنا هبة رائعة تماماً هي الغدد العرقية التي توفر لنا واحداً من أعلى معدلات التعرق لدى الثدييات، وكذلك كوننا بلا شعر تقريباً إضافة إلى أن لنا أطرافاً نحيفة طويلة نسبياً، وهو ما يدل على أن الإنسان تطور في بيئة حارة، حيث المشكلة الكبرى هى أن يفقد الحرارة لا أن يحفظها. تميل فيزيولوجيتنا كلها لدعم الأدلة المستحاثية التي تؤكد أن الإنسان الأول «الهوموسابيان»، إنما نشأ في سهول أفريقيا الحارة.



المنظر المتجمد الرائع من القطب الجنوبي، أكثر مجاهل الأرض بدائية وأصالة.

أشياء زرقاء في ماء بارد

كان عيد الفصح وكان عصراً قارس البرد، وكنا قد قضينا الأسبوع الأخير ونحن نبحر هنا وهناك بين الجزر الهبريدية إلى أن عدنا بسلام ورسونا في خليج دونستافنيج، قرب أوبان نستعد للنزول على البر. لقد كنا مسرورين أن ننزل البحر، إذ إن عاصفة كانت تتشكل. وكانت غيوم رمادية كثيفة تتجمع فوقنا محيلة البحر إلى لون الرصاص، فيما كانت الريح تقول عبر صواري القارب وأشرعته، شادة إياي من ثيابي، رافعة البحر على شكل أمواج قصيرة متلاطمة كاسية إياه بغطاء رقيق من الزبد المندفع من أعالي الموج ليلفنا بضباب رقيق من رغوة قارسة البرد. كان الموج يلطم قوس القارب بجنون جعله ينحرف، ثم ينتزع فجأة المرساة. بسرعة صار المد جزراً، فاندفع القارب خطأ عبر الماء، تحركه الريح حيناً وحركة البحر حيناً آخر. حينذاك، رحت أتعثر في مشيتي على المتن المرتج وأنا أجمع أمتعتنا. نظرت إلى الأعلى، وقد لفت انتباهي صوت مفاجئ، فرأيت زورقاً صغيراً يعمل بالمجاذيف وهو يشق طريقه باتجاه اليخت في المرسى المجاور. كان شاغله، وهو رجل في أواسط العمر، يكافح كي يتجه في الاتجاه المعاكس للريح والتيار. وحين بلغ غايته، كان القاربان يغطسان وينحني واحدهما للآخر في رقصة معقدة جعلت من الصعب على القبطان أن يركن المركب الأصغر بصورة موازية للأكبر. قام باندفاعة شديدة للإمساك بسلسلة المرساة

لكنه أخطأها. فكانت خطيئته الكبرى، إذ أن الزورق الخفيف المصنوع من الزجاج الليفي ارتد بفعل التغير المفاجئ في الوزن، مائلاً رامياً إياه في البحر وبحركة سهلة بطيئة، كبيضة تنزلق خارج صدفتها الفضية. أمّا الزورق فقد امتلأ بالماء وغرق في الحال، فيما أمسك التيار بالرجل، فقلبه وسحبه دافعاً به إلى البحر.

لكن رد فعل رفيقي، تيم، جاء أسرع من رد فعلي. فقد قفز، بعد أن صاح طالباً أن أعطيه حبلاً وأربط طرفه الآخر بالرافعة، إلى الزورق المطاطي الصغير المربوط إلى مؤخرة قاربنا ثم بدأ التجذيف بهمة ونشاط باتجاه الشخص الذي كان يبتعد. فبدا وكأنه استغرق وقتاً طويلاً مؤلماً أشد الإيلام قبل أن يصل تيم إلى هدفه. رغم أنه لم يستغرق، ربما، إلاّ بضع دقائق. مع ذلك، كان الضحية، عندما وصل إليه، قد برد كثيراً إلى درجة لم يعد معها قادراً على الحركة، فيما أسنانه كانت تصطك بحيث إن كلماته نفسها لم تعد مفهومةً، أمّا يداه وأصابعه فقد فقدت قدرتها على الإمساك. ذلك أنه، هو الذي لم يكن يرتدي سترة نجاة وفي موج قصير متلاطم، كان قد ظل غارقاً تحت الأمواج وكان أكثر إنهاكاً وضياعاً من أن يساعد منقذه في رفعه إلى القارب. أمّا بالنسبة إلى منقذه. فقد كان الأمر أشبه برفع كيس من البطاطا كما يقول المثل وجذع خشبي مثقل بالماء في حالته تلك، ولقد تفاقمت الصعوبة بسبب التيار الذي سحب القارب إلى آخر مدى تسمح له السلسلة بالحركة داخل البحر ليتراقص هناك في نهايتها. كان ثقل الرجل شبه الفاقد وعيه قد ارتمى كله على جانب الزورق، مهدداً بأن يقلبه. وقد استغرق الأمر دقائق عدة قبل أن يتمكن تيم من سحبه إلى داخل الزورق، أمّا تدفئته (هو ومنقذه) فقد استغرقت نتيجة لذلك وقتاً أطول بكثير. لكن الضحية كان حسن الحظ، فالغطس في ماء بارد يمكن أن يقتل سريعاً، والخليج كان خالياً إلاّ منا وكانت حركة البحر عنيفة. إذ لو أنه سقط خارج الخليج وفي عرض البحر، لكانت الفرصة ضئيلة للغاية في أن يبقى على قيد الحياة.

تلك الليلة، وأنا أفكر في أحداث النهار، فكرت بجدي، وولتر بلاكبورن، وكيف أنني، لو لم ينج بأعجوبة من فرط انخفاض الحرارة، ما كنت لأوجد أصلاً كي أروي قصته.

إذ كان عندما اندلعت الحرب العالمية الأولى سنة 1914 في الثالثة والعشرين من العمر، شاباً، مفعماً بالمثالية والرغبة في أن يخدم بلاده دون أن يعي تماماً ما ينتظره في الخنادق، لهذا انخرط في الخدمة باكراً، حيث تم تعيينه ممرضاً في الوحدة الطبية المدرعة الملكية حيث زج سريعاً في وقائع الحرب القاسية. وبينما كان يساعد في أول عملية له في خيمة مزدحمة ملأى بالتوتر، رماه الجراح المرهق بساق مبتورة، آمراً إياه «هاك، يا غلام، تخلص من هذه» فأغمي عليه نتيجة الصدمة.

بعد أشهر من وصوله إلى الجبهة، أصيب وولتر بطلقة في الركبة أقعدته. لكن الأسوأ أن الجرح التهب. وفي تلك الأيام، قبل اكتشاف المضادات الحيوية، لم يكن العلاج متاحاً فانتشر التعفن، ونقل الرجل إلى إنكلترا في حالة حرجة. غير أن السفينة التي نقلته عبر القناة كانت مثقلة بحمولتها من المصابين، بحيث لم يكن هناك مكان لهم جميعاً داخل السفينة، فقرروا وضع الذين احتمال نجاتهم أقل، ومن بينهم وولتر، على سطح السفينة عرضة للبرد والريح والمطر. وعلى الرغم من أن سفينتهم كانت تبحر تحت جنح الظلام، إلاّ أن طوربيداً أصابها وأغرقها. وبما أنها استقرت في الماء، فإن السطح مال. أمّا جدي المربوط بإحكام إلى نقالته، شبه الهاذي بسبب الحمى، فقد انزلق على مهل إلى البحر، ولكونها مصنوعة من الخشب والخيش، فقد طفت النقالة، ومن غير المؤكد كم من الزمن أمضى وولتر في الماء البارد قبل أن ينقذوه، لكن من المؤكد أنه أمضى الكثير من الساعات.

ولعل عدة أشياء أسهمت في نجاته العجيبة. أولها أنه كان عاجزاً عن

الحركة، لأن الأربطة حول ذراعيه وساقيه كانت مثبتة تماماً على النقالة. نتيجة لذلك انخفض كثيراً معدل ما فقده من الحرارة بالحمل الحراري، لأن الطبقة الرقيقة من الماء الملاصقة لجسده لم تكن تتبدد بكفاحه للنجاة. ثانياً أنه كان رجلاً ضخماً لديه طبقة عازلة من الشحوم تحت الجلدية. ثالثاً أن الحمى كانت قد رفعت معدل الاستقلاب لديه، زائدة بذلك معدل إنتاج حرارته. لكن أياً كانت الأسباب فقد كان محظوظاً لأن كثيراً من الأشخاص ومن بينهم رجال ذوو أجسام صحيحة قادرة، قضوا نحبهم بسبب فرط انخفاض الحرارة تلك الليلة. على أن أمي، لديها تذكار مؤثر من محنته هذه، إذ بينما كان وولتر متمدداً على الماء شبه فاقد لوعيه، لمح منديلاً أزرق صغيراً يطفو قريباً منه، فيما بعد قال إن شعوراً تملكه بأنه إذا استطاع الإمساك فقط بذلك المنديل الحريري الأزرق، فإنه سينجو. وعندما تم إنقاذه، كانت أصابعه ما تزال تتكور حول ذلك السحر الأزرق الرث.

4

العيش في البرد

والآن جاء الضباب والثلج كلاهما
وصار برد عجيب
وجاء جليد، عالياً كصارية، طافياً
بجانبنا، أخضر كالزمرد

صاموئيل تايلور كولريدج، «أنشودة البحار القديم».

يوجد البرد في أعالي الجبال؛ القطبين وأعماق المحيط. كما أن نصف الأرض وعِشر المحيطات يغطيها الجليد والثلج جزءاً من السنة. إن الشتاء يحيل المناظر حولنا إلى فردوس متجمد ذي جمال سحري، غير أن أجسامنا غير معدة جيداً للتفاعل مع البرد الذي يمكن أن يكون قاتلاً. تكره معظم الحيوانات، بما في ذلك الإنسان، البرد، لهذا لا عجب أنه حين كتب دانتي «الجحيم» وضع حلقات الجليد تحت حلقات النار.

إن أخفض درجة حرارة سجلت على الأرض هي ـ 89° مئوية (ـ 129° فهرنهايت) وقد قاستها بتاريخ 21 تموز / يوليو 1983 محطة البحث الروسية في ڤوستوك على الغطاء الجليدي في القطب الجنوبي. لكن حتى هذه الدرجة تعتبر دافئة نسبياً بالمقارنة مع الكواكب الخارجية درجة الحرارة على سطح پلوتو (السيار الأكثر بعداً عن الشمس) هي ـ 220° مئوية. وعلى الرغم من أنه ليس بارداً كالقطب الجنوبي، فإن ثمة طقساً قاسياً بشكل عادي في القطب الشمالي، المناطق الجبلية وفي أماكن أخرى يعيش الناس فيها عادة. ففي سيبيريا، مثلاً، غالباً ما تنخفض درجة الحرارة عن ـ 60° مئوية شتاءً على أن بريطانيا أحسن حظاً بكثير، فبرايمر التي تتصف بأنها المدينة الأبرد لا تنخفض حرارتها أكثر من ـ 27° مئوية.

تنقص درجة حرارة الجو بمعدل درجة مئوية واحدة كل مئة متر

صعوداً، لهذا تكون قمم الجبال العالية مغطاة بالثلج والجليد دائماً، وتتنافس مع المناطق القطبية في أيها الأبرد على سطح الأرض. إن درجة الحرارة النظامية على قمة إيڤرست، هي ـ 40° مئوية، والرياح القارسة تخفض درجة الحرارة الظاهرية أكثر أيضاً، غير أن المحيطات أقل برودة بكثير من الكتل البرية. ففي الكثير من أعماق المحيطات، تكون المياه باردة لكن درجة الحرارة ثابتة 2° مئوية، رغم أن المياه السطحية في المحيط المتجمد الجنوبي قد تهبط إلى ـ 2° مئوية قبل أن تتجمد نظراً لأن التركيز العالي للأملاح المنحلة تخفض نقطة التجمد.

مكافحة البرد

يواجه ملايين الناس في العالم كل سنة شروطاً جوية تجعلهم عرضة لخطر الأذى من البرد، إذ يمكن للناس أن يتحملوا البرد الشديد طالما يلبسون جيداً، ويحظون بتغذية حسنة ولديهم مأوى مناسب. لهذا، نادراً ما يواجه الناس، في أوقات السلم، عواقب خطيرة نتيجة تعرضهم للبرد، ما لم يحدث أن يقعوا ضحايا لكوارث طبيعية كالزلازل والانهيارات الجليدية أو الصخرية.

يمكن للمستكشفين القطبيين ومتسلقي الجبال والمتزلجين أن يعانوا أيضاً إذا ما أعاقهم شيء وهم دون طعام كان أو ملاذ مناسب، وكذلك أولئك الذين يسبحون في المياه الباردة، سواء كان ذلك نتيجة مصادفة أو خطة. لكن الحوادث، وقت السلم، قليلة عموماً.

غير أن الحرب مسألة مغايرة تماماً. إذ كان للبرد أثر متزامن مع حملات عسكرية برمتها، وفي فعله ذلك غير مجرى التاريخ. فمن التسعين ألف جندي مشاة والاثني عشر ألف خيالة والأربعين فيلاً حربياً مشهوراً انطلقوا مع هانيبعل سنة 218 ق.م. ليعبروا الألب، لم يصل شمالي إيطاليا إلاّ نصفهم فقط، أمّا البقية فقضوا نحبهم على الطريق. في سنة 1812

رانولف فيينز ومايك ستراود في رحلتهما الملحمية في القطب الجنوبي

وبجيش يزيد تعداده على نصف مليون، سار نابليون إلى موسكو فلم يستطع الريف، الذي سلبه الجيش الروسي المنسحب كل شيء أن يقوم بأود ذلك العدو الهائل من الغزاة فقتلت المجاعة الآلاف الكثيرة. ثم جاء الشتاء، حليف روسيا التقليدي، ليكمل الكارثة. إذ انخفضت درجة الحرارة إلى أكثر من 40 درجة من الصقيع، فيما كانت الرياح العاتية تعصف بحركة دوامات كثيفة من الثلج، وكاد الجليد يغطي الجيش فقضى المزيد من الجند نحبهم ولم يعد إلاّ أقل من عشرين ألفاً. وطبقاً لما قاله أحد الناجين: «كان الجيش كله مغطىً بغطاء سميك من الثلج». غير أن هتلر لم يعر اهتماماً لتجربة نابليون، إذ خسر هو أيضاً آلافاً لا تحصى من الرجال بسبب الشتاء الروسي في الحرب العالمية الثانية. ففي تشرين الثاني / نوفمبر وكانون الأول / ديسمبر من سنة 1941، تعرض 10 بالمئة من الجيش الألماني (أي حوالي 100000 رجل) إلى إصابات نتيجة البرد، مما أوجب القيام بـ 15000 عملية بتر. كذلك وقعت إصابات كثيرة نتيجة البرد القارس في الحرب الأهلية

الأمريكية. وخنادق الحرب العالمية الأولى والحرب الكورية وحملة الفوكلاند.

يمكن أيضاً أن يعاني جموع اللاجئين معاناة شديدة من البرد لأنهم غالباً ما يفتقدون الطعام والمأوى على حد سواء. أمّا البؤس الذي واجهه آلاف الألبان الهاربين من كوسوفو ربيع 1999 فقد زادت من شدته الأمطار الباردة حتى درجة التجمد، مما جعل الكثير من كبار السن والأطفال الصغار الذين اضطروا للنوم ليلاً في العراء، يموتون لفرط انخفاض الحرارة.

إن الدرس الأساسي المستمد من الحملات العسكرية والرحلات القطبية هو أن الجوع وفرط انخفاض الحرارة يسيران يداً بيد. فأجسامنا يمكن أن تولد ما يكفي من الحرارة فقط لبقائها دافئة حين تزود بما يكفي من الطعام، على أن الزيادة في ما يتطلبه الجسم من حريرات نتيجة البرد القارس يمكن أن تكون هائلة. لقد قطع السير رانولف فيينز والدكتور مايك ستراود، سنة 1991 القطب الجنوبي سيراً على الأقدام، حاملين طعامهما كله. وقد حسب ستراود، وهو طبيب ذو اهتمام شديد بالفيزيولوجيا، أنهما سيحتاجان إلى 6500 حريرة يومياً. وبما أن هذا سيجعل الزلاجات ثقيلة على نحو غير مقبول، فقد اتفقا أن يكون الرقم 5500 حريرة يومياً مع ما يتبع ذلك من نقصان في وزن الجسم. على هذا انطلقا، وكل منهما يجر 220 كغ. لكن رحلتهما كانت أكثر مشقة بكثير مما توقعا، إذ انخفضت درجة الحرارة إلى حد لم تعد الزلاجات تجري معه بسهولة فوق الجليد المتكسر. ذلك أن الزلاجات والزحافات تنزلق على طبقة رقيقة من الماء، نتيجة ذوبان الجليد تحت الضغط لكن في الشروط الجليدية التي واجهها فيينز وستراود كان الجليد أبرد بكثير من أن يذوب تحت الزلاجات فتغرز هذه وكأنها في الرمل. كذلك كانت الرياح العاتية والانبهار بالبياض يعيقان تقدمهما، فلم يصلا إلى القطب الجنوبي إلاّ وقد صارا هزيلين مريضين، كما فقد كل منهما أكثر من 20 كغ أي ما يعادل 700 حريرة ونيفاً يومياً من الطاقة. لقد حسب

ستراود أنه «كان يستخدم في اليوم مقداراً مدهشاً من الحريرات وهو 11650 حريرة، وهو أعلى رقم لإنفاق طاقة سجله الإنسان. بالمقابل، يعيش معظم الناس حياة مستقرة بحيث لا ينفق الرجل من الطاقة يومياً أكثر من 2500 حريرة، والمرأة 2000 حريرة وهي أكثر من كافية.

إلى أي درجة يمكنك تحمل البرد؟

إن الدرجة الأخفض التي يمكن أن يتحملها البشر إنما تحددها مدة التعرض ومداه. هذا يعني أنه، خلافاً لمعظم حالات حافة الخطر، التي نوقشت في هذا الكتاب، ليس بالأمر اليسير إعطاء رقم محدد، فالشخص العادي يشعر بالبرد حين تهبط درجة حرارة المحيط إلى حوالي 25° وما دون والردود الفيزيولوجية تبدأ بالانطلاق إذا لم يتخذ إجراء وقائي (بارتداء بعض الملابس أو رفع الحرارة). هذه الردود تمكّن البالغين حسني التغذية من الحفاظ على درجة حرارة لبهم في جو ساكن بدرجة تتفاوت ما بين الصفر و+ 5 درجات مئوية وهم لا يرتدون إلاّ ثياباً خفيفة. لكن في جو أبرد أو إذا كانت هنالك ريح تزيد الفاقد الحراري، مطر أو انغماس في ماء بارد، فإن حرارة الجسم تهبط وفرط انخفاض الحرارة يحدث فعلاً. لكن يمكنك أن تتحمل برداً شديد القرس شريطة أن تكون متدثراً جيداً. لكن يجب تجنب البرد الموضعي إلى حدود قصوى تنزل تحت ـ 5 درجات مئوية. وهي نقطة، تجمد الأنسجة البشرية.

من المعروف جيداً أن الريح تزيد من تأثير البرد. وعبارة «عامل التبريد ـ بالريح» هي من اختراع المستكشف الأمريكي پول سايپل الذي استخدمها كي يصف حقيقة ثابتة وهي أن الريح تزيد من مقدار الفاقد الحراري (لأنها تطرد الطبقة السطحية من الهواء الدافئ ليحل محلها هواء بارد). لقد قام هو وتشارلز پاسل، في أثناء زيارة للقطب الجنوبي سنة 1941، بسلسلة من التجارب البسيطة لكن العبقرية، قارنا فيها بين الوقت الذي تستغرقه علب

فاصولياء جاهزة ملأى بالماء لكي تتجمد في درجات حرارة مختلفة سواء في جو ساكن أو حين التعرض لرياح قوية، فتبينا أن هناك فرقاً ملحوظاً في درجة التجميد وبالتالي وضعا صيغة تمكّن من إعطاء قدرة الريح على التبريد حق قدرها وذلك بعبارة «درجة حرارة مكافئة للتبريد بالريح».

ثمة القليل من الخطر الذي يواجهه امرؤ يلبس ثياباً ملائمة في درجة حرارة ـ 29° مئوية إذا كان الجو ساكناً. لكن إذا كانت سرعة الريح 10 أميال في الساعة فقط، فإن درجة الحرارة تهبط إلى ما يعادل ـ 44° مئوية والجلد يتجلد خلال دقيقة أو دقيقتين. زد سرعة الريح إلى 25 ميلاً في الساعة تصبح درجة الحرارة ما يعادل ـ 66° مئوية. حينذاك يكون هناك خطر شديد. فاللحم يتجمد خلال ثلاثين ثانية وعامل التبريد بالريح يمكن أن يعني أنه، حتى في درجات الحرارة الجوية التي هي حوالي الصفر، تكون قضمة الصقيع للأطراف محتملة. مع ذلك، فإن الاستخدام واسع الانتشار لصيغة سايبل في حساب عوامل التبريد بالريح يمكن أن تكون أحياناً مثيرة أكثر مما ينبغي عندما تطبق على البشر، إذ يغلب أن نرتدي المزيد من الملابس في أيام الرياح ولا تنطبق قاعدة على الفاصولياء الجاهزة إلاّ على أطرافنا.

وبغية الحيلولة بين الجليد والتجمد في الهواء البارد لا بد من تزويده بمقدار كبير من الدم الدافئ. لكن لهذه العملية، ولسوء الحظ، سيئة واضحة وهي أن مزيداً من الحرارة سيذهب هباء في المحيط وبالتالي سيبرد الجسم كلياً. لهذا السبب ثمة علاقة عضوية بين فقدان الجسم للحرارة وتجمد الأنسجة المحيطية. يكون الفاقد الحراري في اليدين، القدمين، الأنف، الأذنين وهلم جراً، عالياً بصورة خاصة وذلك بسبب المعدل الكبير لمساحة السطح بالنسبة إلى الحجم، فإذا ما كانت حرارة المحيط منخفضة جداً، يضحي الجسم بهذه المواضع سامحاً لها بالتجمد حفاظاً على دفء الجسم المركزي. وعلى الرغم من أن فقدان بضع أصابع بسبب قضمة الصقيع ليس بالأمر السار، إلاّ أنه يزيد فرصتك في البقاء حياً.

لكن في البرد الشديد، لا يمكن حتى لتوفر كمية جيدة من الدم يحول دون تجمد الجلد. ففي درجة الحرارة ـ 50 مئوية، مثلاً يتجمد الجلد العادي خلال دقيقة واحدة، والرياح الجليدية التي تهب على الوجه يمكن أن تجمد الطبقات السطحية للعين، كما يحدث أحياناً لمتزلجي الجبال الذين ينسون أن يلبسوا واقيات العيون. كذلك تتجمد الأجفان معاً مطبقة العيون وكتل من النفس المتجمد تتجمع على لحى الرجال مشكلة ما يشبه عقداً صغيراً للرقبة من المدليات الجليدية الرنانة، وفي البرد الشديد، يتحول النفس إلى بلورات جليدية تطقطق حين يزفرها المرء. وهي الظاهرة التي أطلق عليها الاسم السحري «همس النجوم».

تظل الرئتان، لا محالة، عرضة للهواء المتجمد، على الرغم من أنه بالإمكان حماية معظم سطح الجسم. وبما أن الهواء يسخن وهو يعبر المجرى التنفسي، فإن البرد لا يؤذي عادة. لكن إذا كان الهواء بارداً جداً وجافاً جداً، فإن الخلايا التي تبطّن المجرى التنفسي يمكن أن تتلف وتنسلخ. كما وصفها بصورة تنبض بالحياة ت.هـ. سومرفيل، الجراح الذي أوشك أن يختنق بسبب الظاهرة نفسها، وهو يتسلق إفريست سنة 1936:

«عندما كان الظلام مخيماً، أصابتني نوبة من نوبات السعال، انزاح شيء ما من مكانه في حنجرتي ليلتصق هناك بحيث بت عاجزاً عن إخراج النفس أو إدخاله. وبالطبع لم يعد باستطاعتي أن أعطي إشارة لنورتون أو أوقفه، لأن الحبل حينذاك لم يكن مربوطاً، وهكذا جلست على الثلج كي أموت فيما كان هو يتابع سيره. قمت بمحاولة أو محاولتين للتنفس لكن عبثاً. أخيراً، ضغطت بيدي كلتيهما على صدري ثم قمت بدفعة أخيرة بالغة القوة، فخرج «العائق». لقد وصف تجمد الرئتين أيضاً لدى الخيول وكلاب الزلاجات لكن أحداً لم يذكر أنه حدث لدى الناس العاملين في القطب الجنوبي.

يمكن أن يحدث تجمد سريع إذا ما لامس الجلد العاري المعدن

وذلك لأنه ناقل ممتاز للحرارة، فخلال الحرب العالمية الثانية، حدثت إصابات مخيفة بقضمة الصقيع في صفوف ـ «رماة رشاشات الخصر» في القاذفات ب 17 وب 24 في الولايات المتحدة، إذ كانت طائراتهم تطير على ارتفاعات 7600 إلى 10700 م حيث درجة حرارة الهواء الخارجي ـ 30° إلى ـ 40° مئوية لقد كان على الرماة، لكي يشغلوا رشاشاتهم الآلية، أن يفتحوا «فتحات الخاصرة» إلى الخارج، وبذلك كان الهواء المتجمد يندفع داخلاً ويلتف هنا وهناك في الطائرة. وغالباً ما كان الرماة يتخلون عن قفازاتهم التي كانوا يشعرون أنها تعيق عملهم وتقلل من براعتهم ليشغلوا رشاشاتهم الآلية بأيد عارية، فكانت ملامسة الحديد مباشرة إضافة إلى الافتقار للأوكسجين والخوف والإرهاق، كلها معاً تزيد من آثار البرد، وعلى الرغم أن مثل هذا التعرض لم يكن ليدوم أكثر من دقيقة أو دقيقتين، فإن مواجهات كهذه كانت تؤدي إلى قضمة صقيع حادة. ذلك أنه في برد شديد كهذا، سرعان ما تلتصق اليدان القاسيتان بالمعدن، نظراً لأن الرطوبة الموجودة في الجلد تتجمد بمجرد ملامستها المعدن، وسحبك يدك يمكن أن يترك طبقة من الجلد وراءه. لقد كان والد زميلي في المدرسة طبيباً في رحلة استكشافية إلى القطب الجنوبي وأنني لأتذكر جيداً اليوم الذي وجدنا فيه ملاحظاته المختصرة في عليته. فقد كانت تنصح بأن عليك، في حال التصق جلدك المتجمد بمعدن بالصدفة، أن تبول على الجزء المصاب، نظراً لأن البول الدافئ يمكن أن يذيب الجليد ويحرر اليد دون أن يصيبها بأذى. وهو ما يذكّر بوضوح، بأن رحلتهم ـ شأنها شأن رحلات أخرى كثيرة قبلها ـ كانت رحلة ذكور، نظراً لأن الصعوبة في أن تتبع المرأة مثل هذه التعليمات بالغة الوضوح. «يمتص الماء حرارة الجسم بسرعة أكبر من الهواء، لهذا فإن فرص البقاء على قيد الحياة في الماء هي أدنى بكثير مما هي في الهواء وفي درجة الحرارة نفسها. ونظراً لأن البحار الباردة المحيطة بالقطب الجنوبي قد لا تتجمد إلى أن تهبط درجة حرارة الماء إلى ما دون ـ 2° مئوية (بسبب

التركيز الملحي العالي)، فإن وضع يد عارية في الماء يمكن أن يؤدي إلى قضمة الصقيع. أمّا الأسماك التي تعيش في مياه القطب الجنوبي فإن دمها يحتوي على مواد تعمل كمانعات تجمد طبيعية وتحول دون شكل البلورات الجليدية. لكن حتى البرد الخفيف له تأثيرات واضحة على الجسم. إنه يضعف عمل الأعصاب وينقص الإحساس والبراعة اليدوية. وما الصعوبة التي تواجهها في صباح صقيعي بارد وأنت تزرر معطفك، إلاّ نتيجة لتباطؤ الإشارات العصبية المنطلقة من دماغك إلى أصابعك. كذلك تعمل العضلات الباردة بسرعة أقل، جاعلة الأصابع متصلبة فاقدة لبراعتها. إن حرارة الجو الحاسمة بالنسبة إلى البراعة اليدوية هي 12° مئوية، أمّا بالنسبة إلى حساسية اللمس فهي 8° مئوية. كما تضعف درجات الحرارة الواطئة وظيفة الأعصاب الحسية الناقلة للألم، وهو ما يفسر لماذا يساعد وضع قطعة من الجليد على مفصل ملتو أو موضع محترق في تخفيف الأذى.

خصائص البرد المخدرة هذه استغلها الجنود خلال الانسحاب الكبير من موسكو سنة 1812، فقد استخدموا خيولهم كحافظات لحوم حية، إذ كان الجو أبرد بكثير من أن يذبحوها بغية توفير الطعام، إذ أن أيديهم كانت أشد حذراً من أن تستخدم لفرض هذا، كما أن أجسام الخيول قد تصلبت كالحديد وهكذا، طبقاً لما كتبه أوغست شيريون، الرقيب الأول في فرقة الفرسان الدارعين الثانية:

«كنا نقطع شريحة من ناحية من أنحاء الحصان وهو ما يزال يمشي على قوائمه، دون أن تطلق تلك الحيوانات البائسة أقل إشارة تدل على ألم مبرهنة بما لا يقبل الشك على مقدار الحذر وانعدام الحساسية اللذين يسببهما البرد الشديد. هذه الشرائح المقتطعة من اللحم، ربما كانت في أي شروط أخرى، ستؤدي إلى النزف والموت. إلاّ أن هذا لم يحدث والدنيا صقيع ودرجة الحرارة ـ 28 مئوية إذ كان الدم يتجمد على الفور، وذلك الدم المتجمد يوقف تدفق الدم. لقد رأيت بأم عيني بعضاً من

هذه الخيول البائسة تشي أي قاعدة وقد اقتطعت قطع لحم كبيرة من الفخذين كليهما».

يعاني بعض الناس من مرض وراثي نادر يدعى نظير المايوتونيا وهي حالة تشنجية شديدة تجعل عضلاتهم حساسة على نحو خاص تجاه البرد وتسبب لهم عجزاً عن الحركة حين تنخفض درجات الحرارة. إنهم، غالباً ما يكتشفون مشكلتهم في الطقس البارد، حين تنكمش أيديهم وتلتصق بالمقاود المعدنية الباردة لدراجاتهم، ويغدون عاجزين عن فك أيديهم عن مقبض الرفش الذي يستخدمونه لجرف الثلج أو يتصلبون ويضعفون بعد أن يلعبوا كرة القدم. بعضهم الآخر يتحققوا من إصابته بعد أن يتصلب لسانه ويصعب كلامه ويتعثر إثر تناوله للمثلجات أو لشربه شراباً مثلجاً. يكون لدىٰ المصابين بمرض «نظير المايوتونيا» هذا تغير في المورث المسؤول عن تحريك البروتين المعروف باسم قناة الصوديوم، والمهم من أجل نقل الإشاراة الكهربائية على طول الألياف العضلية. هذه الإشارات ضرورية لابتداء التقلص العضلي، فإذا غابت، يصاب المرء سيِّئ الحظ بالشلل. ليست هذه الحالة خطرة إلى درجة التهديد بالموت (فهي لا تشل العضلات التنفسية) لكنها، ولا شك، مزعجة غاية الإزعاج.

يعي معظم الناس جيداً أن للتعرض للبرد تأثيراً آخر: إنه يزيد إفراز البول. السبب هو أن الناتج البولي مرتبط بحجم سوائل الجسد المتحركة مع الدورة الدموية. وأي زيادة في حجمها تحس بها، متلقيات الضغط، فتحرض على إفراز البول. وهكذا، حين تتقلص الأوعية الدموية السطحية بسبب البرد، فإن حجم الجهاز الدوراني ينخفض، وبذلك يزداد ضغط الدم، كما أن قدرة الكلى، في درجات الحرارة البالغة الانخفاض، على إفراز بول مركز تنقص والتجفف الناجم عن الفقدان المفرط للسوائل هو مشكلة هامة بالنسبة إلى أناس، كمتسلقي الجبال مثلاً، يتعرضون للبرد فترات طويلة من الزمن، كذلك، ينشأ عن الحياة في البرد صعوبات عملية جمة. ففي درجة

الحرارة ـ 552° مئوية لا تستطيع الطائرات الطيران، إذ يتجمد الوقود والمشعات الحرارية ولا بد من أن تُذوَّب قبل أن تتمكن العجلات من الحركة كما أن المدخرات الكهربائية لا تحتفظ بشحنتها. وفي كثير من أنحاء كندا، لا بد للسيارات التي تتوقف في يوم شتائي في الخارج من وصلها بمصدر كهربائي كي يضمن أصحابها إمكانية عودتهم إلى منازلهم بعد العمل. في شتاء 1998 تم إيضاح الحدود المتعلقة بالنقل الحديث في درجات الحرارة الأدنى من درجة التجمد إيضاحاً جيداً حين تبين أن كثيراً من القرى السيبيرية، التي لا يمكن الوصول إليها إلاَّ خلال شهر الصيف القصيرة تتلقى طعاماً ووقوداً غير كافيين ليعيشها خلال فصل الشتاء. فقد كان من الصعب جداً، حتى بوجود التكنولوجيا الحديثة، الوصول إليها، وكان سكانها يعانون من البرد والجوع. يمكن للخيوط التركيبية في البرد الشديد أن تتمزق، لهذا يصبح الفرو ضرورة، كما أن خطوط الطاقة المعدنية تتمدد وتتقلص تحت ثقل المدليات الجليدية، قاطعة بذلك إمدادات الطاقة الكهربائية، ويغدو، بغير ميزان حرارة، من غير الممكن حتى قياس مقدار البرد نفسه، إذ يتجمد الزئبق في درجة الحرارة ـ 39° مئوية. أمّا جانبها الحسن، فإن درجات الحرارة البيئية المنخفضة تعني أنه يمكن بيع الحليب على شكل قطع متجمدة هينة الاستعمال كما يمكن وبكل بساطة خزن الطعام في الرواق بحيث تصبح البرادات من دون حاجة.

التغلب على البرد

غامر بالخروج بتي شرت رقيق وبنطال قصير في يوم شتائي مثلج وستجد أن البرد يقطع نفسك. فجلدك يبيض، وبثور إوزية تغطي ذراعيك العاريتين ثم تبدأ بالارتعاش ارتعاشاً شديداً كرد فعل من جسدك على البرد بغية تخفيض الفاقد الحراري وزيادة الناتج من الحرارة.

تسري الحرارة من الأشياء الحارة إلى الباردة، وهكذا فإن كل

الحيوانات التي تحافظ على حرارة جسمها أعلى من حرارة المحيط، كالبشر مثلاً، تخسر الحرارة باستمرار. وكما شرحنا «بصورة أكثر تفصيلاً في الفصل الثالث، فإن ما يحدد معدل الفاقد الحراري إنما هو مقدار الدم الساخن الجاري قرب سطح الجلد، وبقدر ما يزداد دفق الدم يكون الفاقد الحراري أكبر. لهذا، فإن الاستراتيجية الأساسية للحفاظ على الحرارة هي تخفيض دفق الدم إلى الجلد. لكن يمكن تحمل هذا دون الإصابة بأذى، أمداً محدوداً فقط، نظراً لأن أنسجة السطح ستحرم من الأوكسجين والمغذيات.

عندما تهبط درجة حرارة الهواء، تتقلص الأوعية الدموية في الجلد، مانعة الدم من الوصول إلى السطح، لهذا يتحول الجلد إلى اللون الشاحب ويتم الاحتفاظ بالحرارة. لكن من المفارقة أن الأوعية الدموية الموجودة في سطح الجلد تتمدد، حين تهبط درجة الحرارة إلى نحو 10° مئوية، بدلاً من أن تتقلَّص. وإذا ما هبطت أكثر من ذلك يحدث نوع من التناوب بين التمدد الوعائي والتقلص الوعائي. هذه التناوبات تحول دون إصابة الجلد بالأذى نتيجة البرد القارس وتضمن أن يتلقى كفايته، ولو بشكل متقطع، من إمدادات الأوكسجين. تفسر هذه الظاهرة لماذا يحمر الأنف واليدان وهي ميزة من ميزات الجو الصيفي تتطور بشكل حسن وعلى نحو خاص لدى أولئك الذين يعملون خارجاً في الأقاليم الباردة، مثل صيادي السمك.

يمكنك، وبسهولة تامة، أن تختبر نفسك، والفعل هذا بأن تغمس يدك في ماء بارد. في البداية، يحرض الانخفاض في درجة الحرارة الأوعية الدموية على التقلص فينقلب لون جلدك أبيض. ثم تدريجياً تبدأ يدك بالتأذي وتغدو مؤلمة شيئاً فشيئاً، بما ينتجه تراكم نواتج الاستقلاب السامة الناجمة عن الافتقار لدفق الدم. لكن بعد خمس إلى عشر دقائق، يبدأ الجلد بالتحول إلى اللون الأحمر فيما يخف الألم بصورة متزامنة مع حدوث التمدد في الأوعية الدموية.

يمكن للفاقد الحراري من الجلد أن يكون في حالة البرد القارس، مفرطاً، حتى وإن كان الإمداد بالدم لا يصل إلاَّ متقطعاً فقط، ذلك أن الأوعية الدموية السطحية تتقلص باستمرار في شروط كهذه. حينئذ لا تبرد المناطق التي لا يصل إليها الدم لتصبح في مثل درجة حرارة المحيط ويمكن أن تحدث قضمة الصقيع.

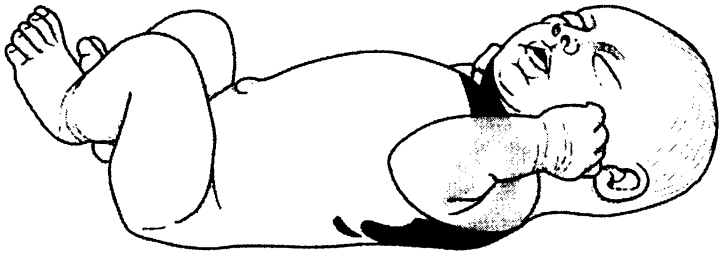
تعتبر البثور والأدوية علامة بيِّنة على أن المرء يشعر بالبرد. إنها تنجم عن تقلص العضلات المحيطة بالجريبات الشعرية، وهي الظاهرة التي تتماشى مع الاسم العجيب انتصاب الشعر المخيف «Horripilation»، وهي لدى الإنسان غير ذات فائدة، نظراً لأن ما لدينا من شعر هو قليل جداً بحيث لا يقوم انتصابه بأي دور عازل، لكن لدى الثدييات الأخرى، الأمر مختلف تماماً كما سنذكر لاحقاً.

بالإضافة إلى تخفيض الفاقد الحراري، يكون رد فعل الجسم حيال البرد بزيادته الناتج الحراري. إن المصدر الأهم للحرارة لدى الناس البالغين إنما هو النشاط العضلي، ذلك أن انقباض العضلة هو بالأصل غير كاف. والحرارة الجلدية تكون عبارة عن ناتج ثانوي. من هنا فإن الطاقة الكيماوية المختزنة تنقلب إلى حرارة. إننا نبدأ بالارتعاش، حين تنزلق الشمس خلف سحابة عصر يوم بارد. هذا الارتعاش ينتج عن تقلصات لاإرادية تجعل العضلات ترتعش. إنه يبدأ في عضلات الجذع والذراعين ثم يتقدم باتجاه عضلات الفكين، جاعلاً الأسنان «تصطك» والجسم يرتجف ارتجافات كبيرة.

يمكن للارتعاش أن يزيد الناتج الحراري خمسة أضعاف لكن فعاليته تتوازن جزئياً مع تزايد الفاقد الحراري تحمل تجاه المحيط الذي ينجم عن الارتعاش. وهذا يمكن أن يضعف من فائدته خاصة لدى الأطفال، حيث نسبة مساحة السطح إلى الحجم تكون أكبر. كذلك فإن التمارين الرياضية

الطوعية تولد مقادير كبيرة من الحرارات، فكلنا نعلم أن القفز أعلى وأسفل، ضرب أقدامنا بالأرض وصفع أذرعنا، كلها تجعلنا نشعر بالدفء أكثر، فقط راقبوا المتفرجين في مباراة كرة قدم. على أن إنتاج الحرارة، سواء بالارتعاش أو التمارين الطوعية، إنما يحدده حجم المخزون من الوقود في الجسم. وهكذا فإن مدة الارتعاش وفعاليته إنما يحددهما مقدار سكر الكبد (الغليكوجين) المختزن في عضلاتنا: وهو بحدود بضع ساعات عادة. كذلك فإن اللياقة البدنية، القدرة على الاحتمال، واحتياطي الوقود كلها تحدد التمارين الطوعية. إذن، في النهاية يتوقف إنتاج الحرارة على الإمدادات الغذائية المتاحة.

يتصف الأطفال الصغار بأن نسبة مساحة السطح إلى الحجم لديهم أكبر نسبياً مما هي لدى البالغين، لذلك يفقدون الحرارة بسرعة أكبر. إنهم بالغو الحساسية تجاه البرد لكنهم لا يرتعشون بل لديهم، بدلاً من ذلك، جهاز توليد حرارة متخصص. إذ توجد لديهم حشيات شحمية على طول الأكتاف وعلى الظهر وكذلك حول كلاهم، تصل إلى نحو 4 بالمئة من الوزن الإجمالي للجسم. إنه شحم يختلف عن المخزونات الشحمية العادية ويعرف باسم الشحم الأسمر. وفي حين يقوم النسيج الدهني الأبيض بدور البطانية العازلة، فإن الشحم الأسمر يشبه أكثر ما يشبه البطانية الكهربائية. أما لونه الأسمر المتميز فيتأتى من أن الخلايا تكون محملة بأعداد كبيرة من العصيات الصبغية تدعى الجسيمات الانقسامية (الميتوكوندريا). تعمل الميتوكوندريا عادة كأفراد كيما ـ حيوية تحرق الوقود لإنتاج الطاقة الكيماوية، لهذا يشار إليها على نطاق واسع باسم بيوت طاقة الخلايا، غير أن ميتوكوندريا الشحم الدهني تحرق الوقود لتنتج الحرارة. وهذا يتم بفضل بروتين متخصص يفصل بين عملية استقلاب الوقود وإنتاج الطاقة. كذلك ينظم هذا البروتين الفاصل توازن الطاقة ويحمي من البرد لدى بعض الحيوانات البالغة والفئران التي تفتقد هذا البروتين تكون أكثر حساسية حيال البرد من الفئران العادية.



حشيات من الشحم الأسمر فوق لوح الكتف وحول العنق توفر للأطفال حديثي الولاة سخاناً داخلياً

يقوم الأدرينالين، وهو هرمون التوتر، بالتحريض على إنتاج الحرارة في الشحم الأسمر، إذ تتوزع شبكة واسعة من الأوعية الدموية الدقيقة في الأنسجة وتنقل الحرارة كي تدفئ بقية جسم الحيوان. أما لدى البشر، فيقتصر الشحم الأسمر، غالباً، على الأطفال. ثم ما إن يصل الطفل سن البلوغ حتى يكون قد اختفى تقريباً. إذ لا يبقى لدى البالغين سوى بضع خلايا من هذا الشحم تتوزع في ثنايا الشحم الأبيض. غير أن كثيراً من الثدييات الصغيرة تحتفظ بالشحم الأسمر لا سيما منها تلك التي تنام في الشتاء كالخفافيش، سناجب الأرض، القنافذ، والمرموط. إذ تستخدم الحرارة التي يولدها الشحم الأسمر لإعادة تدفئة أجسامها بعد أن تفيق من سباتها.

وبصورة اعتراضية، يمكن للمرء أن يتصور أن زيادة نشاط البروتين الفاصل وسيلة فعالة للغاية لتعزيز فقدان الوزن. والحقيقة أن بعضهم أشار إلى أن النشاط الأساسي للبروتينات الفاصلة يكون أعلى لدى الأشخاص الناحلين وبذلك يختزنونها حريراتهم الغذائية على شكل حرارة أكثر مما يحرقون على شكل شحوم. ولعل هذا يفسر لماذا يمكن لاثنين أن يأكلا القدر نفسه من الطعام، لكن واحداً منهما فقط يسمن. وعلى الرغم من أن

الإنسان البالغ يفقد مقادير كبيرة من الشحم الأسمر، إلاّ أن الأبحاث الحديثة تدل على أنه يوجد في الأنسجة الأخرى بروتينات فاصلة وثيقة الصلة. أحد الأدلة على هذه الفكرة هو أن الفئران المتحولة التي تفتقر للبروتين الفاصل في خلايا شحومها السمراء تكون حساسة تجاه البرد لكنها لا تصبح سمينة، مما يدل على أنه قد يكون هناك نوع إضافي من البروتين الفاصل الذي يساعد في تنظيم وزن الجسم.

ثمة شكل اختصاصي آخر من أشكال السخان البيولوجي لدى سمك أبي سيف ـ والسمك الخرمان (سمك طويل المنقار) (وهي فئة من أسماك المحيطات تتضمن المارلين الأسود والأزرق الذي يعتبر بمثابة جائزة كبيرة لصيادي الأسماك الرياضيين لما يقوم به من قفزات بهلوانية حين تمسك به الصنارة والخيط). أمّا النسيج المنتج للحرارة فهو عضلة العين المعدلة التي تقع تحت الدماغ وتحفظ العين والدماغ في درجة حرارة ثابتة تقريباً هي 28° مئوية، في حين يسمح لبقية حرارة الجسم بأن تتذبذب طبقاً لحرارة الماء المحيط التي يمكن، خلال غوصة عميقة في الشتاء، أن تهبط حتى 8 درجات مئوية عبر معظم الدم الذي يدخل إلى الدماغ عبر العضو الساخن فيسخنه بمروره هذا، إذ تتفرع الأوعية الدموية قبل دخولها العضو السخان إلى شبكة واسعة من الشرايين الدقيقة، التي تقع مقابلة تماماً للأوردة الصغيرة الخارجة من الدماغ. وهكذا، إن الدم، الدافئ الخارج من الدماغ ينقل حرارته إلى الدم البارد الداخل، وبذلك يخفض من جهد النسيج السخان. يتألف العضو المنتج للحرارة من خلايا عضلية معدلة ليس فيها أي نسيج انقباضي تقريباً وتكون على شكل رزمة ملأى بالجسيمات الإنتاجية (الميتوكوندريا). وخلافاً للشحم الأسمر، لا يتم هنا على ما يبدو فصل إنتاج الطاقة عن عملية استقلاب الوقود. بل يتم، بدلاً من ذلك، وبشكل مباشر، استهلاك الطاقة الناتجة عن الاستقلاب في حلقات كيما ـ حيوية لا طائل من ورائها، وظيفتها الوحيدة هي إنتاج الحرارة كناتج ثانوي.

ومن المدهش، كما قد يبدو، أن النباتات تنظم حرارتها أيضاً بزيادة إنتاج الحرارة. فأحد المشاهد المألوفة لأسيجة الريف في دورسيت، حيث نشأت، هو زئبق اللوف البري المعروف محلياً باسم «السادة» والسيدات أو «جاك في ـ المنبر» وهو الاسم الذي يمكن أن يكون إشارة إلى طلع النبات الأرجواني الشبيه بقضيب الذكر، الذي يحمل غبار الطلح. يقوم الطلح بتوليد الكثير من الحرارة إلى درجة تتطاير معها الكيماويات نتيجة رائحة قوية تجذب الذباب والحشرات الأخرى لإخصاب النبتة. يمكن لإنتاج الحرارة هذا أن يكون كبيراً بحيث يرفع درجة الحرارة إلى حدود 45° مئوية. غير أن المدهش في الأمر أن النبتة نفسها لا تنسلق بالحرارة إنما الطلح يتكيف، على ما يبدو، مع الحرارة. بل إن نبتة جرس الثلج الألبية خارقة للعادة على نحو أشد حتى، إذ إن هذه النبتة الصغيرة الجذابة تولد حرارة كافية لإذابة الثلج المحيط بها وبذلك تحفظ نفسها من قضمة الصقيع.

التجمد حتى الموت

كل سنة، تدعى فرق الإنقاذ الجبلية في شتى أنحاء العالم لإنقاذ أناس وقعوا في قبضة عاصفة ثلجية غير متوقعة أو دفنهم انهيار جليدي أو تاهوا أو عجزوا عن الحركة نتيجة إصابة ما، وهم دون ملابس مناسبة، ذلك أن معظمهم سيعانون من آثار البرد.

لعل أقدم حالة عرفت عن فرط انخفاض الحرارة هي حالة أوتزي، الراعي الذي مات قبل 5200 سنة ونيف في وادي أوتز الذي يقع عالياً في جبال الألب بين النمسا وإيطاليا. لقد اكتشف متنزهون هناك جثته الموميائية سنة 1991 متمددة في الجليد مكشوفة جزئياً وهي على حافة جبل جليدي. لقد كان أوتزي معداً جيداً لرحلته عبر الثلج، إذ كان يرتدي عباءة مرعى مطرية، كاسيات ساق جليدية إضافة إلى سترة رقيقة من الفرو. لكن تبين أن لديه أيضاً ثلاثة أضلاع مكسورة ودون طعام، مما أفضى إلى التخمين بأنه

غادر منزله بسرعة، ثم هاجمه البرد وتغلب عليه.

تراوح حرارة اللب العادية في الجسم، أي داخل الأنسجة العميقة للصدر والبطن، ما بين 36 و38° مئوية ويعرَّف فرط انخفاض الحرارة سريرياً بأنه درجة حرارة لب تقل عن 35° مئوية، أمّا أعراضه فتتغير مع هبوط حرارة الجسم.

يتميز فرط انخفاض الحرارة الخفيف بارتعاش الجسم، خدر اليدين وانخفاض المهارة اليدوية، أمّا المهارات المعقدة كالتزلج فتصبح أكثر صعوبة وأنت تشعر بأنك متعب، بردان، ميال للمجادلة وعدم التعاون مع الآخرين، على أنه قد يكون من الصعب تبين حالة فرط انخفاض الحرارة هذه، وغالباً ما يعمد المصاب بها إلى إنكارها بشدة في حين قد تكون خطيرة. إذ إن عجزك عن تزرير سترتك أو لبس قفازك يمكن أن يؤدي إلى إصابة أشد بالبرد أو إلى قضمة صقيع. بل إن هبوط درجة حرارة لبك بمقدار ضئيل لا يزيد عن درجة واحدة يبطئ من رد فعلك مرات عدة ويمكن أن يضعف قدرتك على الحكم والحقيقة، قد يكون فرط انخفاض الحرارة الخفيف عاملاً مساعداً في حوادث السير. فراكبو الدراجات النارية الذين يبردون في رحلات الشتاء الطويلة وتجار السوق الذين يقفون طوال النهار في البرد ومن ثم يقودون سياراتهم إلى منازلهم، هم عرضة بصورة خاصة لمثل هذه الإصابات.

يحدث فرط انخفاض الحرارة المتوسط حين تهبط درجة حرارة اللب دون 35° مئوية، ويترافق مع ارتجاف شديد، وشأنه شأن مهارات الدراجات الرفيعة، يتراجع التنسيق العضلي العام ويتلف إلى درجة يصبح معها المشي بطيئاً ومجهداً، بل غالباً ما يتعثر المرء وقد يقع. كذلك تتأثر القدرات الذهنية، فالكلام يضطرب ويتداخل، والتفكير يتراخى ويتباطأ كما أن القدرة على اتخاذ قرارات معقولة تضعف: بل قد تشعر بالرغبة في أن تستلقي في

الثلج وتهم بالنوم، أو حتى تشرع بخلع ملابسك لأنك لا تعي ما أنت فيه من برد. أمّا متسلقو الجبال فقد يخفقون في شد عدة أمانهم شداً صحيحاً، وهو ما يؤدي إلى نتائج مأسوية. إذ يصبح الضحايا لامبالين، نوامين، انسحابيين، غير متعاونين ويجيبون إجابات غير مناسبة حين يسألون. كما يغلب عليهم ألاّ يتذكروا الأشياء التي حدثت لهم مؤخراً.

لكن ما إن تهبط حرارة اللب تحت 32° مئوية حتى يتوقف الارتعاش، نظراً لأن مخزون الطاقة يكون قد استنفد ـ بعدئذ تهبط درجة الحرارة بسرعة أكبر أيضاً وذلك لافتقار توليد الحرارة بواسطة العضلات، أخيراً يصبح الشخص عاجزاً عن المشي ويتكور على الأرض في حالة أشبه بفقدان الوعي، غير مدرك لوجود الآخرين. فالوعي يغيب عادة في درجة حرارة

أشهر حالة من حالات فرط انخفاض الحرارة: أوتيزي، الرجل الذي يعود إلى ما قبل التاريخ والذي اكتشف موته تجمد عميقاً في الثلج بعد أكثر من 5200 سنة. لقد وجدوا معه ثروة من الممتلكات، منها فأس نحاسية، قوس غير مكتملة وحذاء محشو بالعشب للعزل. أمّا الشعر الموجود على أدواته فيدل على أنه كان قد اصطاد غزالاً أحمر، شاموا وتيس جبل، ومن المدهش أن فطريات انبثقت من العشب حين زرع.

تقارب 30° مئوية. وكما ذكر أحد ضحايا هذه الحالة فيما بعد: «كنت أشعر أنني أغدو أبرد وأبرد. وجهي يتجمد، يداي تتجمدان، فيما أحسست بأنني أغدو وكلي خدر، ثم بات من الصعب علي حقاً أن أحافظ على تركيزي لأنزلق تماماً في نوع من النسيان».

في حالة فرط انخفاض الحرارة الشديد، يتباطأ معدل النبض وينزل إلى درجة يغدو من الصعب قياسه، وفيما يصبح التنفس سطحياً، نشازاً غير منتظم يصعب تبيانه، فالضحية قد لا يتنفس إلاّ مرة أو مرتين في الدقيقة وقلبه قد يدق ببطء وعلى نحو مساوٍ. أمّا جلده فيكون شاحباً، تلمسه فتشعر أنك تلامس قطعة جليد، فيما تتصلب أطرافه وتتجلد بينما يتمدد بؤبؤ العين ويتوقف عن أي رد فعل تجاه الضوء. حينذاك يبدو الشخص أشبه بالميت رغم أنه قد يكون ما يزال حياً بالواقع. يشار إلى هذه الحالة أحياناً باسم «علبة الجليد الاستقلابية» وذلك لأن الاستقلاب يتباطأ إلى درجة يكون الشخص معها في حالة من الحياة المعلقة.

يبطئ البرد معدل النبض لأنه يخفض من فعالية الناظم الذي ينظم نبض القلب. وفي درجة حرارة لب 28° مئوية تقريباً يمكن أن يحدث عدم اتساق في النبض القلبي أيضاً، وهو الأخطر لكونه انقباضاً عضلياً بطينياً أي انقباض غير متناسق لعضلة القلب عينها من القيام بوظيفتها العادية أي ضخ الدم ويؤدي إلى الموت. بل حتى لو تم تجنب الانقباض العضلي فإن القلب يتوقف عادة حين تصل البرودة إلى 20° مئوية.

في مياه القطب الشمالي

في 13 كانون الثاني / يناير 1982، أقلعت طائرة من أسطول فلوريدا الجوي من المطار الوطني في واشنطن، في رحلتها المعتادة رقم 90 بعد ثمان وعشرين ثانية فقط، اصطدمت الطائرة بجسر الشارع الرابع عشر على نهر پوتوماك ولقي ثمانية وسبعون شخصاً مصرعهم. لكن لم تكن كل

الوفيات بسبب شدة الأضرار الناجمة عن الاصطدام بل إن كثيراً منهم ماتوا بسبب فرط انخفاض الحرارة الناجم عن الغطس في مياه بوتوماك قارسة البرد. لقد أعاق الثلج والعتمة وحالة التجمد محاولات الإنقاذ، لهذا ظل بعض الأشخاص زمناً لا بأس به في الماء. لقد كانت قصة من قصص المآسي البطولية، فبعض الضحايا الذين أصروا على أن يجري إنقاذ آخرين قبلهم لم تجدهم الطائرات الحوامة حين عادت كي تلتقطهم.

في كل سنة، يقضي آلاف الناس نحبهم بسبب الماء البارد. ولعل فرط انخفاض الحرارة، وليس الغرق، هو المسؤول عن كثير من هذه الوفيات. فالحرارة تتبدد من الجسم بسرعة أكبر حين ينغمس في الماء لأن الماء ناقل جيد للحرارة (فناقلية الماء الحرارية أكثر بخمس وعشرين مرة من ناقلية الهواء) والغطس في ماء درجة حرارته أقل من 20° مئوية يؤدي إلى فقدان الحرارة ثم إلى الموت بسبب فرط انخفاض الحرارة. وبقدر ما يكون الماء أبرد، يأتي الموت أسرع. في بريطانيا، يبلغ معدل حرارة البحر في تموز / يوليو 15° مئوية، والمرء العاري سيصاب بالعجز عن الحركة خلال بضع ساعات. في كانون الثاني / يناير تهبط درجة الحرارة إلى 5° مئوية، لذا يقصر زمن تحمل الإنسان إلى 30 دقيقة. على أن الغطس في ماء حرارته حول درجة التجمد يؤدي إلى فرط انخفاض الحرارة خلال 15 دقيقة وإلى الموت خلال ثلاثين إلى تسعين دقيقة. وإذا ما كان المرء بلا سترة نجاة أو في أعالي البحار فإنه عادة يموت بسرعة أكبر حتى، نظراً لأنه سيغرق حالما يفقد الوعي. تعرض البحرية البريطانية على جنودها الجدد شريط ڤيديو عن السبّاحة الأولمبية شارون ديفيز، وهي تسبح في ماء متجمد لينطبع في ذهنهم كم يمكن للبرد أن يتغلب بسرعة حتى على رياضة عالمية من نوعها (ولا حاجة للقول إن جاذبيتها تترك انطباعاً ملحوظاً مساوياً).

وكون البرد، بمعزل عن الغرق هو سبب للموت، حقيقة قدرها حق قدرها مراقبون متفهمون منذ القدم، على الرغم من أنه لا يعترف بها رسمياً

دائماً. فالناجون من كارثة «تايتانيك» مثلاً، قالوا إن الكثير من الضحايا الذين كانوا يلبسون أحزمة نجاة وفي ماء ساكن (إنما جليدي) ماتوا بسبب البرد، في حين أن التحقيقات الرسمية ألقت باللائمة على الغرق. ولقد بوشرت دراسات علمية حول سبب الموت من الماء البارد من قبل كل من البحرية البريطانية والألمانية أثناء الحرب العالمية الثانية وذلك بسبب العدد الكبير من البحارة الذين كانوا يموتون بعد هروبهم من سفنهم الغارقة. أكثر هذه التجارب تدقيقاً في التفاصيل (وإثارة للاشمئزاز) قام بها النازيون على المعتقلين في مخيم تجمع داشو، وما تزال المعطيات التي حصلوا عليها حول الحدود الحرارية لبقاء الإنسان حياً، يستشهد بها حتى اليوم وتجعل بالإمكان إجراء تجارب على متطوعين (لاختبار بذلات النجاة، مثلاً) ضمن حدود السلامة. لكن هذا يثير إشكالية أخلاقية هامة، أهو مبرر أن تستخدم معطيات داشو، حتى وإن كانت تساعد في فهم وفيات الماء البارد والحيلولة دونها، بناء على الظروف المرعبة لتلك التجارب وعلى أن الناس كانوا يقتلون للحصول على تلك المعطيات.

هناك كثير من الحكايات عن أناس ظلوا على قيد الحياة رغم بقائهم في الماء البارد فترة طويلة من الزمن، هي غالباً أطول بكثير مما هو متوقع. من الواضح تماماً أن بعضهم كان يقيم بعيداً عن مقراته وبعضهم ساكن على نحو غير عادي وغير حساس تجاه البرد بفضل العناية الإلهية فقط. وفي حالات أخرى، يغدو أسهل على المرء أن يفهم كيف نجا ضحاياها من الموت. فتوني بوليمور كان يشارك في سباق يخوت حول العالم سنة 1997 حين انقلب قاربه في أحد الأطراف النائية للمحيط الجنوبي وحبسه تحته أربعة أيام ظل فريق الإنقاذ إلى أن وصل إليه، وبما أن درجة الحرارة كانت فوق درجة التجمد تماماً فإن معظم الناس فقدوا أملهم بنجاته، مع ذلك، وعندما عثر غواصو البحرية الأسترالية الملكية على هيكل قاربه المنقلب سبح توني خارجاً لتحيتهم. لقد كان، بشكل من الأشكال، الأسوأ لبساً، لكن

اجتماع بذلة النجاة الواقية من الماء مع هيكل القارب كملجأ له والطبقة العازلة من شحومه تحت الجلدية، كلها أسهمت في إنقاذ حياته.

ثمة ضحية أخرى حديثة العهد من ضحايا الماء البارد هي الفيلسوف البارز برتراند رسل. ففي سنة 1948، دعي لزيارة النرويج لإلقاء سلسلة من المحاضرات نظمها المجلس البريطاني، في 2 تشرين الثاني / نوفمبر طار من أوسلو إلى تروندهايم بطائرة مائية. كان الطقس عاصفاً والرياح عاتية، وحين حطت الطائرة على موجة طويلة شديدة أمسكت بها عصفة ريح وقلبتها جانباً، بحيث راح الماء يتدفق داخلها عبر الباب، وهكذا، عجز الكثير من الركاب عن الهروب قبل أن تغرق الطائرة وقد علق رسل نفسه ببساطة قائلاً: إن الماء كان بارداً جداً لكنه كان حسن الحظ إذ سرعان ما أنقذ لأن زمن نجاة شخص ينغمس في مياه بحر الشمال الباردة تقاس بالدقائق.

يزداد الفاقد الحراري في الماء إذا تحركت هنا وهناك، وما لم يكن الشاطئ قريباً (لا تستغرق السباحة إليه أكثر من 5 دقائق) فإن فرصته الأفضل للبقاء، إذا ما تحطمت سفينتك في ماء بارد، هي أن تطفو، وتظل ساكناً بسترة نجاتك إلى أن يأتي الإنقاذ: فالكفاح أو القيام بحركات سباحة لن يفيد إلاً بتسريع معدل الفاقد الحراري وإنقاص الفترة الزمنية لبقائك على قيد الحياة. ذلك أن الحركة تبدد الطبقة الرقيقة من الماء التي يدفئها جسمك لتحل محلها طبقة جديدة من الماء البارد، مما يزيد من الفقدان بالتوصيل الحراري. وتتعقد المشكلة بحقيقة أخرى هي أن الحركة تزيد الدورة الدموية في الأطراف حيث الفاقد الحراري أكبر. فإذا اضطررت لترك سفينتك وكان لديك الوقت، ارتد أكبر قدر من الملابس السميكة والبس القفازات وجرابات بقدر ما تستطيع لأن العزل الإضافي يساعد في منع أذى البرد. على أن الأفضل دائماً هو أن تلبس بذلة واقية من الماء أو بذلة نجاة، لأن الملابس العادية ليست عازلات جيدة جداً في الماء.

هذه الاحتياطات البسيطة قد تنقذ حياتك. لكن لسوء الحظ، لا يبدو أنها

سباح عابر للقناة وقد دهن بالزيت قبل دخوله الماء. إنه، مثل كل سباحي المسافات الطويلة الناجحين، ذو بنية حسنة تساعده في تحمل الماء البارد.

معروفة على نطاق واسع، ففي سنة 1963، اشتعلت النار في «لاكونيكا» بعيداً عن شاطئ مدييرا واضطر ركابها لمغادرتها، فانتهى الكثير منهم ومن البحارة في البحر، حيث راحوا يسبحون لاعتقادهم أن ذلك يساعدهم في إبقاء أجسامهم دافئة، كما نزعوا ملابسهم الخارجية خشية أن تعيق حركتهم وكان ذلك خطأهم القاتل: فقد مات 113 شخصاً بسبب فرط انخفاض الحرارة.

يعد الشحم تحت الجلدي عازلاً ممتازاً. لذا يغلب أن يبقى الناس البدينون أحياء في الماء مدة أطول، وليس بالمفاجئ أن معظم السباحين الناجحين في القناة الإنكليزية هم حسنو البنية تماماً. فالسباحون عادة يحاولون أن يعبروا 34,5 كم (21,5 ميلاً) في آب / أغسطس أو أيلول / سبتمبر حين تكون المياه أدفأ، على الرغم من أنها تكون ما تزال باردة 15 ـ

18° مئوية. يستغرق اجتياز القناة سباحة ما بين تسع وسبع وعشرين ساعة وهو زمن أطول بكثير من زمن البقاء المحسوب بالنسبة لإنسان يغطس في ماء بمثل تلك الدرجة من الحرارة، غير أن أموراً عدة تسهم في نجاحهم، فالحركة تولد قدراً كبيراً من الحرارة للجسم. كما يكون لديهم عادة طبقة سميكة من الشحوم تحت الجلدية. ويتناولون الغذاء في فواصل منتظمة (دون أن يوقفوا السباحة وهم يأكلون، خشية أن يصيبهم تشنج). مع ذلك يضطر كثيرون للإقلاع عن السباحة بسبب التعب أو فرط انخفاض الحرارة[2]، وفي آب / أغسطس 1999، مات أحد سباحي المسافات الطويلة المجربين وهو يحاول عبور القناة.

إن الغوص على الجليد يعد من أحدث «الرياضات المتطرفة»، مغامرة نائية لا تفشل في رفع نسبة الأدرينالين حتى لدى أشد الناس إنهاكاً. فالمتحمسون، بعد أن يفجروا بالديناميت فتحة في بحيرة متجلدة، يغوصون في الماء المتجمد ويسبحون تحت الجليد. ويمكن لشخص مناسب مرتدٍ بذلة واقية أن يبقى حياً تحت ماء درجة حرارته 1° مئوية نحو 20 دقيقة (بمساعدة جهاز يزوده بالهواء طبعاً) قبل أن يشكل البرد خطراً عليه. لقد سجل الرقم القياسي لمدة الغوص في الجليد دون مساعدة (وهو يحبس أنفاسه) فابريس بوغان، الفرنسي الذي ظل دقيقتين وثلاثاً وثلاثين ثانية تحت ماء حرارته 10° مئوية.

مع ذلك، على غواصي الجليد أن يكونوا حذرين، لأن الماء البارد

---

(1) يحوي الشحم، إذا أخذنا الوزن نفسه، حريرات أكثر مما يحويه البروتين أو ماءات الفحم، لذا فإن حميتهم الغذائية قامت أساساً على الشحوم: 57 بالمئة شحوم، 35 بالمئة ماءات فحم و8 بالمئة بروتين، بل لقد شربوا الشوكولا الساخنة مع الزبدة. ولعل هذا أحد الأسباب في أن رهبان التيبت في أديرة الهملايا يشربون الشاي مع زبدة الياك (بقر التيبت الضخم الطويل الصوف) (رغم أن مذاقها غير مستحب بالنسبة إلى العربي).

(2) يمكن أن يسبب فرط انخفاض الحرارة سلوكاً غريباً، فأحد سباحي القنال الذي طلب منديلاً يمسح به عينيه، أكل المنديل بدلاً من أن يمسح به عينيه. وسبّاحة أخرى كانت مقتنعة اقتناعاً تاماً بأن حيوانات ذات فراء كانت تطاردها.

يمكن أن يقتل مباشرة. والحقيقة، هناك أساس حقيقي جداً للقول الشائع الذي يقوله الناس وهو أن الغوص في الماء البارد «سوف يقتلني» فقد سجلت حالات عدة عن شبان لائقي الأجسام طفوا على السطح جثثاً هامدة (أو غرقوا إلى القاع) خلال دقيقة من غطسهم في بحيرة جليدية. بل حتى السباحين المهرة يتأثرون. لماذا يحدث هذا؟ أمر ما يزال غير مفهوم تماماً، لكن يمكن أن يكون متعلقاً بعدة ردود فعل فيزيولوجية. تبطئ الصدمة والألم دقات القلب وربما تسببان اضطراباً في النبض قاتلاً، في حين أن الشهقة الانعكاسية طلباً للنفس التي يطلقها البرد يمكن أن تكون قاتلة إذا حدثت تحت الماء. كما أن صدمة البرد تسبب فرط التهوية أيضاً، مما يجرف ثاني أوكسيد الفحم من الدم وينقص حموضته والنتيجة هي تكزز العضلات (الذي يحول دون السباحة المنسقة) ثم فقدان الوعي فالموت السريع غرقاً.

يقتل الماء البارد الإنسان بعدة طرق، إذ يمكن أن يحدث الموت خلال ثوان من دخول الماء، أو بعد بضع دقائق من السباحة، أو بعد ذلك بكثير، حين يبرد الجسم كثيراً ويغيب الوعي. كذلك يمكن أن يحدث إثر الإنقاذ. والقصص التي تروى عن غرق السفينة الحربية الألمانية (غنايسناو) خلال الحرب العالمية الأولى تشير إلى أن معظم الناجين ماتوا على ظهر سفينة الإنقاذ بعد أن تم إخراجهم من الماء أحياء، ودون أي أذى ظاهري. هنالك أيضاً الكثير من التقارير المعاصرة عن بحارة وصيادي سمك تحطمت سفنهم كانوا بكامل وعيهم حين أخرجوا من الماء، لكنهم فقدوا وعيهم وماتوا مباشرة بعد الإنقاذ. سبب هذا الانهيار بعد الإنقاذ ما يزال موضع جدل، لكنه يعود على ما يبدو، إلى اجتماع البرد مع التغيرات في الضغط الهيدروستاتي (المتعلق بتوازن المواقع وضغطها) لدى إبعاد الشخص من الماء، كما وصفنا في الفصل الثاني.

فقدان التوازن

يحدث فرط انخفاض الحرارة في أي وقت يتجاوز فيه الفاقد الحراري المكسب الحراري: أي لا ينتج بالضرورة عن الأحوال الشتائية. فكبار السن الذين لا يحصلون على تغذية وتدفئة مناسبة هم عرضة للإصابة بهذه الحالة على نحو خاص، لا سيما إن كانوا يعانون من إصابات تقعدهم عن الحركة، إذ تهبط درجة حرارة أجسامهم بصورة مطردة على مدى يوم أو يومين، مما يؤدي إلى حالة تتفاقم تدريجياً من الاضطراب، وعدم التناسق فالغيبوبة. لذا ينبغي إبقاء المرضى سيِّئي التغذية، خاصة إذا كانوا أطفالاً، في وسط غالباً ما يكون دافئاً على نحو مزعج لمن يرعاهم، نظراً لأن معدل الاستقلاب المنخفض لديهم يجعلهم على استعداد مسبق للإصابة بغرض انخفاض الحرارة. يمكن للعقارات التي تزيد الفاقد الحراري أن تؤدي إلى فرط انخفاض الحرارة حتى في درجات حرارة بيئية دافئة نسبياً.

كذلك يمكن أن يحدث فرط انخفاض الحرارة من اجتماع الرياضة مع نقص الغذاء وشرب الكحول. فالرياضة تستنفد مخزون الجسم من الكربوهيدرات، مما يجعل نسبة السكر في الدم تميل للانخفاض. ثم يزيد الطين بلة شرب الكحول وذلك بتخفيض سكر الدم أكثر وأكثر نظراً لأنه لا بد من الغلوكوز لاستقلاب الكحول. يخفض الهيبوغليكيميا (انخفاض سكر الدم) إلى حد كبير من رد فعل الجسم حيال البرد، وإذا كان دفق الدم إلى الجلد لا يحول دون شيء، فإن الفاقد الحراري يرتفع إلى مستوى ينذر بالخطر، في هذه الظروف، يمكن أن تهبط درجة حرارة اللب بسرعة حتى وإن لم يكن هناك برد شديد: مثال على ذلك، تبين أن التعرض لهواء درجة حرارته 20 مئوية يبرّد الجسم خافضاً حرارته إلى الدرجة 33 مئوية خلال ثمانين دقيقة، كما أن المشي الحثيث مدة ساعتين والمعدة خاوية، يعقبه تناول عدة كؤوس من الويسكي يمكن أن يكون مركباً خطراً.

الحياة بعد «الموت»

«لا يعد أحد ميتاً إلاّ إذا كان دافئ الجسم، ميتاً» هي ذي قاعدة الأطباء. إذ تحكى كل سنة تقريباً حكايات عن «ضحايا برد عادوا للحياة بأعجوبة، نظراً لأن الناس الذين يصابون بفرط اتخفاض الحرارة الشديد يمكن أن يبدوا كالموتى رغم أنهم ما يزالون أحياء. ففي شباط / فبراير 1999، اكتسحت الانهيارات الجليدية جبال الألب النمسوية والسويسرية. بين الإصابات الجمة، كان هناك طفل في الرابعة من عمره ظل مدفوناً في الثلج مدة ساعتين فأُعلن حين أخرجوه، أنه، سريرياً، ميت، غير أن فرق الإنقاذ استطاعت أن تنعشه وخلال يومين كان يمارس من جديد ألعاب وكأن شيئاً لم يكن.

إن أخفض حرارة سجلت للإنسان نجا من فرط انخفاض حرارة عرضي هي الدرجة 13,7 مئوية. وقد كانت امرأة نرويجية في التاسعة والعشرين من العمر سقطت، وهي تتزلج، في أخدود شلال مائي، ثم حصرت بين الصخور والجليد السميك لتبقى بصورة متصلة في المياه الباردة. لم يكن رفاقها قادرين على إخراجها، وحين وصل فريق الإنقاذ، أي بعد ساعة وعشر دقائق، كانت سريرياً، ميتة. مع ذلك قدموا لها مباشرة إسعافات الإنعاش القلبية والتنفسية ثم نقلوها إلى مستشفى جامعة ترومسو حيث استطاع فريق إنعاش متدرب من إعادتها للحياة. وبعد خمسة أشهر كانت قد شفيت بصورة كاملة تقريباً.

كذلك هناك أطفال صغار أعيدوا للحياة بعد أن غطسوا كلياً في الماء المتجلد دقائق كثيرة دون تنفس، نظراً لأن البرد يبطئ معدل الاستقلاب لديهم إلى درجة تغدو الحاجة للأوكسجين ضئيلة جداً. الحالة النموذجية هنا هي حالة طفل في الخامسة من العمر سقط في الجليد وهو يمشي على نهر متجمد جزئياً ثم علق تحته مدة 40 دقيقة قبل أن ينقذه رجال من الضفادع

البشرية. وبما أنه لم يكن هناك جيوب هوائية بين الجليد والماء. فقد بدا أنه كان غاطساً تحت الماء طوال ذلك الوقت. وعندما أخرجوه، لم يكن فيه أي نبض ولم يكن يتنفس كما كان رمادياً ـ أزرق من البرد وكانت درجة حرارة لبه 24 مئوية. بعد يومين من التنفس الاصطناعي في المستشفى، استعاد الطفل وعيه وبدأ يمشي. وبعد ثمانية أيام من حادثته سمح له بالذهاب إلى منزله. لقد كان حسن الحظ للغاية، إذ إنه شفي شفاء تاماً، ولم تظهر على مخه أي علامة من علائم الأذى. لكن ما كل الناس يتجاوزون مثل هذه المحنة وإن كان الأطفال هم الأفضل عادة في هذا المجال، ذلك أنهم صغار إلى درجة سرعان ما يبردون معها وبالتالي فإن حاجتهم إلى الأوكسجين تهبط بسرعة فيدخلون في حالة من الحياة المعلقة.

إن أسرع طريقة لإعادة تدفئة شخص يعاني من فرط انخفاض حرارة متوسط هي تغطيسه في حمام دافئ. أمّا ضحايا الإصابات الشديدة من هذه الحالة فيدفأون بإعطائهم هواء دافئاً كي يتنفسوه وكذلك بنفخ هواء دافئ على جلودهم وسحب دمهم عبر وريد من الأوردة ثم تمريره عبر مبدل حراري قبل إعادته إلى الجسم. ولا بد من بذل عناية شديدة عند القيام بإعادة تدفئة شخص مبرد تبريداً شديداً، وذلك لأن اضطراباً قلبياً يمكن أن يحدث، وهذه مشكلة بحد ذاتها عندما تدفئ من جديد أولئك الذين توقفت قلوبهم.

حول الأيدي المتشققة والأقدام الباردة

كان يقال لي، وأنا طفلة صغيرة، ألاَّ أدفئ يدي الباردتين على مشعات المدرسة الحرارية لأنني سأصاب بالتقرحات. وعلى الرغم من أننا قليلاً ما نسمع بها اليوم، فإن التقرحات كانت، على ما يبدو، شكوى شائعة في شبابي، رغم أنني، ولحسن حظي، لم أصب بها قط (مع أنني لم أكن أطيع التعليمات). والتقرحات هي عبارة عن لطخ جليدية حمراء مثيرة للحاك، توجد أكثر ما توجد على أصابع اليدين، القدمين، الوجنات والآذان. سببها

هو تعرض الجلد المتكرر، دون واق أو غطاء لدرجات حرارة دون 15 ° مئوية، وهو ما يؤدي إلى تلف مستديم في الشرايين الدموية. يعد الأطفال والنساء الأكثر عرضة للإصابة بالتقرحات، كما تحدث في الشروط الجوية الرطبة كتلك الموجودة في بريطانيا أكثر مما تحدث في الأقاليم الجافة والباردة. ولعل الانخفاض في معدل حدوثها في بريطانيا اليوم هو نتيجة اليسر والرفاه المتزايد، وهو ما أدى إلى ارتداء الملابس المناسبة وإلى الإدخال واسع النطاق للتدفئة المركزية.

أمّا تناذر رينو (أي مجموعة الأعراض المتزامنة) فهي الحالة التي يتحول فيها لون أصابع اليدين (أو القدمين) إلى الأبيض ثم الأزرق فالأحمر عند التعرض للبرد. السبب هو أن الأوعية الدموية تتقلص بشدة مباشرة وإلى حد يتوقف معه دفق الدم كله تقريباً، ثم تتجدد ببطء. وقد يكون مؤلماً تماماً حين يصل الدم إلى الأصابع الخالية من الدم مرة أخرى. غير أن الغريب هو أن مرض رينو (شأنه شأن التقرحات) أكثر شيوعاً في البلدان ذات الشتاءات اللطيفة، كبريطانيا وإيطاليا، أكثر مما هو الحال في كندا والسويد، ربما لأن المناخ الأشد قسوة يلزم الناس باتخاذ احتياطات أفضل. فالأطفال في بريطانيا، مثلاً، يلعبون شتاء في الخارج وبذلك يتعرضون باستمرار للبرد.

أمّا «قدم الخندق» فهي اللازمة الرهيبة للحرب العالمية الأولى إذ تدل الوثائق على أن أكثر من 29000 حالة وقعت في الجيش البريطاني سنة 1915. السبب هو التعرض طويل الأمد لأحوال جوية رطبة وباردة، وظروف الخنادق مثالية لهذه الحالة فالمطر كان يملأ الخنادق بحيث كان الرجال باستمرار يخوضون في الماء والوحل اللزج السميك، فيما كانت الرياح القارسة تجعل ملابسهم الرطبة صلبة قاسية كألواح الجليد.

على أن «قدم الخندق» ما تزال مشكلة قائمة، فخلال حملة الفوكلاند سنة 1984، كانت وراء 14 بالمئة من الإصابات البريطانية. وفي سنة 1988،

عانى 11 بالمئة من إحدى الوحدات البحرية الأمريكية من هذه الحالة. وكياكو البحر (مستخدمو الزوارق الجلدية كالأسكيمو مثلاً) الذين يمكن أن تكون أيديهم وأقدامهم معرضة للماء فترات طويلة من الزمن هم عرضة على نحو خاص للإصابة بهذا المرض، كما يمكن أن يصاب به متسلقو الجبال إذا ما أصبحت جواربهم مبللة بسبب التعرق الشديد أو دخول الثلج الناعم إلى أحذيتهم والذوبان هناك، كذلك يمكن أن تحدث الإصابة لدى الناس الذين تقتضي أعمالهم الوقوف، وأقدامهم رطبة في شروط جوية شتائية. عشرات الناس، ممن يحضرون كل سنة مهرجان غلاستنبري بلباس أقدام غير ملائم تظهر لديهم حالة «قدم الخندق» إذ حتى في حزيران / يونيو، يمكن أن يكون الطقس الإنكليزي بارداً رطباً وتصبح الأرض مستنقعاً.

تغد «قدم الخندق» إصابة موضعية ببرد لا يصل درجة التجمد وتنجم عن التعرض الطويل لشروط جوية رطبة وباردة. فالواقع أنه لا يتعين أن تكون درجة منخفضة جداً، إذ إن الوقوف في ماء درجة حرارته 10 مئوية اثنتي عشرة ساعة أو أكثر يكفي للإصابة بهذه الحالة. تفقد الأقدام المبللة حرارتها بسرعة كبيرة ـ أسرع بخمس وعشرين مرة مما هي الحال وهي جافة ـ بحيث إن الأوعية التي تزود الأقدام بالدم تتقلص لتخفيف الفاقد الحراري، وحين ينقص دوران الدم بهذه الطريقة، تبدأ النسج بالموت، نظراً لأنها لم تعد تتلقى الأوكسجين والمغذيات التي تحتاج إليها، وفي الوقت نفسه تتراكم نواتج الاستقلاب السامة. تعد «قدم الخندق» غادرة على نحو خاص لأن النسج الأعمق، كالعضلات والأعصاب مثلاً، يمكن أن تتأثر قبل زمن طويل من ملاحظة أي تلف على البشرة. تكون الساق المصابة باردة كما تظهر شاحبة اللون مبقعة، يسري فيها الخدر. ولدى التدفئة من جديد، يصبح الجلد أحمر مائلاً للأرجواني متورماً وبالغ الإيلام. يقول بعض الضحايا «هي أشبه بصدمات كهربائية تصعد من أصابع القدمين إلى الساقين». بعد ذلك يمكن أن تظهر البثور، التقرحات، وحتى الغنغرينا، بل يمكن في الحالات

الشديدة جداً أن تموت القدم بكاملها ويتوجب بترها.

ثمة إجراءات بسيطة لكنها فعالة تحول دون الإصابة بـ «قدم الخندق». المفتاح هو إبقاء القدم جافة دائماً وتفادي أي شيء يحد من دوران الدم، كالبقاء دون حراك فترات طويلة من الزمن وفي وضع يصيب بالتشنج. لكن لسوء الحظ، وكما يمكننا أن نتصور، من غير الممكن دائماً تحقيق أي من هذه الشروط في العمليات العسكرية.

قضمة الصقيع

يمكن أن تحدث قضمة الصقيع، إذا برد الجلد حتى درجة حرارة تقارب الصفر، وذلك بسبب تجمد الأنسجة. وهي تحدث أكثر ما تحدث في النهايات ـ كالآذان مثلاً، الأنف، أصابع اليدين، أصابع القدمين (وكذلك الوجنتين، متلفة مساعدات الذاكرة)، في الحالات الخفيفة، وحدها الطبقات الخارجية من الجلد تتجمد. تتميز قرصة الصقيع، كما تدعى هذه أحياناً، بجلد أبيض شمعي وبفقدان الحس. إنها أشبه بالحرق الشمسي وحروق الدرجة الأولى الأخرى. عند إعادة التدفئة يتحول الجلد المتجمد إلى أحمر لامع ثم ينسلخ بعد ذاك، تعد «قضمة الصقيع» الظاهرة أكثر خطورة، لأن الأنسجة الواقعة تحت الجلد علاوة على الجلد نفسه، تتجمد. وعند التدفئة من جديد، يتحول الجلد إلى أرجواني ـ أزرق ثم يتورم. وخلال يوم أو يومين تتشكل البثور وتظهر قشرة مسودة صلبة. إذا كان المرء حسن الحظ، يشفى الجلد تحت هذه الطبقة التي تنسلخ أخيراً وتتقشر ليتكشف الجلد الجديد لكنه قد يكون مؤلماً للغاية كما يصفه آبسلي تشيري غارارد:

«كانت درجة الحرارة ـ 47° فهرنهايت وكنت أحمق كفاية لأن أخرج يدي من قفازيهما لأسحب الحبال بغية جذب الزلاجات إلى الأعلى ثم ارتددت وأصابعي العشر كلها قد قضمها الصقيع. وهي لم تعد بالحقيقة إلاّ ونحن في خيمتنا لتناول وجبتنا الليلية. لكن خلال بضع ساعات ظهرت

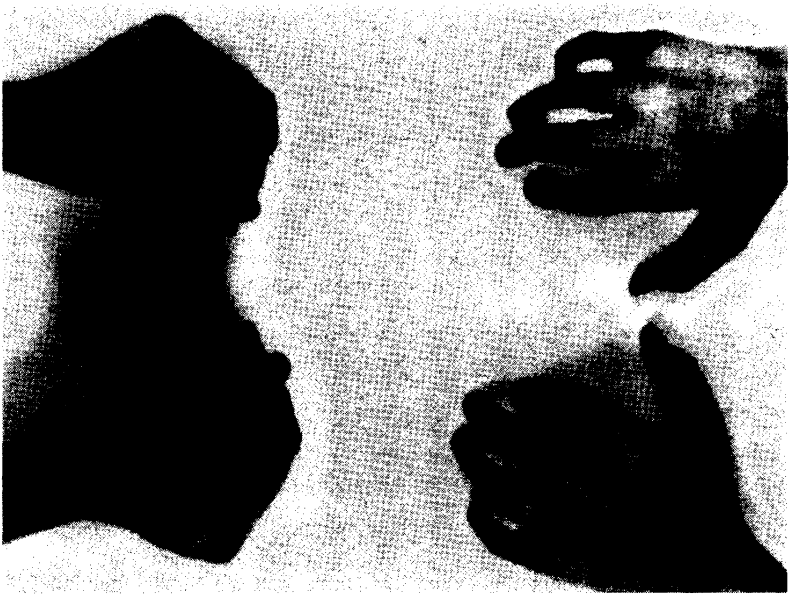
أحد أفراد الشيرپا بيدين متورمتين مصابتين بالبثور بسبب قضمة الصقيع

ثلاث بثور كبيرة، يصل طول واحدتها إلى البوصة، عليها جميعاً. ثم ظلت أياماً عديدة تؤلمني إيلاماً مخيفاً».

ينجم أخطر أشكال قضمة الصقيع عن تجمد النسج الأعمق، مثل العضلات، العظم والأوتار. تؤدي قضمة الصقيع الشديدة بصورة دائمة تقريباً إلى تلف نسيجي مستديم قد يتطلب في النهاية الإزالة. لقد فقد الكثير من متسلقي الجبال والمستكشفين القطبيين أصابع أيديهم أو أقدامهم بسبب قضمة الصقيع. والإصابات المرعبة بسببها حلت ببيك ويذرز، أحد أفراد حملات إفريست سيئة الحظ وذلك في أيار / مايو 1996 حين واجه عاصفة هوجاء. إذ تُرِك على حافة «كانشانغ فيس» باعتباره ميتاً. فقد كان في حالة غيبوبة،

بلا قفاز أيمن، ووجهه مغطى بقشرة من الجليد «أي أقرب ما يمكن أن يكون للموت لكنه كان ما يزال يتنفس». لكن بيك، وبأعجوبة، رفض أن ينهار. إذ أدرك مأزقه على مهل، بعد اثنتي عشر ساعة من شبه فقدان الوعي فأيقن أنه «في ورطة شديدة وأن الفارس المنقذ لن يأتي. لذا يفضل أن أفعل شيئاً ما بنفسي». بعدئذ وصل، وهو يترنح، إلى المخيم في أقصى حالات المرض. إذ كان عليه فيما بعد أن يضحي بيده اليمني من المرفق، علاوة على أصابع وإبهام يده اليسرى بالإضافة إلى أنفه. لكنه حافظ على حياته وعلى روح الدعابة لديه، كما يشهد أصدقاؤه.

مع تجمد النسيج، تتشكل بلورات جليدية في الخلايا والسوائل التي تغمرها. وإذا كان التجمد بطيئاً، تظهر البلورات الجليدية أولاً في السوائل خارج الخلايا، مما يزيد من تركيز المحلول الذي يظل مائعاً ويسحب الماء من الخلية بالتناضح (ميل الماء للانتقال من محلول عالي التركيز إلى محلول أدنى تركيزاً). نتيجة لذلك، تتقلص الخلية ويرتفع تركيز المحلول الملحي داخلها. ونظراً لأن النسب المحلية العالية تتلف البروتينات دائماً، فإن هذا يؤدي إلى موت الخلية. لكن حين يكون التجمد سريعاً، فإن إبراً من الجليد يمكن أن تتبلر داخل الخلايا ثاقبة غشاء الخلية، وإذا ما احتكت الإبر الجليدية ببعضها بعضاً، يمكنها فعلياً أن تمزق الخلايا مفرقة إياها بعضها عن بعض، وهو السبب الذي ينصح من أجله بعدم فرك المناطق المصابة بقضمة الصقيع. لدى إعادة التدفئة يحدث مزيد من الأذى. فالخلايا التي تبطن جدران الأوعية الدموية الأدق تكون معرضة على نحو خاص للتلف. ولدى إعادة تدفئتها تصبح راشحة وينفد منها الدم، مما يسبب تورم النسيج المحيط، أمّا الراسب من كريات الدم الحمراء الذي يتبقى في الأوعية الشعرية فإنه يخفض دفق الدم الذي ينقص بدوره، إمدادات الأوكسجين والمغذيات إلى الأنسجة هناك، وبالتالي يؤدي إلى موتها. هذا التلف الواسع الذي يمكن أن يحدث لدى إعادة التدفئة إنما يعني أن من الحكمة الإبقاء



قضمة صقيع شديدة للأصابع حيث يظهر أن الحركة ممكنة لأن العضلات لم تتأثر والأوتار ما تزال سليمة

على النسيج المصاب بقضمة صقيع حادة متجمداً إلى أن تتوفر له العناية الطبية. فالإذابة والتجمد كلاهما يمكن أن يكون كارثياً.

الأسكيمو والمستكشفون

من الثابت تماماً أن بعض الناس يرتاحون في شروط جوية يجدها معظمنا باردة على نحو غير مقبول. فهنود الياغا من تيرو ديل فوغو، كما يروي دارون، كانوا يعيشون في الثلج وجليد الشتاء والپاتاغوني دون أي ملابس (لكن هناك لديهم ناراً وهي التي أعطت الأرض اسمها). كما أن سكان أستراليا الأصليين وبوشمان الكالاهاري يسكنون في مناطق صحراوية تهبط فيها درجات الحرارة بسرعة ليلاً ويمكن أن تنزل تحت درجة التجمد شتاء. وعلى الرغم من البرد، فإن السكان الأصليين ينامون، تقليدياً، عراة على الأرض ودون شيء يقيهم سوى واقية ريح. لقد بيَّنت الدراسات الفيزيولوجية أنهم يتحملون انخفاض حرارة لبّهم ليلاً إلى نحو 35° مئوية،

كما تهبط درجة حرارة جلدهم أيضاً. ثمة رد فعل مشابه يظهر لدى بوشمان الكالاهاري أيضاً. بالمقابل، فإن الأوروبي الأبيض الذي يتعرض للشروط الجوية نفسها يحافظ على حرارة جسمه بدرجة 36° مئوية وذلك بالارتعاش والتحرك هنا وهناك باستمرار، وبذلك لا يستطيع النوم. لكن بين الأوروبيين، يختلف الأفراد في قدرتهم على التغلب على البرد. فبيت أختي، في نظري، بارد حتى التجمد، في حين أنها تجد بيتي حاراً إلى حد مزعج.

اشتهر هـ. جـ. باورز أو «بيردي»، وهو أحد أفراد حملة سكوت الأخيرة سيئة المصير (سنة 1911)، بقسوته المفرطة. ففي رحلة شتوية إلى رأس كروزيير لجمع بيض البطريق الأمبراطور، نام باورز نوماً عميقاً في درجة حرارة تقل عنه ـ 20° مئوية دون حشوة الريش في كيس نومه الفرائي، وفي حين أن رفيقه، أيسلي تشيري غارارد عانى من «سلسلة من نوبات الارتعاش التي جعلتني عاجزاً تماماً عن التوقف والتي تملكت جسدي إلى أن خيل إلي أن ظهري سينقصم، لشدة التوتر فيه». وخلافاً لتشيري غارارد، لم يصب باورز كذلك بقضمة صقيع في قدميه فعلق سكوت قائلاً «إنه لم يرَ قط رجلاً لا يتأثر بالبرد مثله».

لماذا كان باورز غير حساس حيال البرد هكذا؟ أحد التفسيرات الممكنة هو أنه كان كل صباح، وعلى نحو يبهر زملاؤه ويرعبهم، يتعرى من ملابسه في هواء القطب الجنوبي المتجمد ثم يسكب على نفسه سطولاً من ماء الجليد والثلج نصف الذائب. لقد بينت عدة دراسات أن القرص المتقطع للبرد يسبب، على ما يبدو، قدرة على التكيف مع البرد لدى الإنسان إلى درجة ما. فالتغطيس اليومي لمتطوعين عراة في ماء درجة حرارته 15 مئوية مدة تراوح بين ثلاثين وستين دقيقة على مدى أسابيع عدة، مثلاً، أدى إلى قدر أكبر من التحمل وضيق أقل، عندما تعرضوا لاحقاً لشروط القطب الشمالي الجوية. ولقد روى أحد الناجين من انسحاب موسكو الكبير سنة 1812 وهو الملازم جـ. ل. هينكيز قائلاً أيضاً «تدبرت البقاء دافئاً بفرك

نفسي بقدر كبير من الثلج وهو الشيء الوحيد المتاح بغزارة».

كل هذا يدل على أن اغتسالات باورز الجليدية النظامية ربما كانت هي المسؤولة عن تحمله الشديد للبرد، كما قد تكون هي نفسها وراء صلابة الأسبارطيين التي يضرب بها المثل وكذلك تلاميذ المدارس العامة البريطانية الذين اشتهروا بأنهم يستحمون يومياً بالماء البارد. ثمة تكيف فزيولوجي مماثل ربما يكمن خلف قدرة بعض الناس على العمل ساعات طويلة وأيديهم في ماء بارد إلى درجة لا يمكن أن يتحملها آخرون. فالأسكيمو، صيادو السمك، وهنود أمريكا، مثلاً، يمكنهم الحفاظ على دورتهم الدموية مستمرة واصلة إلى أطرافهم حتى في البرد كما سبق وذكرنا. هذه الاكتشافات دفعت بعض المرجعيات للقول إنه يمكن لنظام مِنْ مَنْ أخذ حمامات جليدية أن يساعد في إعداد الجسم للتكيف مع بيئة باردة. مع ذلك احتج آخرون بأن فائدتها الوحيدة الممكنة هي فائدة معنوية توازن أثرها الضار بالصحة. وهذا هو موقف أحد رجال الجو الأمريكيين الذي كان يدعو إلى أن على الأفراد أن يتدربوا على العمل وهم بملابس خفيفة كي يزيدوا من قدرتهم على الحركة، ثم أقلع عن الفكرة حين طلب إليه أن يطبق ذلك على نفسه.

يحرض البرد الشهية، وما يتناوله المرء من طعام زائد يفضي إلى رفع معدل الاستقلاب الأساسي لدى الأسكيمو هو أعلى بنسبة 33 بالمئة منه لدى الأوروبي، بسبب ما يتوفر في غذائهم، تقليدياً، من نسبة بروتين عالية، تتضمن ما يصل إلى رطل إنكليزي من اللحم يومياً. هذا يفسر، جزئياً، قدرتهم الأكبر على تحمل البرد. كذلك يمكن للبرد المستديم أن يزيد الشحوم تحت الجلد. وقد لوحظت تغيرات موسمية في الوزن في بريطانيا، إذ تزيد في الشتاء وتنقص في الصيف. ويقال إن أفخاذ الفتيات في البلدان المعتدلة أصبحت أسمن في عصر التنورة القصيرة (رغم أن المتشكك يمكن أن يحتج بأن السبب ببساطة هو أن حجمها صار أكثر ظهوراً) على أي حال، تكون هذه التغيرات في شحوم الجسم أضأل من أن تؤثر ذلك التأثير الكبير

على التوازن الحراري وليس ثمة دليل على أن السكان الذين يعيشون في المناطق الباردة هم أكثر سمنة من سكان المناطق الحارة. على الرغم من أن الأعراق التي نشأت وتطورت في أقاليم مختلفة يمكن أن تكون ذات أشكال مختلفة، كما ناقشنا ذلك في الفصل الثالث.

منافع البرد

ليس البرد ضاراً دائماً. إذ لوحظ، أثناء حرب الفوكلاند، أن كثيراً من المصابين بقوا على قيد الحياة برغم إصاباتهم الشديدة وعلى نحو غير قابل للتفسير، كفقدان طرف مثلاً، وعلى الرغم من عجز المصاب عن الوصول إلى المستشفى الميداني إلاّ بعد الكثير من الساعات، لقد دلّت الدراسات اللاحقة على أن البرد القارس خفض إلى حد كبير نزف الدم من جروحهم (كما في حالة خيول ثيريون) مما أدى إلى حالة خفيفة من فرط انخفاض الحرارة قلل من حاجة أجسامهم للأوكسجين ومكنهم من البقاء أحياء، حتى بحجم دم منخفض.

تستخدم درجات الحرارة المنخفضة أحياناً بصورة متعمدة خلال العمليات لإبطاء معدل الاستقلاب في الجسم وبالتالي لإنقاص متطلبات الأنسجة من الأوكسجين، الأمر الذي يتيح إمكانية قطع تدفق الدم بين الحين والحين دون إتلاف النسيج. في الجراحة القلبية، مثلاً، يمكن إيقاف القلب مدة تصل حتى الساعة وذلك باستخدام محاليل باردة درجة حرارتها نحو 4 مئوية (أمّا بقية الجسم فيزودها بالدم الحار جهاز قلب ـ رئة اصطناعية). كذلك يبرد الدماغ، في بعض العمليات الجراحية العصبية، ليصبح بالإمكان إيقاف الدورة الدموية المحلية مدة تصل حتى 15 دقيقة. كما يمكن لإبقاء الرأس بارداً أن يساعد في الحيلولة بين الأطفال الذين يعانون من نقص الأوكسجين أثناء ولادة عسيرة، وبين أن ينمو لديهم لاحقاً تلف دماغي غير قابل للشفاء. يحدث معظم التلف محلياً بعد يوم أو يومين من الولادة ولدى

الحيوانات، يمكن منع تبريد الدماغ بعد الولادة مباشرة. وهناك تجارب تجري حالياً على أطفال من البشر للبت فيما إذا كان تركيب خوذة مبردة بالماء بعد الولادة تبرد رأس الطفل بنحو ثلاث درجات مئوية، تخفض التلف الدماغي أم لا.

حول البطريق والدببة القطبية

نشأ الإنسان ثم تطور في سهول أفريقيا، لهذا فإن قدرتنا على التغلب على البرد محدودة. بالمقابل فإن كثيراً من الحيوانات تتكيف تكيفاً تاماً مع البيئة الباردة. إنها تعزل بفراء سميك أو شحم تحت الجلد، ويغلب عليها أن تكون كبيرة الحجم، ذات أطراف قصيرة، مما يساعدها في إنقاص نسبة مساحة بطنها إلى حجمها وبالتالي فاقدها الحراري. كما أن الكثير منها لديه بروتين مضاد للتجمد في دمها وأنسجتها، فيما يختار بعضها الآخر الخروج من الحياة النشطة سامحاً لحرارة جسمه أن تنخفض حتى درجة البرودة (أو حتى التجمد)، ولمعدل الاستقلاب لديه أن يهبط هبوطاً كبيراً وهو غارق في سباته إلى أن يمر الطقس القاسي. إنها استراتيجيات فعالة بحيث إن المشكلة الحقيقية بالنسبة إلى كثير من الحيوانات للعيش في المناخ البارد ليست درجة الحرارة بل مقدار الغذاء المحدود.

يحفظ الفرو (أو الريش) الحيوان في حالة من الدفء لأن الهواء ينحبس داخل الشعر ويقدم طبقة عزل إضافية. كما أن نفخ الغطاء إلى الأعلى من خلال انتصاب الشعر أو الريش يزيد مقدار الهواء المحتبس وينقص الفاقد الحراري. فالهواء عازل حراري شديد الفعالية. إنه المسؤول عن أن كثرة طبقات الملابس توفر دفئاً أكثر من طبقة سميكة واحدة وأن ثوباً من الليف معظمه ثقوب يدفئك والمسؤول عن التدفئة هنا هو الجيوب الهوائية الواقعة بين الخيوط. (ولقد طور الثوب الليفي من أجل حملة غراهام لاند البريطانية إلى القطب الجنوبي بين 1920 ـ 1922، كما كان يستخدم في

أيام شبابي لكنه لم يعد متاحاً للاستخدام العام الآن).

تسقط الفعالية الوقائية لفرو الحيوان بتزايد سرعة الريح، نظراً لأن الطبقات المحتبسة من الهواء الدافئ تضطرب. وسوف يكون، منطقياً، أدفأ لك أن تلبس معطفاً فرائياً بالمقلوب، كما يفعل الأسكيمو. غير أن هذ الخيار غير متاح للحيوان نفسه. من الواضح أن معظم معاطف الفراء في العالم المتطور تلبس كنوع من الزي والصرعة أو كرمز يدل على المكان الاجتماعية، لا لأغراض عملية، ذلك أن جلود الخراف وحدها هي التي تلبس بالمقلوب.

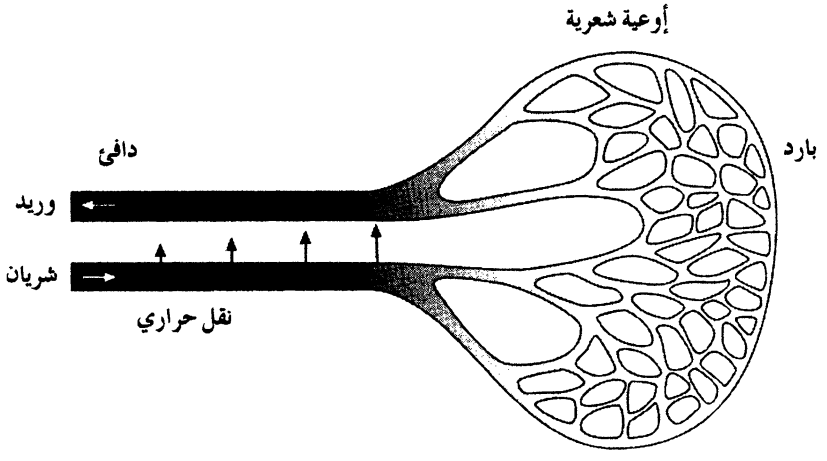
لكن إذا كان الفرو والريش شيئاً جيداً جداً في الهواء فهما ليسا كذلك

يعيش الثعلب القطبي بهناءة في درجة حرارة ـ 50 مئوية. إن غطاءه الشتوي السميك يوفر له عز فعالاً تاماً، فينام متكوراً على نفسه على شكل كرة محكمة الإغلاق وأنفه وقوائمه إلى الداخل كذلك يساعده جسده المشدود وقوائمه القصيرة وأذناه الصغيرتان في حفظ الحرارة الحيو

في الماء، إذ يتسرب الهواء من بين الشعر ويفقد خصائصه العازلة. بينما يعتبر الشحم أو دهن الحوت عازلاً أكثر فاعلية في الماء، فالفقم لديها طبقات هامة من الشحم تحت جلودها، كذلك هي حال الدببة القطبية التي تقضي أيضاً قدراً لا بأس به من وقتها في البحار المتجلدة. ويمكن أن نتوقع من البشر السمان أن يبقوا على قيد الحياة حين يغطسون في ماء بارد (زمناً أطول من أولئك النحاف).

إن رجلاً يقف حافياً على طوف جليدي سيصاب بسرعة بقضمة الصقيع. لكن البطريق يفعل ذلك طوال حياته دون أن يصاب بأذى. لا تصاب أقدام البطريق بقضمة الصقيع لأنها لا تبرد أبداً إلى درجة حرارة الجليد، فالدم الذي يجري إليها مكيف بحيث يبقيها في درجة حرارة أعلى قليلاً من الصفر ويمنعها من التجمد. حين تهبط درجة الحرارة تحت ـ 10 مئوية. ينقص البطريق الأمبراطور من نقاط تماسه مع الأرض وذلك بالوقوف على عقبه وذيله ضاماً أصابع قدميه وزعانفه أقرب ما يكون إلى جسمه. وقد يبدو غريباً، لدى النظرة الأولى، أنه ليس للبطريق أقدام معزولة على نحو أفضل على الرغم من أنه، ككل، معزول جيداً وعلى نحو استثنائي بحيث يغدو من الصعب عليه التخلص من الفائض الحراري الناتج عن ممارسة الرياضة أو الحركة. والقدمان واحدة من المناطق القليلة في الجسم التي يمكن حدوث هذا فيها.

ليس من السهل على سمكة أن تحافظ على درجة حرارتها أعلى من درجة حرارة الماء المحيط، نظراً لأن تدفق الدم السريع والواسع عبر الغلاصم، وكذلك الضروري للتنفس يؤدي حتماً إلى فقدان حرارة مفرط. غير أن سمكتي التونة والقرش طورتا مبدلاً حرارياً وعائياً معاكساً للتيار يتيح لها إمكانية إبقاء عضلاتها بدرجة حرارة أعلى حتى العشرين مئوية من درجة حرارة بقية الجسم. هذا المبدل، شأنه شأن المبدل الحراري للظبي الذي ذكرناه في الفصل الثالث، يتألف من شبكة من مئات الأوردة والشرايين



حين يمتد شريان محيطي بمحاذاة وريد، يكون هناك مجال حراري شبكي بينهما نظراً لأن الدم الذي يغادر لب الجسم هو أكثر حرارة من ذلك الفاقد من الجلد البارد، مما يؤدي إلى انتقال الحرارة من الشريان إلى الوريد وينتج دارة حرارية قصيرة تحافظ على الحرارة داخل لب الجسم وتنقص الفاقد الحراري المحيطي. مثل هذا التبادل يحدث حتى لدى البشر، فالأوردة تمتد عميقاً في الأنسجة، في حين هناك مجموعات من الأوعية الوريدية، واحدة تمتد بجوار الأوردة والثانية تمتد تماماً تحت سطح الجلد. ومنع دم الأوردة المحيطة من الوصول إلى الأوردة الأعمق يساعد في حفظ الحرارة. هذا الترتيب داخل مبدل حراري وعائي (الريتي ميرابيل) يتألف من مئات الأوردة والشرايين الدقيقة المتداخلة (أنظر الصورة أعلاه). وسمكة التونة ذات الزعنفة الزرقاء و«الريتي ميرابيل» شوهدت أول مرة من قبل عالم الطبيعة الفرنسي جورج كيفينتي سنة 1831.

الدقيقة المتداخلة، لكن في هذه الحالة، تنتقل الحرارة من الدم الدافئ المغادر للعضلة العاملة كي يسخن الدم الداخلي الأبرد. فالعضلة الأدفأ هي المسؤولة عن قدرة سمكة التونة على السباحة بسرعات تصل حتى 18 كم في الساعة. توجد مبدلات حرارية معاكسة للتيار مماثلة في زعانف الفقم والدلافين وفصي ذيل الحوت، حيث تساعد في منع فقدان الحرارة داخل ماء البحر البارد كالصقيع. كذلك، لدى الطيور التي تخوض في الماء طوال النهار على قوائم طويلة نحيلة معزولة، مبدلات حرارية وعائية في قوائمها. وهذا يفسر لماذا لا تعاني من أي آثار سيئة، بينما يمكن للإنسان الذي

يخوض بقدميه في ماء متجلد أن يصاب بمرض «قدم الخندق».

كذلك تتكيف الحيوانات مع البرد المزمن من خلال تغيرات كيمياوية داخل خلاياها تمكنها من العمل بدرجات حرارة أدنى. تتوقف العضلات والأعصاب البشرية عن العمل حين تنخفض درجة حرارتها إلى ما دون 8 مئوية. لكن لدى الحيوانات القطبية تظل تعمل حتى درجة حرارة قريبة من الصفر. سبب هذا الفارق يكمن في طبيعة الشحوم (الدهون تقنياً) الموجودة في أغشية خلاياها. إذ إن معظم أنماط الشحم الحيواني يصبح قاسياً يتقصف بسرعة حين يبرد كثيراً، لكن الشحوم الموجودة في قوائم نوارس البحر والحيوانات التي تعيش في الأقاليم الباردة لها درجة ذوبان تختلف باختلاف بعدها عن لب الجسم. فالشحم المستخلص من أقدام الأيل، يظل سائلاً بدرجة حرارة منخفضة ويستخدمه الأسكيمو كمساعد للانزلاق، في حين يكون شحم القسم الأعلى من القائمة جامداً حتى في درجة حرارة الغرفة ويستخدم للطعام. وإذا اقتربنا من الوطن، فإن زيت قدم البقر الذي يؤخذ من أقدام الماشية. يمكن استخدامه لإبقاء الجلد المعرض للبرد لدناً. إن التغيرات في مقدار الشحم المشبع الموجود في غشاء الخلية هي المسؤولة عن تلك الفوارق الفيزيائية. فالشحوم المشبعة كالزبدة مثلاً، تكون صلبة في درجات الحرارة المنخفضة، في حين تظل الشحوم غير المشبعة، كزيت الزيتون مثلاً، لزجة أو سائلة، والمدهش أن غشاء الخلية العصبية نفسه يمكن أن يغير تركيب شحومه في مختلف أنحاء طوله، باعتبار أن لديه شحوماً أقل إشباعاً في النهايات وأكثر إشباعاً في الأماكن التي تقع داخل كتلة جسم الحيوان. الأمر الذي يكفل أن تظل مرونة الغشاء دائمة على طول الخلية وتحافظ على وظيفة العصب والعضلة حتى في البرد.

يعدل الحيوان سلوكه، شأنه شأن الإنسان، كي يقهر البرد. فالبطريق ـ الأمبراطور يعيش في مناطق القطب الجنوبي ويتعرض إلى شروط جوية هي الأشد قسوة على وجه الأرض. إنه يتناسل في أعماق الشتاء وفي جو

تنخفض درجة حرارته حتى ـ 30 مئوية بل ربما تنخفض أكثر بكثير بفعل الرياح المجمدة التي يمكن أن تصل سرعتها إلى ما يزيد عن 200 كم / سا. أمّا مستوطناته الجماعية فإنها لا تتوضع على الجليد الطافي بل على رف الجليد الدائم نفسه، أي على بعد كيلومترات كثيرة من البحر المفتوح حيث لا غذاء في تلك المجاهل المتجمدة. وبذلك يواجه البطريق صياماً إجبارياً خلال فترة التفريخ. في آذار / مارس، وحين يكون طوق الجليد حول القطب الجنوبي في أضيق حالاته، يبدأ كل من الذكر والأنثى مسيرتهما الطويلة إلى مكان التجمع، وبعد وضع بيضة واحدة في أواخر أيار / مايو أو حزيران / يونيو، تعود الأنثى إلى البحر بحثاً عن الغذاء تاركة رفيقها الذكر حاضناً البيضة إلى أن تعود بعد نحو شهرين. يواجه الذكر أسوأ الشروط الجوية لشتاء القطب الجنوبي. فخلال هذه المدة، لا يتغذى البتة بل يتعين عليه أن يبقى على قيد الحياة مستعيناً تماماً بمخزون من شحوم جسده. حين تعود الأنثى لتحمل عنه العبء، ربما يكون قد فقد 40 بالمئة من وزنه، مع ذلك فإن «صيامه» الطويل لم ينته، إذ يتعين عليه أن يمشي إلى البحر المفتوح قبل أن يتمكن من إيجاد الغذاء، وقد يكون البحر على بعد 200 كم وذلك بسبب الجليد الجديد الذي تشكل خلال الشتاء. أي يتوجب على الذكر أن يصوم من اللحظة التي يغادر فيها البحر إلى لحظة عودته إليه وهي مدة قد تربو على 115 يوماً.

لقد حسب العلماء أن الحرارة التي يمكن أن تنتج عن مخزون البطريق من الشحوم غير كافية للحفاظ على درجة حرارة جسمه بمستواها العادي. أي 38° مئوية. وذلك في البرد القارس لشتاء القطب الجنوبي. إذن كيف يستطيع البطريق ـ الأمبراطور أن يبقى حياً؟ إن السر يكمن في سلوكه الاجتماعي. فالبطاريق البالغة، وكذلك فراخها فيما بعد، تتجمع متلاصقة معاً على شكل مجموعات كبيرة قد تضم الواحدة منها عدة آلاف. هذا التجمع ينقص مساحة السطح المعرض للهواء المتجمد، وبذلك يحافظ على

الحرارة، هذه التجمعات الهائلة من الطيور تتحرك باستمرار بحيث تشق بطاريق الخارج طريقها إلى الداخل، حالّة محل الطيور الأدفأ الموجودة هناك والتي تتوجه بدورها إلى الخارج.

مثل ذلك التجمع لا يقتصر على البطريق. فالنحل أيضاً يتجمع معاً في درجات الحرارة المنخفضة، وهو السلوك الذي يمكّن المجموعة من تجاوز الشتاء بدرجات حرارته التي قد تسبب الموت لنحلة بمفردها. إنه يتكتل ملتحماً معاً، حين تهبط درجات الحرارة، مما ينقص الفاقد الحراري كثيراً. إذ يمكن أن تكون درجة الحرارة، في قلب التكتل، نحو 30° مئوية رغم أن حرارة الجو المحيط تكون في حدود درجتين مئويتين. تنخفض درجة حرارة الأجزاء الخارجية من التكتل إلى نحو 9° مئوية، أي تماماً فوق درجة الحرارة التي يصبح فيها النحل في حالة غيبوبة، وكما هو الحال مع البطريق، ثمة حركة دورانية مستمرة ينتقل فيها نحل المحيط الأكثر برودة إلى قلب الكتلة الأكثر دفئاً والعكس بالعكس. ولسوف تحسن التصرف أي مجموعة بشرية تقع في قبضة البرد إن حاكت هذا السلوك. والحقيقة، أن الممارسة القديمة «للترزم» ما تزال تشاهد في بعض التجمعات السكنية ما قبل الصناعية، حيث ينام عدة أفراد من العائلة في فراش واحد يخدم الغرض نفسه رغم أنه أقل كفاءة إذ لا يتم التناوب بين أفراد المجموعة من المركز إلى المحيط والعكس بالعكس.

يمكن للحشرات أن تطير فقط حين تكون عضلاتها دافئة كفاية، أمّا الطيران والعضلات باردة فأمر متعذر. لهذا يقال إن قبيلة الوكامبا في كينيا استفادت من هذه الحقيقة للسطو على خلايا النحل البري ليلاً حين يعمل البرد على شل النحل جزئياً. إن على الحشرات أن تدفئ عضلاتها، نظراً لأن درجة حرارة أجسامها تكون قريبة من درجة حرارة المحيط وهي في حالة الراحة، قبل أن تشرع بطيرانها الأول صباحاً. وكثير منها يفعل ذلك بأن يتعرض بكل بساطة لأشعة الشمس، لكن حشرات أخرى، كالعث والنحل،

فراخ البطريق ـ الأمبراطور وقد تجمعت معاً طلباً للدفء. يشتهر البطريق ـ الأمبراطور بحجمه وقدرته على مقاومة البرد الشديد. إن الأكثر إثارة من كل المغامرات القطبية هي المغامرة التي رواها أپسلي تشيري غارارد في كتابه «أسوأ رحلة في العالم» وهو وصف كلاسيكي للبحث عن بيضة البطريق ـ أمبراطور نقلت في عز الشتاء القطبي حيث الظلام الدائم ودرجة الحرارة المنخفضة إلى ما دون 70° مئوية.

تولد الحرارة داخلياً وذلك بقبض وبسط عضلات الطيران لديها بسرعة. يرفرف العث بأجنحته ببطء لكن النحل يدفئ عضلاته بقبضها دون القيام بأي حركة، مرئية. كذلك يوجد لدى النحل الطنان «معطف فرائي» على منطقة بلعومه، وهو ما يخفف الفاقد الحراري إلى النصف. وخلافاً للعث، فإن معظم الفراش يبقى على الأرض بغير حرارة الشمس، ولا يشاهد وهو يتراقص على الأزهار إلاّ في الأيام المشمسة الدافئة. إذ تفرد الفراشة في الصباح الباكر، أجنحتها باتجاه الشمس، هذه الأجنحة تفعل فعل الألواح الشمسية، جامعة الحرارة من أشعة الشمس، ناقلة إياها إلى عضلات الطيران وحينذاك فقط، يصبح باستطاعة الفراشة أن تقلع. عندما تحجب الغيوم الشمس تهبط الحرارة درجة أو درجتين فتحط الفراشات مرة ثانية على الأرض.

إن العظاءات، شأنها شأن الحشرات، مخلوقات حرارية شمسية تستخدم الشمس لتسخين نفسها مباشرة. في البرد، توجه نفسها بزاوية قائمة باتجاه أشعة الشمس وذلك لامتصاص أكبر قدر من الحرارة. وفي الصحراء، حيث تكون الأرض أدفأ من الجو، تلتحم بالأرض كي تمتص حرارتها، وعلى المنحدرات الجبلية الصخرية الباردة، تستخدم العشب اليابس عازلاً لها، لكن ما إن يصبح الجو شديد الحرارة حتى تتجنب القيام بأي عمل، وذلك بالانسحاب إلى الظل أو مكان تحت الأرض. لكن لا بد للحيوانات الكبيرة من زمن أطول كي تدفئ نفسها، ولعل هذا ما يفسر لماذا تعيش الزواحف الكبيرة كلها ـ التماسيح، الورل، تنيف الكومودو، والسلاحف العملاقة ـ في المناطق الاستوائية. يوجد لدى بعض العظاءات خلايا صبغية متخصصة في الجلد تساعد في تنظيم ما تكسبه من حرارة من المحيط. إذ تتمدد، في البرد، خلايا الصبغ الأسود فيزداد المعدل الذي يمتص به الحيوان الحرارة في حين تتقلص وتنكمش تحت الشمس الحارة، كاشفة بذلك خلايا مجاورة تعكس الأشعة تحت الحمراء. تكون العظاءة الكسول فريسة سهلة للمفترسات سريعة الحركة. لذا فقد طورت العظاءات، التي ليس لها آذان، آلية تكيف مهمة لإنقاص الخطر الذي تتعرض له. إنها تدفع برأسها خارج الحجر في الصباح، معرضة للشمس جيباً دموياً كبيراً في رأسها. ثم ما إن يمتص هذا الجيب كفايته من الحرارة، حتى ترتفع درجة حرارة جسمها فتخرج العظاءة وقد أصبحت قادرة على الانطلاق بسرعة عالية، إن اقتضت الضرورة.

تقوم الأفاعي، شأنها شأن البشر والحشرات، بتوليد الحرارة من خلال التقبض العضلي. فقد أشار العالم الفرنسي لاماربيكو سنة 1832 إلى أن أفعى البيثون الهندية تتكور حول بيوضها وتدفئها بحرارة جسمها نفسها، على أن فكرته هذه لم تلق إلاّ القليل من التصديق في حينها، بل رفضتها بعد ذاك الأكاديمية الفرنسية للعلوم باعتبارها «متوقفة على المصادفة وموضع شك»،

مع ذلك، كان لاماربيكو على صواب. لقد أظهرت الدراسات التي أجريت في ستينيات القرن العشرين أن البيثون، بتقليص عضلاتها وبسطها، تكون قادرة على إبقاء حرارة جسمها أعلى بنحو خمس درجات من حرارة الجو المحيط.

على أن أبلغ مثال عن تكييف السلوك مع البرد هو الهجرة والسبات الشتوي، فالثدييات الصغيرة لا تستطيع الحفاظ على درجة حرارة اللب 37° مئوية في بيئة قارسة البرد، لأنها ببساطة لا تستطيع أن تأكل ما يكفي للحصول على ما تحتاج إليه من وقود. عوضاً عن ذلك تلجأ إلى خيار آخر هو الخروج من المحيط الحراري كله والسبات إلى أن يصبح المناخ ألطف وأدفأ. إنها تسمح لمعدل الاستقلاب لديها بالهبوط، نظراً لأن الأنسجة الباردة تحتاج إلى طاقة أقل، وبذلك تحافظ على مخزوناتها من الطاقة، فتهبط درجة حرارة جسمها من 37° مئوية إلى درجة حرارة المحيط وبصورة ملازمة لها. كذلك تتناقص معدلات نبض القلب، التنفس، والتفاعلات الكيماوية في الأنسجة. إن السبات الشتوي هو عملية بالغة التنظيم، إنه إعادة وضع المنظم الحراري في مستوى أدنى بكثير، بدلاً من الفشل في تنظيم الحرارة. فإذا هبطت درجة الحرارة إلى ما دون درجتين مئويتين، يولد الحيوان الحرارة بفعالية وعلى نحو يحفظ حرارة جسمه بين 2° و5° مئوية كي يضمن عدم تجمدها، بل ربما يستيقظ في الطقس القارس جداً. يبدأ السبات الشتوي من خلال تغيرات درجة الحرارة، وكذلك قصر النهار، وتوفر الغذاء الذي يشير إلى اقتراب الشتاء. أمّا في الربيع فتحدث الاستثارة بسرعة حين ترتفع درجة حرارة اللب إلى 30° مئوية خلال تسعين دقيقة. يتم الاستيقاظ السريع بفعل هرمونات تنشط استقلاب الشحوم السمراء الذي يسخن جسم الحيوان.

تلجأ الطيور الجاثمة الصغيرة للهجرة إلى الأقاليم الأكثر دفئاً في الشتاء، أو تنحدر من الجبال إلى السهول. وعلى الرغم من أن هذا يساعد

في تجنب البرد وتخفيض المؤونة الغذائية، إلاّ أنه يقتضي آليات تكيف فيزيولوجية خاصة بالهجرة الطويلة. إذ يتعين على معظم الطيور الصغيرة أن تسمن مسبقاً، بسبب ما يحتاج إليه الطيران الطويل من إنفاق عال للطاقة. كذلك يتعين على الكثير منها أن تتوقف في طريقها للتزود من جديد بالوقود، نظراً لأن القيود التي يفرضها الطيران على الوزن تعني أنها لا تستطيع أن تختزن من الوقود ما يكفي للرحلة كلها. ومن المثير للسخرية أن الناس الذين يهاجرون أيضاً إلى أقاليم أكثر إمتاعاً بقضائهم العطل الشتوية تحت أشعة الشمس الدافئة، غالباً ما يحاولون أن «يفقدوا» وزناً قبل السفر.

الحياة في القطبين

تسبب الحياة في القطب أو في أعالي الجبال، كثيراً من المشاكل علاوة على البرد. فالشمس، خلال أشهر الصيف، لا تغيب في القطب، بل هي بكل بساطة تدور في الجو وتدور كل يوم. لهذا، فإن أشعتها، في الأيام الصافية، يمكن أن تكون شديدة وقد تسبب حروقاً شمسية حادة، أمّا انعكاسات الأشعة على الثلج والجليد فإنها تبهر العيون، لهذا فإن النظارات الشمسية البارزة ضرورية لمنع عمى الثلج وهو نوع من الحروق الشمسية التي تصيب العيون وتجعلك تشعر بها وكأنها ملأى بالرمل كما تجعل عملية طرف الأجفان مؤلمة للغاية. كذلك فإن غبش البياض، حين تندمج الأرض والسماء واحدتهما بالأخرى وعلى نحو دقيق للغاية، يجعل حتى المشي صعباً. فمن انعدام الظلال التي توفر إمكانية المقارنة، يغدو من المتعذر كشف تعرجات السطح وتضاريسه. ذلك أن الثلج والجليد يشكلان الظل نفسه، وهو الأبيض ـ الأزرق، شأنهما شأن الحفرة التي تقع بجانبهما. لهذا، من الممكن أن تسقط في هاوية أو تمشي داخل كتلة جليد عالية حتى

(3) قصته وقصة المأساة على إيڤرست في شهر أيار / مايو ذاك مروية في كتاب «في الهواء الرقيق» وهو وصف مثير كتبه جون كراكور أمّا الاقتباسات فتأتي من هذا الكتاب.

الخصر دون أن تنتبه. كما تصبح المشاكل المستديمة المتعلقة بإيجاد الغذاء والماء أكثر صعوبة حتى وتصبح الحياة في البرد، بغير تسهيلات دعم ملائمة، خطرة على البشر، ولقد دفع كثير من مكتشفي القطب ومتسلقي الجبال حياتهم ثمناً لذلك.

5

العيش في المجاز السريع

«الآن، الآن» صرخت الملكة «أسرع!! أسرع!!»

لويس كارول «عبر الزجاج المطل»

(وما اكتشفته أليس هناك)

41

ذات أصيل شديد الرياح في أيار / مايو 1954، وصل عدّاء شاب إلى ملعب شارع إيفلي في أكسفورد للمشاركة في مباراة بين جامعة أكسفورد ورابطة الرياضيين الهواة. لم يكن يوماً ميموناً بالنسبة إلى أرقام السرعة العالمية نظراً لأن الرياح العاصفة كانت تهب بشدة منذة عدة أيام. مع ذلك جرى روجر بانيستر، ذلك العصر، ميلاً بأقل من أربع دقائق. كان بانيستر، وهو طالب طب سابق في أكسفورد، ذا شهرة سابقة كعداء ميل، يجري لصالح الفريق أأأ. جنباً إلى جنب مع زميليه كريس شتاوي وكريس براشر. ولقد لعب الكريسان (زميلاه) دوراً هاماً في نجاحه وذلك بقيامهما بدور صانع الإيقاع وضمانهما أن لا يجهد روجر، الذي كان يشعر بأنه مليء، بالجري إلى حد رهيب، نفسه في البداية وبالتالي يخفق في الحفاظ على الإيقاع طوال السباق. اجتاز مانيستر شريط النهاية في الدقيقة الثالثة و59,4 من الثانية، ثم انهار بعد ذلك الجهد المذهل الذي بذله، ليكتب بعد ذلك في دفتر توقيعاته أنه شعر «مثل ومضة ضوء انفجرت مع انعدام كل رغبة في المشي. . . كما انبثق الدم من عضلاتي وبدا وكأنه يصرعني. لقد بدا الأمر وكأنما أطبقت على أطرافي كلها «ملزمة تشد ـ وتشد». لقد كان شللاً مؤقتاً فقط، إذ بعد لحظات تم الإعلان عن سرعته، فانفجر الحشد هادراً مهتاجاً، وفي الحال جرى بانيستر وزميلاه على الممر ثانية منتصرين ظافرين فيما كان

الجمهور يحيى البطل ويهلل له وقد حقق واحداً من أعظم إنجازات القرن الرياضية. لقد استمر السير روجر لتكون له سيرة مهنية متميزة كطبيب أعصاب، لكن معظم الناس لا يذكرونه إلاً في سباقه التاريخي ذاك.

عندما قطع السير روجر بانيستر الميل بأقل من أربع دقائق، كان يعتقد على نطاق واسع أن من المستحيل فعل ذلك وهكذا، فإن تبيانه العكس فتح أذهان الرياضيين الآخرين، وخلال بضعة أشهر حطم رقمه القياسي. أمّا الآن، فهناك رجال آخرون (لكن ليس من نساء بعد) لم يضارعوا إنجازه الرائع وحسب بل تجاوزوه أيضاً.

إن الرقم القياسي العالمي الراهن هو 3 دقائق و43,13 ثانية وقد سجله هشام القروح من المغرب في 7 تموز / يوليو 1999. مع ذلك فإن مدته لم تكن أسرع من مدة البطل السابق نور الدين مرسيلي إلاً بـ 1,26 ثانية. أرقام عالمية أخرى تحطم باستمرار، إنما بمقادير أضأل وعلى نحو متزايد. أحدث الأرقام القياسية لسباق الـ 100 متر هي 9,85 و9,84 و9,79 ثانية، سجلها ليروي بوريل سنة 1994 ودولفان بيلي 1996، وموريس غرين سنة 1999. إنه يشكل تقدماً مقداره 0,6 من الثانية فقط خلال خمس سنوات مما يثير التساؤل عما إذا كانت هذه الأرقام القياسية العالمية في حدود السرعة البشرية أم لا. يلقي هذا الفصل الضوء على الحدود الفيزيولوجية للسرعة، الزخم، القوة وكل ما يضع الحدود لمقدار السرعة التي يمكن أن نجري بها، ولمقدار المسافة التي يمكن أن نقفزها وللثقل الذي يمكن أن نرفعه.

مسألة الطاقة

فيما ينتظر العداء عند نقطة الانطلاق سماع صوت الطلقة. تشتغل آليات استباقية مختلفة كي تعد جسمه للسباق المقبل. إذ ترتفع نسبة الأدرينالين في الدم، مُسرِّعة بذلك النبض، جاعلة القلب ينقبض بشدة أكثر، نتيجة ذلك، يزداد مقدار الدم المضخ في كل نبضه. كما يصبح التنفس أعمق

وقد يسرع قليلاً. أمّا العضلات فتنشد وينسحب الدم بعيداً من الأنسجة الأخرى ليزداد ما يقدم منه لعضلات الساقين. هذه التغيرات كلها تجري قبل أن يبدأ الجري عملياً.

طق!! وتضع رصاصة الانطلاق العدائين على طريقهم، حين يثبون إلى الأمام، تحدث قفزات مباشرة في معدل التنفس وعمقه. كما يرتفع معدل نبضات القلب سريعاً إلى مستواه الأقصى، كذلك يزداد حجم الدم المقذوف مع كل نبضة، فيما يسلم الهيموغلوبين الموجود في كريات الدم الحمراء المزيد من الأوكسجين الذي يحمله إلى العضلات تلبية لطلبها المتزايد. ومع اندفاعة العداء في السباق بأقصى سرعته، فإن عضلاته تولد مقداراً كبيراً من الحرارة فيحمر الجلد مع توجه الدم إلى سطح الجلد للمساعدة في تبريده. بعد بضع ثوان من السباق ينفد مخزون الطاقة المباشر ويبدأ حمض اللب بالتراكم في العضلات فيما يشرع الرياضي بالإحساس بالحاجة للأوكسجين. فإذا ضغط على نفسه أكثر، يصل جسمه إلى درجة الإرهاق إذ يغدو عاجزاً عن توفير الوقود والأوكسجين للعضلات بالسرعة الكافية، كما يصبح إيقاع القلب أقل انتظاماً والدم الذي يضخه القلب يتراجع، بينما يمكن أن يهبط محتوى الدم من الأوكسجين وترتفع درجة حرارة الجسم. حينذاك يغدو الرياضي ثقيل الحركة غير قادر على تنسيقها وأقرب إلى الانهيار.

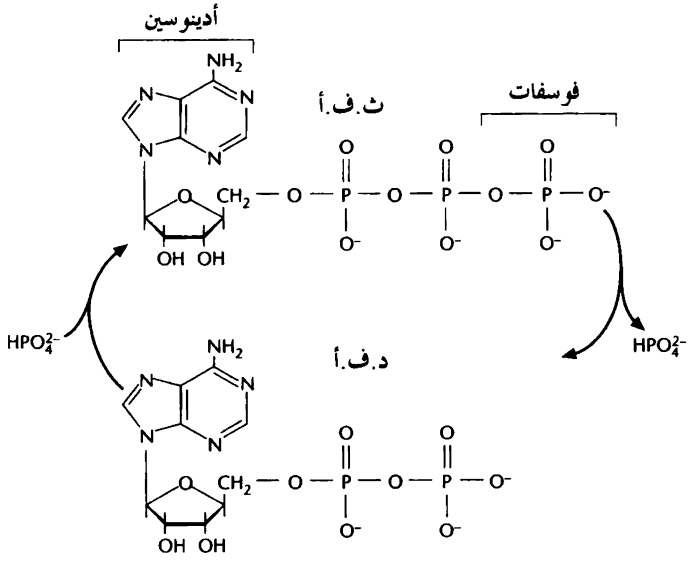
لا يستطيع أحد، ولا حتى رياضي الصفوة، أن يعدو بعيداً جداً بسرعته القصوى. ذلك أن جري المسافات البعيدة يتطلب مهارات مختلفة. فلكي يقطع العداء الكثير من الأميال بأقصر زمن ممكن، يجب أن تكون الخطوة أبطأ، ففي هذه الحالة فقط يمكن تزويد العضلات بالأوكسجين والوقود اللذين تحتاج إليهما دون التعرض لنقص الأوكسجين. وعلى عداء المارتون دائماً أن يوازن بين السرعة وطاقة التحمل.

إن مفتاح الموازنة هذه هو المعدل الذي يمكن به توليد الطاقة ـ على

شكل ثالث فوسفات الأدينوسين ـ لتوفير القدرة للعضلة على التقلص. وثالث فوسفات الأدينوسين هذا، الذي يختصر على شكل (ث. ف. أ)، هو جزيء بالغ الخصوصية. إنه تيار الطاقة الكهربائي للخلية، الوقود الكيميائي الحيوي الذي يعطي القدرة لخلايا المتعضيات الحية كلها، سواء كانت جراثيم أو نباتات أو حيوان. يتألف الـ (ث. ف. أ) من رأس أدينوسين وذيل من ثلاث فوسفاتات. على أن الذيل الفوسفاتي هو القسم الأهم من الجزيء لأن مجموعات الفوسفات تترابط مع بعضها بعضاً بروابط كيماوية عالية الطاقة. إن شطر الفوسفاتة الأخيرة يحرر الطاقة المخزونة في الرابطة الكيماوية فتصبح حينذاك في متناول العضلة كي تتقلص. غير أن تقلص العضلة لا يكون كافياً تماماً. إذ لا يستخدم للعمل فعلياً إلاّ نحو نصف الطاقة المخزونة في الـ (ث. ف. أ)، أمّا البقية فتتبدد على شكل حرارة، وهو ما يفسر لماذا تصبح حاراً عندما تجري.

إن ما يخزن في العضلة من الـ (ث. ف. أ)، رغم أهميته، هو مقدار ضئيل جداً. لذا يتوجب تجديده باستمرار وذلك بإضافة ذرة فوسفات إلى جزيء ثاني فوسفات الأدينوسين (ث. ف. أ) الذي ينتج عن تحرر الفوسفاتة الأخيرة من الـ (ث. ف. أ)، إن المصدر المباشر للفوسفات عالي الطاقة الخاص بإعادة توليد الـ (ث. ف. أ)، هو فوسفات الكرياتين الذي يوجد في العضلة بمقادير كبيرة تماماً. وفوسفات الكرياتين هو مركب آخر غني بالطاقة لكنه، وخلافاً للـ (ث. ف. أ)، لا يمكن استخدامه مباشرة من أجل تقلص العضلة. بدلاً من ذلك، ينقل فوسفات عالي الطاقة إلى الـ (د. ف. آ). وبذلك ينتج الـ (ث. ف. آ). يكون مقدار فوسفات الكرياتين في العضلة كافياً لنحو ست إلى ثماني ثوان من مجمل التمرين كله اندفاعة 50 متراً أو ضربة تنس للكرة بسرعة 130 ميلاً في الساعة، لكنه هو أيضاً ينفد.

وما إن ينفد فوسفات الكرياتين، حتى يتعين أن يحل حله الـ (ث. ف. أ.) عن طريق استقلاب (تحطيم) الكربوهيدرات أو الشحم، تحوي



الـ ث.ف.أ- وقود الحياة

(ث ف أ) = وقود الحياة

العضلة مخزوناً محدوداً من الكربوهيدرات على شكل غليكوجين (النشا الحيواني) الذي يشكل عادة 1 ـ 2 بالمئة من كتلة العضلة. يدوم هذا نحو ساعة من الممارسة الرياضية، بعدئذ يتعين أن يتم استقلاب الغلوكوز والشحم من مستودعات التخزين في الكبد والنسيج الدهني. ثمة حاجة دائمة للأوكسجين من أجل استقلاب الشحوم، لكن يمكن تحطيم الكربوهيدرات إمّا بواسطة المجاري الهوائية التي تتطلب الأوكسجين أو المجاري غير الهوائية التي لا تستخدم الأوكسجين. لا يمكن للاستقلاب الهوائي، نظراً للحاجة للأوكسجين، أن يوفر الطاقة بالسرعة التي يوفرها الاستقلاب اللاهوائي. هذا يعني أن الشحوم ليست مصدراً مباشراً للطاقة كما هي الحال مع الغلوكوز أو الغليكوجين. كذلك تحتاج الشحوم لمزيد من الأوكسجين لكي تتحطم. لهذا تعد الكربوهيدرات، من أجل الجري السريع، هي الوقود الأفضل.

يخدم الاستقلاب اللاهوائي (بغير أوكسجين) للغليكوجين والغلوكوز

كوسيلة قصيرة المدى لإعادة التزويد بالـ (ث. ف. أ.) خلال رياضة قاسية وهو ذو أهمية حاسمة في رياضات مثل كرة القدم، حيث تشيع الاندفاعات القصيرة لرياضة عالية التكثيف تستنفد الإمدادات المباشرة من الـ (ث. ف. أ). مع ذلك، لا يمكن للاستقلاب اللاهوائي أن يستمر للأبد، إذ يتبع حمض اللبن وتراكم هذا الحمض يعيق أخيراً فعالية العضلة ويسبب الإنهاك، كما يكون هذا التراكم مؤلماً ومسؤولاً عن «الحرق» الذي غالباً ما يشير إليه المدربون ـ و«أن تمضي إلى حدود الحرق» يعني أن تمارس الرياضة إلى حدود قدرتك اللاهوائية. حين تتوقف الرياضة يتعين تنظيف الجسم من حمض اللبن بعملية تستهلك الأوكسجين. يطلق على كمية الأوكسجين المطلوبة مصطلح «دين الأوكسجين» الذي استخدمه لأول مرة الفيزيولوجي البريطاني أرشيبالد هيل وهو السبب في أنك، بعد لعبة سكواتش عنيفة، تظل تلهث طلباً للنفس بعد فترة من توقفك عن اندفاعك هنا وهناك. إذ بقدر ما تكون رياضتك أعنف، يكون إنتاج حمض اللبن أكثر. وتطول المدة المطلوبة للتخلص منه. لذلك فإن الهاضمة اللاهوائية تشتري الوقت، لكن فترة من الزمن فقط وبسعر غالٍ.

وعلى الرغم من أن الاستقلاب اللاهوائي يحرر الطاقة بسرعة، إلاَّ أنه ينتج القليل من الـ (ث. ف. آ) نسبياً، جزيئين فقط من الـ (ث. ف. أ) مقابل كل جزيء من الغلوكوز. بالمقابل، فإن الاستقلاب الهوائي أكثر فعالية بكثير إذ ينتج 34 جزيئاً إضافياً من الـ (ث. ف. أ.) لذلك تعتمد الممارسة الرياضية التي تدوم أكثر من دقيقتين أو ثلاث، اعتماداً متزايداً على الاستقلاب الهوائي. إذ إن نحو نصف الطاقة المطلوبة لجري مسافة 1000 م (2,5 دقيقتان)، و65 بالمئة من تلك المطلوبة لجري ميل (أربع دقائق) وكل الطاقة المطلوبة تقريباً في سباق ماراتوني، إنما تأتي من الاستقلاب الهوائي.

ونظراً لأن الاستقلاب الهوائي يعتمد على الأوكسجين، فإن معدل إنتاج الـ (ث. ف. أ.) يحدد المعدل الذي يمكن توفير الأوكسجين إلى

النسج. وهذا، بدوره، يعتمد على قدرات القلب والرئتين.

احتياجات الأوكسجين

يستهلك الإنسان البالغ، وقت الراحة، نحو ثلث ليتر من الأوكسجين كل دقيقة. يزداد احتياج الأوكسجين، خلال الممارسة الرياضية العنيفة، بأكثر من عشرة أضعاف لدى الناس غير المدربين ويصل إلى العشرين ضعفاً لدى الرياضيين النخبة، لذلك، يتوجب أن يكون هناك زيادة ضخمة في معدل استنشاق الرئتين للأوكسجين وإيصاله إلى النسج من قبل القلب وجهاز الدورة الدموية. والمدهش، كما يبدو، أن العامل الذي يحدد ما تأخذه العضلات من الأوكسجين ليست قدرة الرئتين أو قدرة العضلة على استخراج الأوكسجين من الدم، بل هو المعدل الذي يمكن للقلب أن يضخ به الدم في أنحاء الجسم.

إن النتاج العادي للقلب هو 5,5 ليترات من الدم في الدقيقة مما يعني أن القلب يضخ كل دقيقة حجم الدم الكامل تقريباً في الجسم (5 ليترات)، يمكن أن يزداد الناتج القلبي، في الرياضة العنيفة، بمقدار خمسة أضعاف لدى الناس العاديين، ولدى الرياضيين ذوي التحمل الكبير والتصنيف العالمي، يرتفع أكثر: إذ يصل لديهم إلى حده الأقصى وهو 35 ـ 40 ليتراً في الدقيقة. كذلك فإن هذه الزيادة في الناتج القلبي، علاوة على أنها تضمن أن تتلقى العضلات الهيكلية (التي تحرك الأطراف) مزيداً من الدم، فإنها هامة من أجل استخلاص المزيد من الأوكسجين من الهواء. إذ يمكنها أن تلتقط قدراً أكبر من الأوكسجين كل دقيقة نظراً لأن الدم يتدفق عبر الرئتين بسرعة أكبر.

إذن، كيف يكيف القلب ناتجه لكي يلبي احتياجات العضلة العاملة؟ إحدى الطرق هي زيادة المعدل الذي ينبض به القلب وهو ما يبتدئه الارتفاع في نسبة ما يدور في الدم من هرمون الأدرينالين. الطريقة الثانية هي في

زيادة حجم الدم المضخ في كل نبضة. وهذا أيضاً يحرض الأدرينالين علاوة على آلية إضافية اكتشفها الفزيولوجيان أوتو فرانك وإرنست هنري ستارلنغ. لذلك تعرف باسم أثر فرانك ـ ستارلنغ. لقد بينت دراساتهما أن العضلة القلبية، إذا ما تمددت بواسطة الدم العائد، فإنها تنقبض بقوة أكثر زائدة بذلك حجم الدم المقذوف مع كل نبضة. وعندما يزداد معدل نبض القلب فإن الدم يدور بسرعة أكبر، وبالتالي فإن الدم العائد إلى الحجيرة اليسرى من القلب يملأها بسرعة وبصورة كاملة أكثر. الأمر الذي يعني أن القوة التي ينقبض بها القلب تزداد. على أن مقدار الدم الذي يضخ في كل نبضة لا يزداد بصورة لامحدودة، بل يصل إلى حده الأقصى حين تبلغ الممارسة الرياضية نحو ثلثي قدرته الرياضية القصوى. أمّا الزيادات الأخرى في الناتج القلبي فتقود كلياً إلى الزيادة في نبض القلب.

إن أي زيادة في القوة التي يضخ بها القلب الدم تؤدي، في جهاز مغلق كجهاز دوران الدم، إلى ارتفاع في ضغط الدم، ما لم يكن هناك هبوط في مقاومة جريان الدم. فضخ الهواء داخل إطار دراجة فارغ، مثلاً، يزيد ضغط الإطار، إذا كان الأسلوب الداخلي سليماً لكن ليس إن كان هناك شق كبير فيه. لهذا فإن ضغط الدم لا يرتفع خلال ممارسة الرياضة لأن المقاومة تهبط هبوطاً شديداً، وذلك بسبب الزيادة الهائلة في دفق الدم إلى العضلات. تكون معظم الأوعية الدموية الدقيقة (الشعريات) في العضلة المستريحة، مغلقة، لكن خلال الممارسة الرياضية تنفتح هذه الشعريات النائمة، بحيث ينتشر مزيد من الدم في أنحاء العضلة كلها، وما يصل إليها من الأوكسجين يزداد ازدياداً كبيراً. كذلك ينتزع من الدم المزيد من الأوكسجين: أثناء الراحة، نحو 25 بالمئة من الأوكسجين المتاح تستخلصه العضلات، لكن يمكن أثناء الرياضة العنيفة أن ترتفع هذه النسبة إلى نحو 85 بالمئة.

مع ذلك يمكن أن تظل الزيادة في الناتج القلبي غير كافية لتوفير الأوكسجين المطلوب للعضلة الممارسة للرياضة، لذا يوجه الدم، أثناء

الرياضة العنيفة، من الأعضاء الأقل نشاطاً إلى العضلات. فالكلى، مثلاً، قد تحصل على ما هو أقل من ربع إمداداتها المعتادة من الدم. بالمقابل، يتدعم عادة دفق الدم إلى الجلد أو حتى يزداد، وذلك كي يساهم في تبديد الحرارة الزائدة التي تنتجها العضلات العاملة. كذلك تتطلب العضلة القلبية المزيد من الدم، وهو الأمر الذي يعرفه حق المعرفة المصابون بمرض القلب. إنهم يواجهون ألماً في الصدر (الذبحة الصدرية) لدى ممارسة الرياضة لأن الشريان التاجي التالف لديهم لا يستطيع تزويد العضلة القلبية بالدم الإضافي الذي تحتاج إليه، على أن الدم الذاهب إلى الدماغ وحده يبقى ثابتاً.

إنك، كما يعرف الجميع، تتنفس بصورة أسرع وبعمق أكثر عندما تركض، وبقدر ما يكون تمرينك أصعب يزداد تنفسك أكثر. تحدث التغيرات السريعة في التنفس خلال بضع ثوان من بدء التمرين وقبل مدة طويلة من بدء احتياج العضلات للأوكسجين الإضافي. إن يستبق الجسم على ما يبدو، الاحتياج المقبل للأوكسجين ويحضر نفسه سلفاً. فإذا استمرت الرياضة يزداد التنفس أكثر وأكثر. لذا ما يزال الفيزيولوجيون يحاولون أن يكتشفوا ما الذي يطلق هذه التغيرات في الجهاز التنفسي. لكن الواضح أن التنفس لا يحد من ممارسة الرياضة، إذ «لا أحد» تنقطع أنفاسه فعلاً. يغلب على معظم الناس، بالحقيقة، أن يلهثوا طلباً للنفس خلال ممارسة رياضية، وكأنك، كما قد يبدو، تكافح طلباً للهواء، لكن المشكلة ليست في أن الرئتين لا تستطيعان الحصول على ما يكفي من الأوكسجين، بل في أن قلبك لا يستطيع إيصاله بسرعة كافية إلى النسج. لكن في الأعالي فقط يحد التنفس من الأداء.

يمكن للممارسة الرياضية أن تنتج من المنافع ما هو أكثر من اللياقة البدنية. إنها تحسن حالتك المزاجية أيضاً. فالكيماويات المعروفة باسم الأندورفين تغمر دماغ العداء، وما اسمها (المورفين الباطني النماء) إلاّ تمييز لحقيقة أكيدة هي أنها تتفاعل مع المتلقيات نفسها التي يتفاعل معها المورفين. إنها، شأنها شأن المخدرات التركيبية، تخفف الألم، تزيد

الاسترخاء وتجعلك تشعر بأنك على ما يرام. وإننا لننصح كل من يشعر بأنه مليء بالحياة بالخروج والقيام ببعض التمارين البدنية. إذ لن تحسن الأندرفينات من حالتك المزاجية وحسب، بل إن لياقتك ستزداد، يضاف إلى ذلك منفعة أخرى وهي شعورك بأنك قوي وفعال في كل شيء.

وعلى الرغم من أن المخدرات، كالمورفين والأفيون مثلاً، تصيب المرء بالإدمان، إلاّ أنه من غير المحتمل على ما يبدو أن تصبح مدمناً جسدياً على الأندرفينات الموجودة في الجسم بنسب منخفضة وليس لها سوى تأثيرات لطيفة فقط. مع ذلك يتطور لدى الكثير من المولعين بالرشاقة نوع من الاعتماد السيكولوجي على الممارسات الرياضية العالية ويشعرون بالقلق والغضب إذا ما حال بينهم وبين ممارسة الرياضة أي مرض أو إصابة جسدية ولعله على المرء أن ينظر إلى هذا باعتباره نعمة، ففي النتيجة، كل ما يدفعنا للقيام بالرياضة المنتظمة، هو شيء مفيد.

إنك ما تأكل

مثلما تستخدم سيارات السباق ذات التصنيف «1» وقوداً خاصاً عالي الأوكتان، كذلك يعد المراقب الغذائي مهماً تماماً بالنسبة إلى الأرقام القياسية العالية. فالرياضيون يحرقون حريرات بشدة. ودراج رفيع ينافس في سباق فرنسا للدراجات يستهلك تقريباً 5900 كيلو حريرة في اليوم، فيما يستهلك الرياضيون الثلاثيون 4800 كيلو حريرة ولاعب كرة القدم النموذجي غالباً ما يستهلك 1500 كيلو حريرة في اليوم أثناء التدريب فقط، أمّا جري الماراتوني فيتطلب 3400 كيلو حريرة[1]. يستهلك العاملون الآخرون النشيطون بدنياً،

(1) هذه القيم خاصة بالرياضيين الذكور. أمّا الرياضيات الإناث فيستخدمن أقل. والحريرة المستخدمة لحساب المحتوي الغذائي للطعام يشار إليها، وعلى نحو أكثر دقة، ككيلو حريرة، لأنها تماماً أكبر من الحريرة بألف مرة، وهي الوحدة التي تستخدم لقياس الحرارة، فالحريرة هي مقدار الطاقة المطلوب لرفع درجة حرارة غرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة، بحيث إنه إذا أخذ المرء 2000 كيلو حريرة يكون ما يأخذه معادلاً تماماً

كالخشابين مثلاً، مقادير مماثلة. بالمقابل فإن حبة بطاطا في مكمنها لا تحتاج إلاّ لنحو 1500 ـ 2000 كيلو حريرة يومياً (لكنها غالباً ما تستهلك أكثر بكثير).

ينصح الرياضيون، تقليدياً، بأن يأكلوا أغذية عالية البروتين. وحين كنت في الجامعة، فإن أحد الأشياء التي جذبتني لكي أكون عضواً في فريق التجديف هو النظام الغذائي الخاص: شريحة لحم بقر للإفطار، الغداء، العشاء، إذ كان يظن أنها تسهم في بناء الكتلة العضلية وتعزز القدرة على الاحتمال. ولقد بينت دراسة حديثة أجريت على رياضيي كلية أمريكية أن 98 بالمئة منهم يعتقدون أيضاً أن النظام الغذائي عالي البروتين يحسن الأداء. غير أن هذه الفكرة مضللة، إذ لا يوجد دليل علمي واحد على أن للاستهلاك الزائد للبروتين أو ملحقات البروتين المكلفة أي تأثير نافع على الأداء الجسدي. أمّا ما تتناوله من الكربوهيدرات فمسألة أخرى تماماً. إذ بينت كثير من الدراسات أن الغذاء عالي الكربوهيدرات يحسن الأداء. إن نحو 60 بالمئة من الحريرات، بالنسبة لشخص نشيط بدنياً، يجب أن تؤخذ على شكل كربوهيدرات، أمّا بالنسبة لأولئك الذين يمارسون تدريبات شاقة فينبغي أن تصل النسبة إلى حدود السبعين بالمئة. فالغليكوجين وهو كربوهيدرات تختزن في العضلة والكبد، يعد الممول الرئيسي بالوقود لكل من الاستقلاب الهوائي واللاهوائي، وبقدر ما تكون التمارين أعنف تكبر الحاجة للغليكوجين كوقود. تستنفد مخزونات الغليكوجين في العضلة بعد نحو ربع ساعة من الرياضة وإذا ما استمرت هذه الرياضة عدة ساعات، فإن المخزون منه في الكبد يهبط أيضاً، مما يؤدي إلى تراجع في القدرة لدى الرياضي لأنه يضطر لأن يعتمد بشدة أكثر على ما لديه من شحوم، وهذه لا تستطيع، أن توفر الـ (ث. ف. أ.) بالسرعة التي توفرها الكربوهيدرات.

لمقدار الحرارة المطلوبة لتسخين 20 ليتراً من الماء من الصفر مئوي إلى درجة الغليان. لذا لا عجب أنك تصبح حاراً عندما تركض.

يحدث، في الرياضة المجهدة، استنفاد كبير لمخزونات الغليكوجين لذا ينبغي إعادة تعويضها وإلاَّ فإن الرياضي سيجد نفسه غير قادر على ممارسة الرياضة في اليوم التالي، فما يعني أنه بعد يوم من التدريب الشاق يكون الخبز والبطاطا أفضل (وهو لسوء حظي) من سمك السلمون المدخن والجبنة القشدية. هناك مسألة أخرى هي أنه حتى مع تناول قدر ملائم من الكربوهيدرات، لا بد من مرور وقت طويل قبل أن يعاد ملء خزانات الغليكوجين، أربع وعشرين ساعة على الأقل. نتيجة ذلك، فإنه لم يتم تدبر الأمر بعناية، يمكن أن يؤدي برنامج تدريب شاق إلى الاستنفاد التدريجي لمخزونات الغليكوجين العضلية على مدى عدة أيام، مما يؤدي إلى «الخمول» وهي الحالة التي يعاني الرياضي فيها من الإرهاق المتزايد، أنظر الآن الطاقة المتوفرة لممارسة الرياضة تهبط.

يستخدم رياضيو التحمل الطويل أحياناً أسلوباً يعرف باسم شحن الكربوهيدرات وذلك كي يزيدوا إلى أقصى حد الغليكوجين المختزن في عضلاتهم قبل دخولهم المباراة. ولقد ثبت بالتجربة والخطأ أن خير طريقة لفعل هذا هي تفريغ مخزونات الغليكوجين في العضلات ذات العلاقة أولاً وذلك بممارسة تمارين مجهدة، ولعل هذا يشتمل، بالنسبة إلى عداء ماراتوني، الجري مسافة عشرين ميلاً. كما إن تناول غذاء منخفض الكربوهيدرات في الأيام القليلة التالية يؤدي إلى مزيد من الاستنفاد، مع متابعة التدريب بمستويات معتدلة. بعدئذ، وقبل يومين أو ثلاثة من المباراة يبدأ تناول نظام غذائي غني بالكربوهيدرات ويخفض التدريب.

إن عملية تفريغ مخزونات الغليكوجين هذه في البداية ثم مباشرة نظام غذائي غني بالكربوهيدرات يؤدي إلى «إتخام» العضلات التي كانت تعمل بمخزونات الغليكوجين. لكن هذا لا يفيد بالواقع إلاَّ رياضيي التحمل الطويل الذين تتعلق رياضتهم المختارة بتمارين عالية التكثيف مدة من الزمن تربو على الساعة. أمّا ما هو أقل من ذلك، فإن كل ما يحتاج إليه الرياضي إنما

هو نظام غذائي عادي لكن متوازن جيداً.

يعد الشحم وقوداً مخزناً مثالياً، نظراً لأنه يحتوي طاقة أكبر مما تحتوي الكربوهيدرات، وبالأوزان نفسها، إن الطاقة التي يحتمل أن يختزن طالب متوسط على شكل شحوم، هي شيء مدهش إذ تصل إلى حدود 95 ألف كيلو حريرة ـ أي ما يكفي للسير أكثر من 9500 ميل (ما يعادل المسافة من بوسطن إلى سان فرانسيسكو ثلاث مرات ونيف). غير أن النساء يمتلكن خزانات شحوم أكبر نسبياً ويمكنهن المضي أبعد حتى. بالمقابل، فإن الطاقة المختزنة على شكل احتياطي كربوهيدرات لا تكفي للسير إلاَّ عشرين ميلاً فقط. من هنا يتضح أن على عداء الماراتون أن يعتمد على مخزوناته الشحمية كي يصل إلى النهاية. تُستمد الطاقة، أثناء ممارسة رياضة متوسطة الشدة، بمقادير متساوية تقريباً من الشحم والكربوهيدرات في الساعة الأولى، لكن بعد ذلك تستنفد مخزونات الكربوهيدرات تدريجياً ويبدأ الجسم بالاعتماد على الشحوم أكثر فأكثر، ولعل منحِّفي أجسامهم يتذكرون جيداً هذه الحقيقة.

السرعة مقابل الزخم

من الصعب أن يتميز المرء في الرياضات كلها. فعداءو المسافات القصيرة ورافعو الأثقال لا يكونون متكيفين جيداً مع رياضات التحمل الطويل، فيما يستطيع عداءو الماراتون أن يقطعوا مسافة 26 ميلاً بمعدل ميل واحد كل خمس دقائق لكنهم لا يستطيعون جري ميل واحد بأقل من أربع دقائق. هذه الفروق نتيجة للاختلاف الوراثي الداخلي ولتأثيرات التدريب على القلب والعضلات الهيكلية على السواء.

تتكون العضلات التي نستخدمها في تحريك أطرافنا من كثير من الخلايا المفردة التي تعرف باسم الألياف العضلية التي تتجمع معاً لتشكل حزماً عضلية رقيقة طويلة، وهو ما يمنح اللحم طبيعته «الخيطية». تتجمع

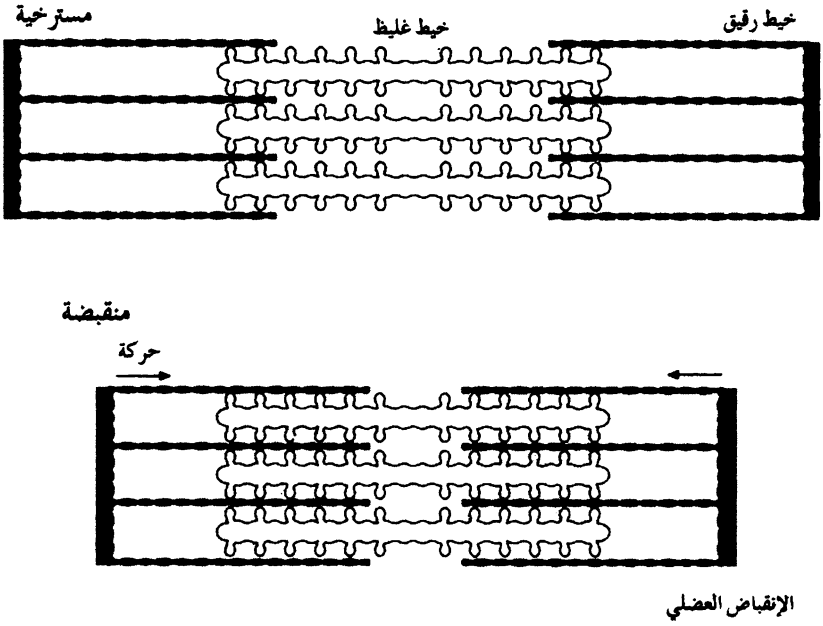
الحزم العضلية، بدورها، على شكل عضلات ترتبط بالهيكل العظمي بواسطة أوتار. تتكون الألياف العضلية وفق نمطين: سريع وبطيء. فالألياف السريعة، كما يدل اسمها، تنقبض بسرعة لكنها تتعبأ بسهولة. لذلك تستخدم في الرياضات القصيرة ـ الأمد عالية ـ الكثافة، كالجري مسافات قصيرة ورفع الأثقال وكذلك في الرياضات التي يواجه فيها الرياضي فعالية مكثفة واندفاعات قصيرة، مثل هوكي الجليد. تعتمد العضلات السريعة بشكل رئيسي على الاستقلاب اللاهوائي الذي لا يحتاج للأوكسجين، أمّا العضلات البطيئة فتنقبض بمعدل أقل من نصف معدل العضلات السريعة لكنها مقاومة كثيراً للتعب. إنها متخصصة بالاستقلاب الهوائي المتطلب للأوكسجين ونستخدم في الرياضات التحمل الطويل كجري المسافات الطويلة والسباحة.

كيف تنقبض العضلة؟

إن الطريقة التي تقصر بها العضلة، قد سحرت العلماء قروناً من الزمن، حتى وقت قريب أي خمسينيات القرن الماضي، كان يقال إن العضلة تقصر لأن طول البروتينات الانقباضية تنتقل من شكل منسبط إلى شكل أقصر مثلماً تفعل جزيئات المطاط حين تشد قطعة منه ثم ترخى أو مثلما تتقلص وتتمدد لفة انسلالية من السلك طبقاً لدفع الالتفافات معاً أو فصلها بعضها عن بعضها الآخر.

لكن من الواضح الآن أن هذه الأفكار كانت خاطئة تماماً. فالانقباض العضلي يحدث لأن نوعين من الخييطات البروتينية ينزلقان واحدهما عبر الآخر. وبذلك يقصر الطول الإجمالي للعضلة دون أن يقصر طول البروتين نفسه. مثال مشابه لهذا هو أن تلمس بأطراف أصابعك معاً راحتي كفيك وقد صارتا على شكل زاوية قائمة مع أصابعك، فإذا شبكت الآن أصابعك فإن المسافة بين راحتيك تقصر رغم أن أصابعك (طبعاً) ما تزال بطولها نفسه.

تكون البروتينات الانقباضية من نوعين مختلفين: خييطات غليظة وخييطات رقيقة. للغليظة منها الكثير من الكلابات الصغيرة الممتدة على طولها والقادرة على أن ترتبط في مواقع خاصة بالخييطات الرقيقة.



الإنقباض العضلي

إن تحطيم جسور الوصل الاعتراضية ومن ثم إعادة ربطها بموقع جديد أبعد قليلاً يؤدي بالخييط الرقيق إلى أن ينسحب بطريقة اليسروع (يرقانة الفراشة) بين الخييطات الغليظة، وبذلك تقصر العضلة. وبقدر ما تتراكب الخييطات، أكثر، يمكن أن تتشكل جسور اعتراضية أكثر وتزداد القوة التي تفرضها العضلة. وبالعكس، إذا ما أرخيت العضلة كثيراً إلى حد تنسحب من الخييطات بصورة منفصلة تماماً، لا يعود بالإمكان تشكل جسور اعتراضية، ولا تطوير قوة، وبذلك تسترخي العضلة تماماً.

لكن كيف تعمل تماماً الجسور الاعتراضية بين الخييطات الغليظة والرقيقة مسألة ما تزال غير مؤكدة. بل ما تزال أحد التحديات الكبرى التي تواجه الفيزيولوجيين مع ذلك، فإن المعروف أن تحطيم الجسور الاعتراضية الواقعة بين الخييطات وإعادة بنائها عملية تعتمد على الطاقة وتستهلك الـ (ث. ف. أ) إذ يحدث تنقر شديد حين يهبط مستوى الـ (ث. ف. أ.) بعد الموت. ذلك أنه لا بد من الـ (ث. ف. أ.) عملياً لتحطيم الجسور الاعتراضية ـ وفي غيابه تنغلق العضلة متصلبة تماماً.

يكون 50 بالمئة تقريباً من الألياف العضلية لدى الناس الذين يتطلب عملهم الجلوس من النوع البطيء. لكن لدى رياضيي التحمل الطويل، كمتزلجي سباق الضاحية مثلاً، يمكن أن تصل النسبة إلى نحو 90 بالمئة. وبالعكس، تطغى الألياف السريعة لدى عدائي المسافات القصيرة ورافعي الأثقال. وكما يمكن توقعه، فإن الأشخاص الذين يدخلون مباريات أو رياضات ذات مسافات متوسطة تتطلب السرعة والتحمل الطويل على حد سواء (كلاعبي كرة القدم مثلاً) تكون لديهم نسب متساوية من الألياف السريعة والبطيئة. لهذا، ورغم وجودها لدى غير الرياضيين، فإن العدد المتساوي من الألياف السريعة والبطيئة لا تدل بالضرورة على الكسل. إذ من الواضح أن المرء الذي تكون لديه بصورة طبيعية هيمنة للألياف السريعة يكون مناسباً لعدو المسافات القصيرة أكثر مما هو مناسب للعدو الماراتوني، لذلك، فإن المسألة الرئيسية هي ما إذا كان العدد النسبي لكل نوع من نوعي الألياف تشابه الوراثة وحدها حكماً أم يمكن تعديله بالتدريب. إن النظرة الراهنة الآن هي أن للتدريب، لدى البشر، تأثيراً ضئيلاً في توزيع الأنماط الليفية، فأنت مبرمج مسبقاً للسرعة أو للزخم بفضل مورثاتك.

لا تقتصر الأنماط العضلية المختلفة على الثدييات فقط. فالسمك الأوقيانوسي، مثل الأسقمري والتونة، لديه عضلات بطيئة يستخدمها للتجوال باستمرار هنا وهناك وبسرعات بطيئة تماماً، إضافة إلى ألياف عضلية سريعة يستخدمها في اندفاعات السرعة القصيرة، كأن يفر من سمكة مفترسة مثلاً. يبدو هذان النمطان العضليان مختلفين تماماً، كما ستلاحظ إذا ما تفحصت سمكة تونة في مسمكتك المحلية، أو طلبت «تورو» و«ماغورو» في مشرب سوشي ياباني. فالعضلات السريعة ذات لون أبيض، أمّا البطيئة فحمراء غامقة، نظراً لأنها تحوي كميات كبيرة من الجزيئات حاملة الأوكسجين ذات الصلة بالهيموغلوبين والذي يدعى «مايوغلوبين». إنه يعمل كخزان أوكسجين مؤقت يستخدم خلال الانقباض العضلي الشديد الذي يعصر الشعريات

الدموية ويخفض دفق الدم المحمّل بالأوكسجين، ثم يعاد شحنه خلال استرخاء العضلة، حين يستعاد دفق الدم.

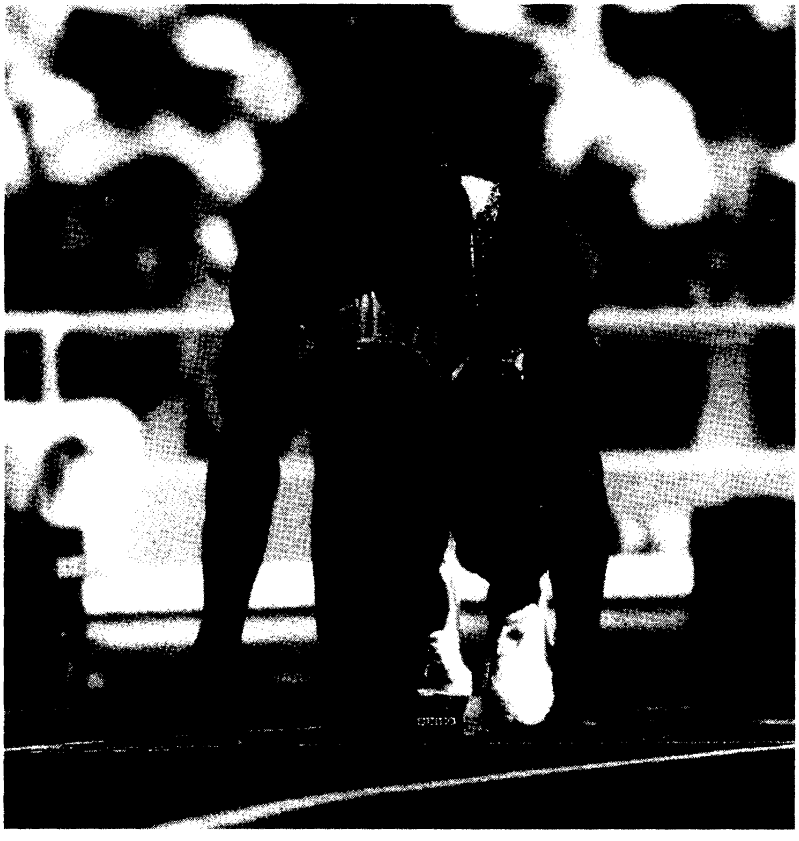
سريعاً إلى الأمام

يبدأ قلب عداء المسافات القصيرة بالإسراع حتى قبل أن يبدأ العدو. إذ بينما يتربصون على خط الانطلاق، يطلق ليحفزهم نفسه سيلاً من الأدرينالين الذي يضع القلب في حالة استنفار شديد. لقد وجد العلماء أنه، قبل جري مسافة 60 ياردة، يرتفع نبض عداء مدرب إلى 148 نبضة في الدقيقة، أي 75 بالمئة من الزيادة الإجمالية في معدل النبض خلال السباق. هذا الارتفاع الاستباقي في معدل النبض أمر بالغ القيمة بالنسبة إلى اندفاعة قصيرة. لأنها «تحفز» الجسم استعداداً للممارسة الرياضية المقبلة. غير أنها أقل فائدة بالنسبة إلى السباقات الأطول، حيث الانطلاقة السريعة أقل أهمية، ولقد تبين وهو أمر مثير للاهتمام أنه بقدر ما تكون المسافة التي يواجهها الرياضي أطول يكون الارتفاع الاستباقي في معدل نبض القلب أقل. فهل يعني هذا أن التوتر (وبالتالي نسبة الأدرينالين) يكون أقل قبيل سباق طويل؟

إن انطلاقة جيدة، بالنسبة إلى عداء المسافات القصيرة أمر جوهري، إذ توفر أجزاء من الثانية بالغة الأهمية والحيوية، وهو ما قد يعني الفرق بين النجاح والإخفاق. مع ذلك انطلق بسرعة كبيرة تجد نفسك، ربما، غير مؤهل بسبب الانطلاقة الخاطئة، لكن كم هي سرعة الإشارة؟ من الواضح، أنها ينبغي أن تكون أبطأ من الوقت الذي يستغرقه رد فعل الرياضي، أي الوقت الذي يستغرقه سماعه لطلقة المسدس معلنة البدء، ثم انتقال النبضات العصبية من الأذن إلى الدماغ. فمعالجتها من قبل القشرة الدماغية وبالتالي إرسال إشارات جديدة إلى عضلات الساقين كي تتحرك. تراوح المدة التي يستغرقها رد فعل الكائن البشري عادة، بين 0,1 و0,2 من الثانية، لذا يعتبر اتحاد الرياضيين الهواة الدولي أن أي رياضي يستجيب قبل 0,1 من الثانية،

قد استبق إشارة الانطلاق وتعتبر انطلاقته خاطئة. لقد انطلق عداء مسافة المئة متر البريطاني لينفورد كريستي في أولمبياد 1996 في أطلنطا بعد انطلاق الإشارة بـ 0,08 من الثانية، فاعتبره المسؤولون عن السباق غير مؤهل وأخرج من السباق. لكن ربما لم يكن عليهم أن يخرجوه إذ تدل الدراسات الحديثة على أن رد فعل الإنسان في بعض الظروف قد يكون أسرع من 0,1 من الثانية. لقد وجد الفيزيولوجي جوزيف ڤالز ـ سولي وزملاؤه أن الوقت الذي يستغرقه الإنسان لتحريك رسغه أو قدمه كرد فعل على ومضة ضوء يمكن أن تنصف تقريباً إذا ما صاحب الومضة ضجة عالية. كما أشاروا إلى أن هذه «الاستجابة ـ الإجفالة» تتجاوز القشرة الدماغية وتستخدم مرات في الدماغ أقصر وبالتالي أسرع. والمثير للاهتمام أن أشخاص التجربة كانوا يعون أن شيئاً مختلفاً قد حدث، أي كانوا يشعرون أنهم بشكل ما تحركوا دون أن يريدوا ذلك، إذن، من الممكن أن يستطيع بعض رياضيي النخبة الوصول إلى هذه الممرات أيضاً وذلك «بتحضير أنفسهم سيكولوجياً» عند خط الانطلاق.

تتطلب الرياضة عالية الكثافة، قصيرة المدى تمويلاً سريعاً جداً بالطاقة التي تأتي في البداية وبشكل كامل تقريباً من مخزونات الـ (ث. ف. أ) الموجودة ومن فوسفات الكبرياتين، والتي تكون كافية لدعم رياضة حدها الأقصى نحو 15 ثانية. بعد ذلك، يستخدم الاستقلاب اللاهوائي لتوليد الـ (ث. ف. أ) من مخزونات الغليكوجين في العضلة، ولا حاجة للأوكسجين في الاستقلاب اللاهوائي، كذلك بقدر ما يتعلق الأمر بعضلاته، فإن بإمكان الرياضي أن يجري بالسرعة نفسها ما يزيد على المئة متر دون تنفس (والواقع أن بعضهم يفعل ذلك). لكن الاستقلاب اللاهوائي يولد حمض اللبن الذي يتراكم في العضل ويسهم في إحداث التعب. إذ إن الارتفاع التدريجي في حمض اللبن هو المسؤول عن أن عداء المسافات القصيرة يستطيع أن يجري ما يزيد عن المئتي متر بسرعة المئة متر، في حين أن سرعته هذه تتناقص تناقصاً كبيراً بعد الـ400 م. لقد سجل مايكل جونسون، حامل الرقم القياسي



لينفورد كريستي على خط الانطلاق

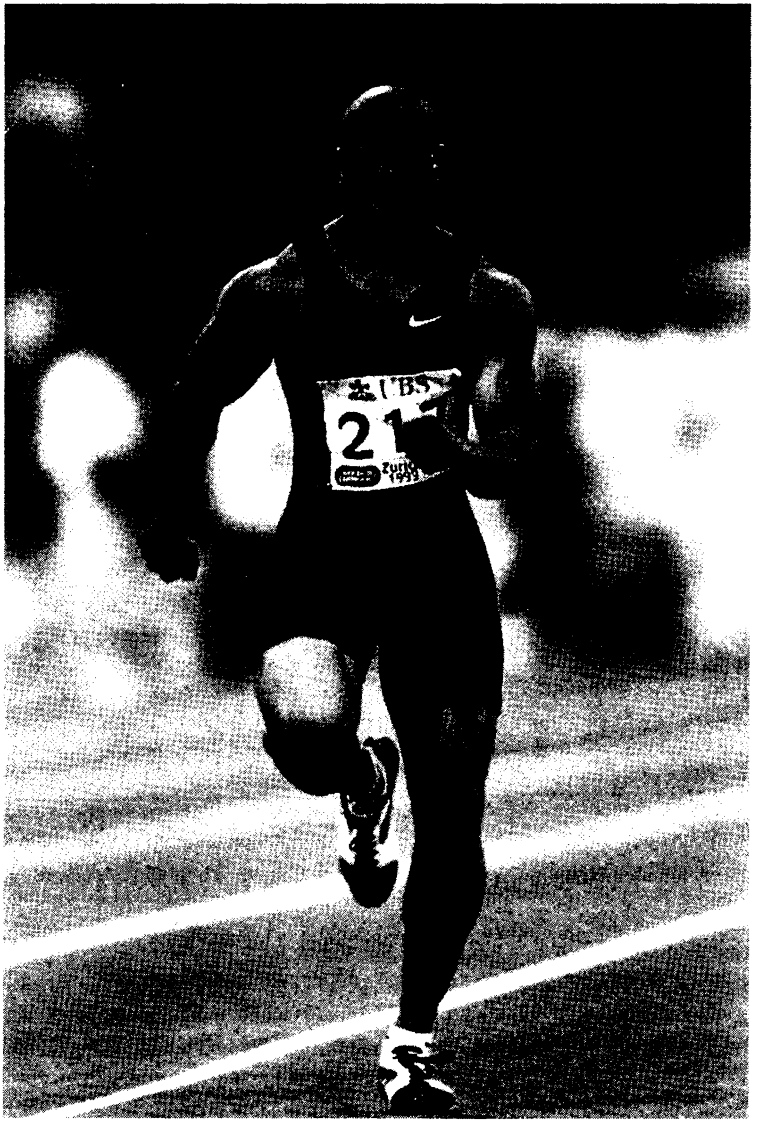
الحالي في سباق الـ 200 والـ 400 م زمناً قدره 19,23 و43,18 ثانية في كلا السباقين وحسب التسلسل، فيما كان عليه أن يقطع الـ 400 م بـ 38,46 ثانية، وهو أمر مستحيل، لكي يحافظ على السرعة نفسها التي جرى بها الـ 200 م وحقق النصر.

يؤثر مقدار الفوسفات الكرياتيني المختزن في عضلاتك في المدى الذي يمكن أن تقطعه بأقصى سرعة. إذ ما إن يستنفد حتى يتوقف الاستقلاب اللاهوائي ويبدأ حمض اللبن بالتشكل، الأمر الذي قد يكون حاسماً بالنسبة إلى عداء من مستوى القمة إذ حتى بضعة أجزاء، مئوية من الثانية يمكن أن تعني الفرق بين النصر والهزيمة بين ذهبية أولمبية ولا ميدالية

على الإطلاق. لذا لا تكون المباريات لصالح من نسبهم من الكرياتين منخفضة بالفطرة. على أن الإمدادات الإضافية بالكرياتين يمكن أن تساعد في تحسين الأشياء. إن ما يأخذه المرء منه في نظام غذائي عادي هو نحو غرام واحد يومياً، لكن لدى النباتيين يكون أقرب إلى الصفر نظراً لأن المصدر الرئيسي للكرياتين في الغذاء هو اللحم والسمك. إن استهلاك 20 غراماً من الكرياتين النقي في اليوم (وهو مقبول أكثر بكثير من تناول خمس عشرة شرحة لحم بقر أو نحو ذلك) ولعدة أيام يمكن أن يزيد إلى حد كبير مستويات الكرياتين في العضلات كما يحسن الأداء لدى عدائي المسافات القصيرة ويمكّنهم من القيام بتدريبات أكثر تكثيفاً. وهو لا يتعارض مع قوانين اللجنة الأولمبية كما لم تسجل أي آثار جانبية له (حتى الآن).

ليس عليك إلاّ أن تنظر إلى عداء عالمي مثل مورس غرين لترى أن تركيبه الجسدي مختلف عن تركيب عداء مسافات طويلة. فالسرعة تترادف مع القوة وعداءو المسافات القصيرة لديهم بنية عقلية نامية جيداً ذلك أن العضلات الكبيرة هي الأكثر قوة. ومن الجلي أن القدرة على الانطلاق بسرعة من خط الانطلاق وتحقيق تسارع متزايد للوصول إلى السرعة القصوى يتطلب عضلات ساقين قوية. كذلك فإن الجزء العلوي من الجسم النامي جيداً يعد أمراً جوهرياً، إذ حين يجري العداء، يندفع من الأرض بأشد ما يستطيع برجل واحدة أولاً ثم بالأخرى، مما يجبر جذعه على الانفتال من جانب إلى جانب، الأمر الذي يضعف جريه. من هنا فإن الجذع القوي يساعد في مقاومة هذا الانفتال الإجباري ويبقى العداء بصورة مستقيمة في مساره.

يتوجب على كل عداء أن يتغلب على مقاومة الهواء. والجري في ريح مواجهة أكثر صعوبة من الجري والريح في الظهر. لهذا السبب يتطلب أي رقم قياسي عالمي جديد أن تكون سرعة أي ريح أقل من 3 أميال في الساعة، نظراً لأن 13 بالمئة ممّا ينفقه عداء المسافات القصيرة من طاقة



موريس غرين الذي يحمل حالياً الرقم العالمي لسباق من المئة متر (9,79ثا) لقد حصل أيضاً على الميدالية الذهبية في كل من سباق الـ 100 م والـ 200 م في ألعاب البطولة العالمية التي أقيمت في إشبيلية سنة 1999، وهو الرجل الوحيد الذي فعل ذلك حتى اليوم. إن لديه، مثل كل عدائي المسافات القصيرة عضلات قوية ونامية جيداً. على أن سرعته لم تجعله بفوز باللقب فقط بل كان لها أيضاً المزيد من الفوائد غير العادية. إذ بينما كان ينتظر في مطار إشبيلية شاهد نشالاً يسرق محفظة رياضي آخر، فطارده وبكل سهولة أمسك بالمجرم. لكن لا بد أنها كانت أشبه بالصدمة بالنسبة للص أن يعلم أن مطارده هو أسرع رجل على وجه الأرض.

يذهب إلى التغلب على مقاومة الهواء. إنها، لدى عداء المسافات المتوسطة، نحو 8 بالمئة (لأنه يجري بصورة أبطأ). كما أن الجري خلف شخص آخر يقضي فعلياً على مقاومة الهواء، لذا يتوجب على عدائي المسافات القصيرة أن يظل كل في مجازه فيما يسمح لعدائي المسافات المتوسطة بالانحراف. وإذا ما راقبت مجموعة منهم تجري في سباق ستلاحظ أن عدة منهم يتباطأون خلف القائد لكي يستفيدوا من التيار المنزلق، ثم يندفعون آخر دقيقة ليبلغوا قصب السبق. يستخدم الدراجون وفرسان خيول السباق استراتيجية مماثلة، وهو ما يمكن أن يلاحظه بوضوح في سباقات دراجات ـ الفرق، حيث يحتل موقع القيادة عضو من أعضاء الفريق كل بضع دقائق. إن المهارة في اللعب، مثلها مثل المقدرة الجسدية، هي مفتاح الفوز.

البقاء طوال المسافة

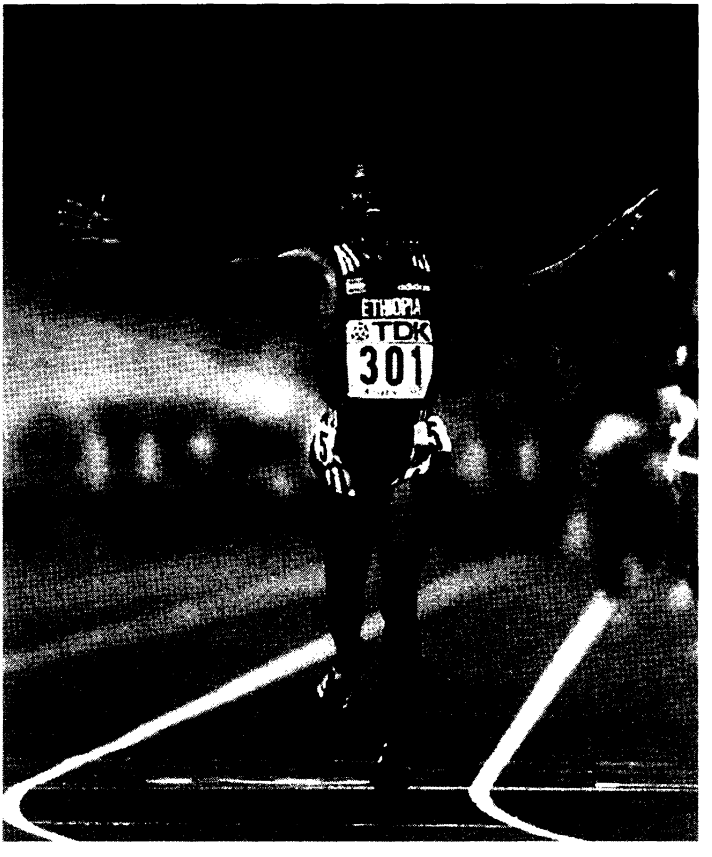
في القرن الخامس قبل الميلاد، غزا الفرس الإغريق. لقد نزلوا في ماراتون، وهي بلدة صغيرة على الشاطئ شمالي أثينا. وقد كانوا بأعداد كبيرة إلى درجة أنه حين وصل الجيش الإغريقي، كان يتجاوزه عددياً بكثير، لهذا أرسلت الرسل إلى المدن في أنحاء اليونان كلها طلباً للنجدة. ويروي هيرودوت أن فيديپيدس، وهو عداء مسافات طويلة مدرَّب، أرسل إلى سبارطة (على بعد 150 ميلاً) حيث وصل في اليوم التالي لمغادرته أثينا. وطبقاً للأسطورة، فإنه جرى أيضاً 25 ميلاً التي تفصل ماراتون عن أثينا بعد بضعة أيام لكي يبشر بنصر الإغريق على الفرس. لكن القصة التقليدية غير صحيحة، لأن فيليپيدس كان ما يزال في سبارطة وكان رجل آخر فعلياً هو الذي جرى الماراتون الأول ويدعى يوكلز. ولعله لم يكن عداء ذا تجربة مثل فيليپيدس، إذ ما إن أوصل رسالته حتى انهار ومات، ليضمن بذلك أن تصبح مأثرته خالدة. ولحسن الحظ، أن القلة من عدائي

الماراتون يموتون عند خط النهاية هذه الأيام.

ومن الجدير بالذكر على نحو خاص أن الفائز في الماراتون في أول ألعاب أولمبية حديثة جرت في أثينا سنة 1896 كان يونانياً أيضاً. فقد كانت تلك الألعاب ألعاب هواة حسني المزاج إلى حد مدهش، وقد جاء معظم الرياضيين فيها باختيارهم، الذاتي. أمّا توماس كورتيس، الأمريكي الذي فاز هو نفسه في قفز الحواجز العالية، فقد كتب:

«... في اليوم الأخير من الألعاب استعادت اليونان ذاتها، وقاد لويس، وهو فتى يوناني عنيد، المتنافسين الآخرين جميعاً في الماراتون العظيم وعندما وصل إلى النهاية، كان مئة وخمسة وعشرون ألفاً من المتفرجين قد بلغوا حالة الهذيان، كما أطلقت الآلاف من الحمامات البيضاء التي كانت مخبأة في علب تحت المقاعد، في كل أنحاء الملعب، أمّا التصفيق فكان هائلاً، ثم صبت على المنتصر كل جائزة كانت المدن القديمة تمنحها للفائز الأولمبي، إضافة إلى الكثير من الجوائز الجديدة. وبذلك انتهت الألعاب على نحو مثير وسعيد».

لقد تطور الماراتون، من تلك البدايات الميمونة، إلى حدث شعبي عام يختبر فيه الرياضيون الصفوة والناس العاديون على حد سواء شجاعتهم وقدرتهم على التحمل. ففي كل سنة، يخوض ما يزيد على 30000 شخص ماراتوني لندن وربما كان سيفعل ذلك عدد أكبر بكثير لو لم يكن العدد محدداً كما تجري سباقات أخرى في مختلف أنحاء العالم. لكن الماراتون ليس هو التحدي الأخير بل ثمة سباقات أطول في بيئات أكثر تطرفاً مثل «ماراتون الرمال» وهو هنا اجتياز 130 ميلاً عبر رمال الصحراء الكبرى المتحركة وفي حرارة حارقة، كذلك الماراتون الذي يجري فيه المتنافسون نازلين سفوح إڤريست مع كل مشاكل الارتفاعات المرافقة. ثم هناك مباراة «الرجل الحديدي» الثلاثية ولعلها أكثر المباريات إجهاداً، حيث يتوجب على الرياضي أن يجري الماراتون أولاً ثم يقطع بالدراجة 112 ميلاً، وأخيراً ينهي



هيل جبرسيلاسي من أثيوبيا يفوز بسباق الـ (1000 م) في آب / أغسطس 1997. إنه، مثل كل عدائي المسافات الطويلة، نحيل لكنه قوي.

المباراة بسباحة ميلين. أول مباراة ثلاثية من هذا النوع جرت في هاواي سنة 1978، حيث لم يشارك فيها سوى أربعة عشر رياضياً فقط. لكن، شأنها شأن الماراتون انطلقت هذه المباراة انطلاقة سريعة بعد ذاك بحيث يشارك اليوم في هذه السباقات الثلاثية عدة ملايين من الناس وبمسافات مختلفة في شتى أنحاء العالم. إن رياضيي القمة، شأنهم شأن المشاركين في المباريات العشارية هم نوع من جمعية أخوية للصفوة لأنهم يقدمون إنجازات عالمية في أكثر من رياضة واحدة.

الماراتون هو اختبار لقوة التحمل. الرقم العالمي الراهن، وهو لرونالدا

دي كوستا من البرازيل، ساعتان وست دقاق وخمس ثوان. وهذا يعادل 4,8 دقيقة للميل الواحد، وهي سرعة أكبر بكثير مما يستطيع الناس غير المدربين أن يقطعوا بها ميلاً واحداً. ففي ماراتون لندن، مثلاً، متوسط الزمن هو ما بين ثلاث وأربع ساعات.

ليست الانطلاقة السريعة الأولى في الماراتون بالهامة كثيراً. ما يهم أكثر هو قدرتك على الحفاظ على إيقاع ثابت في السباق كله. ففي سباق طويل المدى تستمد الطاقة بكاملها تقريباً من الاستقلاب الهوائي بحيث يتعين على العداء أن يحافظ على السرعة التي تتيح إمكانية توفير الأوكسجين للعضلات بمعدل استهلاكه ذاته. نتيجة لذلك، يكون الإيقاع أبطأ من إيقاع المسافات القصيرة. لهذا، فإن المستوى المنخفض جداً من الاستقلاب اللاهوائي يخفض إلى أدنى حد تراكم حمض اللبن ويتيح لعداء المسافات الطويلة أن يقطع مسافة أطول. أمّا في عدو التحمل، تستخدم بصورة رئيسية الألياف العضلية البطيئة المتخصصة بالاستقلاب الهوائي.

يكون عداءو المسافات الطويلة ناحلين وخفافاً: والمثال المفترض هو أن تكون نسبة طوله (بالسنتيمترات) إلى وزنه (بالكيلو غرام) 3°:1. إذ يكون في في أجسامهم 3 بالمئة من الشحم فقط، أي أقل حتى ممّا لدى لاعبي الجمباز ولاعبي كرة القدم المحترفين وأقل بكثير مما لدى الناس ذوي المهن التي تحتاج للجلوس (المتوسط هنا 15 بالمئة). إن هذا يخفض مقدار «الوزن الميت» الذي ينبغي عليهم أن يحملوه ويساعدهم في أن يبقوا باردين خلال سباق طويل. إن فرط الشعور بالحر مشكلة هامة بالنسبة إلى عداء المسافة الطويلة. وهو ما يفسر لماذا «يرش الرياضيون أنفسهم بالماء ويشربون باستمرار خلال السباق كما يفسر لماذا يخطط لماراتونات الأقاليم الحارة أن تجري في الصباح الباكر، والجو ما يزال بارداً.

تستمد الطاقة، في الساعة الأولى والنصف من السباق، من

الغليكوجين المختزن في العضلات. ثم ما إن تستنفد هذه المخزونات حتى يعتمد العداء أكثر وأكثر على الشحم كمصدر للوقود. وتغدو الحاجة للأوكسجين، من أجل استقلاب الشحم، أكبر مما هي للكربوهيدرات، لذلك يزداد المطلوب من الأوكسجين بعد أن تنفد مخزونات الغليكوجين. يشعر معظم الناس فجأة بالتعب وانقطاع النفس بعد نحو 15 ـ 20 ميلاً، إذ إن نسبة سكر الدم المنخفضة تجعلهم يشعرون بالدوار والغثيان ويتعين عليهم أن يبطئوا من سرعتهم. إنهم، حسب التعبير الشائع، «ضربوا الحائط» وهو ما يصفه مايك ستراود على هذا النحو: «لقد ولى كل السرور. ذهني وجسدي مؤلمان، ساقاي أصبحتا مزيجاً غريباً من التصلب والرخاوة... إنهما معاندتان لي تماماً وخارج قدرتي على التحكم... وبصعوبة بالغة استطعت المضي في الجري وبقيت واقفاً على قدمي».

لقد فكر أحد أصدقائي، وقد «ضرب الحائط» فيما هو يقود دراجة، أن كوابح دراجته انشدت فجأت، فنزل كي يرى ما المشكلة ليكتشف فقط أن العلة لم تكن في دراجته بل في جسمه! إن التحول السريع من الجري على الكربوهيدرات إلى الجري على الشحم أمر غير مريح البتة، والأمور لا تسير على نحو أفضل حتى ولو حافظت على إيقاع أبطأ. فالأميال القليلة التالية هي عمل شاق بشكل مخيف، لكن ليس الميل الآخر كذلك. إن الإثارة التي تشعر بها وأنت تجد نفسك قريباً من النهاية تغمر الجسم بالأدرينالين، مما يوفر دفعة زخم نهائية تساعد في حمل الرياضي الجديد ـ بل حتى الرياضي المجرب ـ مباشرة إلى النهاية.

الجري نزولاً

يزعم بعض الناس أنهم يشعرون بالتعب لمجرد تفكيرهم بممارسة الرياضة، بيد أن التعب هو ظاهرة فيزيولوجية حقيقية. إنه قصر العضلة عن الاحتفاظ بنتاجها من الطاقة خلال عملية انقباض طويلة أو سلسلة من

الانقباضات المتكررة. وهو ما يجعل ذراعك تفتر وتضعف في مصارعة بالأيدي كما أنه هو المسؤول عن عجزك عن القيام بضغطات متكررة (أو عدم القيام بأية ضغطة على الإطلاق كما هو شأني أنا) ويحد من قدرتك على الجري بسرعة مسافة طويلة.

يمكن أن ينتج التعب عن تغييرات في الخلايا العضلية ذاتها. فإحدى الآليات الواضحة التي قد تؤدي إلى فقدان الطاقة. هي الفشل في تحقيق توازن الطاقة (أي الـ ث. ف. أ.) التي تستهكلها العضلة المنقبضة بمعدل إنتاج الطاقة ذاته. لكن وعلى الرغم من أن نسبة الـ (ث. ف. أ.) تنخفض في الرياضات المجهدة، إلاّ أنها لا تنعدم كلياً. فالخلايا العضلية التي تهبط فيها مستويات الـ (ث. ف. أ.) إلى الصفر تصبح متصلبة، والانقباض العضلي هو الذي يسبب تصلب الجسم بعد الوفاة. ذلك التصلب الذي لا يشاهد أبداً في الحياة. حتى في أثناء الرياضات العنيفة للغاية. لذلك، ربما ينبغي النظر إلى التعب باعتباره آلية وقائية تجبر العضلات على التوقف قبل زمن طويل من انخفاض نسبة الـ (ث. ف. أ) إلى درجة تهدد بقاءها على قيد الحياة.

إذن، ما سبب التعب العضلي؟ ثمة على ما يبدو آليتان رئيسيتان. كلتاهما تتعلق بشوادر الكالسيوم التي تطلق عملية الانقباض العضلي. ورداً على التقبض الطويل، فإن مقدار الكالسيوم المتحرر من الخزانات ما بين الخلوية في العضلة يهبط تدريجياً. وبذلك يصبح التقبض المحرض أقل فاعلية. وهي الآلية المسؤولة على ما يبدو، عن التعب الناجم عن تقبضات قصيرة متكررة. في هذه الحالة يبدو أن الخزانات العضلية تتعب من تحرير الكالسيوم. لماذا؟ الجواب ليس واضحاً تماماً. لكنه يظن أن للأمر علاقة بتراكم نواتج التحطم الاستقلابي الذي يحدث خلال نشاط مكثف. وهذه أيضاً تثبط القوة التي يمكن بها للبروتينات الانقباضية أن تنتج القدرة.

إن استنفاد غليكوجين العضلة هو السبب الأساسي للإرهاق في مباريات التحمل الطويل. وهذا هو ما يمتص قوتك ويجعلك تشعر بأنك كالرصاص. ذلك أن استقلاب الشحم لا يستطيع أن يوفر الـ (ث. ف. أ) بالمعدل نفسه لأكسدة الغليكوجين العضلي.

كذلك يمكن لارتفاع درجة حرارة الجسم أن يسبب التعب. ففي جري مسافة قصيرة، يمكن أن يتم التخلص من كمية الحرارة المتولدة عن العضلات العاملة بسهولة، لكن في الرياضات الطويلة يمكن أن تكون المشكلة أكثر صعوبة، خاصة في الأقاليم الحارة. ففي ماراتون لندن، ينهار كل سنة عدة عدائين بسبب الإنهاك الحراري، والمشكلة تنشأ إذ يكون هناك صراع بين متطلبات العضلة ومتطلبات فقدان الحرارة، فالدم الذي يوجه إلى الجلد لأغراض التبريد لا يمكن استخدامه لتزويد العضلات بالأوكسجين. يمكن للقصور في التنظيم الحراري أن يفسر لماذا يحدث التعب حين ممارسة الرياضة في إقليم حار بسرعة أكبر مما هي الحال في شروط مناخية باردة، إذ ليست المسألة مسؤولية افتقاد للوقود، بل إشارة، مصدرها الدماغ تقول لك عليك أن تبطئ أو تتوقف، لكي تمنع فرط ارتفاع الحرارة. تعمل هذه الآلية، على ما يبدو، حين ترتفع حرارة الجسم فوق الأربعين مئوية.

أخيراً، ينجم التعب والوهن العضلي أيضاً عن التلف النسيجي. فالعضلة المشدودة كثيراً تصبح لاهبة ومنتفخة على نحو يحد من قدرتها على توليد القوة. كما يمكن أن يكون مؤلماً جداً. هذا النوع من التلف العضلي هو المسؤول عن التصلب الذي يعقب جولة رياضة غير معتادة ويستغرق أياماً عدة قبل الشفاء منه. بل حتى الأفراد اللائقون الذين يقومون بأنواع غير معتادة من الرياضات يمكن أن يصابوا بالتصلب، كما يحدث للكثير من الناس الذين يركبون الخيل للمرة الأولى.

الإجهاد

ذات صباح صيفي دافئ، كان علي أن آخذ الحافلة إلى لندن. وكالعادة، تركت الأشياء إلى آخر دقيقة، لكن حين انعطفت رأيت الحافلة واقفة على الموقف الذي يبعد نحو ثلاثمئة متر. فقررت، إذ كان هناك رتل من الناس يقفون في الصف للصعود إلى الحافلة، أن أجري بأقصى سرعة إليها. انطلقت على طول الرصيف فبدأ صدري يعلو ويهبط وأنا أكافح طلباً للأوكسجين، كما بدأ قلبي ينبض بشدة ودرجة حرارتي ترتفع بسرعة حتى بدوت وكأنني على وشك إطلاق البخار. كذلك بدأت العضلات المعتادة مثل تلك الرياضة تحتج وتطلق وخزات ألم حادة كالسكين في جانبي، فيما كان حمض اللبن يسفع حجابي الحاجز. وعندما وصلت إلى الحافلة كنت في حالة أقرب ما تكون إلى الانهيار، لاهثة مقطوعة الأنفاس، عضلاتي تترجرج كالهلام، مبللة بالعرق وكلي شعور بالمرض. لقد قطعت مسافة طويلة وأنا في طريقي إلى لندن، قبل أن يتوقف قلبي عن الخفقان الشديد وأستعيد أنفاسي تماماً وتنحل عقدة عضلات ساقي وأخيراً أستبرد. قبل سنتين، وعندما كنت أذهب لتمارين الجمباز ثلاث مرات في الأسبوع، كان باستطاعتي أن أجري المسافة القصيرة نفسها بسهولة كبيرة نسبياً. لقد شعرت، وأنا أجلس في الحافلة، وكأنني جريت سباق الماراتون كله. إذن، ما الفارق بين أن تكون لائقاً جسدياً أو غير لائق؟ ثم كيف يعد التدريب الجسم من أجل السرعة ويزيد القدرة على التحمل؟

إن أكثر منافع التدريب فورية مباشرة هو تحسين التنسيق العضلي. فحين نمشي، تنقبض عملياً بضع حزم فقط من ألياف العضلة ذاتها من عضلاتنا. وحين نجري، يُسخَّر للعمل المزيد والمزيد منها. لكن بغية تحقيق الحد الأقصى من الكفاءة، يتعين على حزم الألياف العضلية كلها أن تنقبض في الآن نفسه. يحدث تزامن الحزم العضلية بصورة سريعة تماماً بالتدريب، مما يؤدي إلى تحسين سريع في السرعة والقوة. إنه السبب الرئيسي الذي

يفسر لماذا يبدو أسهل بكثير أن تصعد بدراجتك تلة بعد أسبوع أو أسبوعين فقط من التدريب اليومي. مع ذلك تنقبض الحزم العضلية كلها، حتى بالتدريب، في وقت واحد. فلو فعلت ذلك لكان من الممكن أن تكون القوة المولدة قريبةً من الحد الذي يتحطم فيه العظم. ولعل التزامن الكلي لتقبض الألياف العضلية يفسر القوة الخارقة التي يمكن للرياضيين ـ وحتى الناس العاديين أحياناً ـ أن يولدوها في حال الضغط الشديد. فالقصص التي تحكى عن أشخاص رفعوا سيارة عن ضحيةٍ حادث، أو رياضيين قاموا بأعمال لا يمكن تكرارها والتي تفوق بكثير إنجازاتهم الشخصية من قبل، ليست بالقصص غير الشائعة. كذلك، يمكن لتزامن كهذا أن يكون ذا آثار مدمرة. ففي 1995، حدث أن أحد المتنافسين على لقب «أقوى رجل في العالم» ولَّد من القوة في عضلات ذراعه، خلال مبارزة بالأيدي، ما جعل عظم ذراعه ينقصم.

كذلك تكتمل بالممارسة، حركات المهارة وتتحسن القدرة على الحكم، إذ على راعي الرمح أن يحكم جيداً متى ينبغي أن يرمي الرمح. ومتسابق الوثب الطويل متى ينبغي أن يثب وعلى لاعب الضرب أن يتعلم كيف يرسل الكرة خارج متناول خصمه.

يؤخر التدريب بدء حلول التعب ويحسن من قوة العضلة ومقدرتها. وهذا بصورة رئيسية نتيجة التغيرات في القلب والعضلات الهيكلية التي تحسن إيصال الأوكسجين إلى العضلات وتزيد من فعالية إنتاج الطاقة. يمكن التوصل إلى التحسينات في هذه العمليات ببرنامج تدريب متواضع نسبياً حتى. فالمدة الزمنية التي يمكن أن تجري بها قبل أن تتوقف تسبب الإنهاك، مثلاً، تكون أكبر بضعفين بعد ثلاثة إلى أربعة أسابيع فقط من «الممارسة المنتظمة» كما أن قدرة التحمل تتحسن بشكل ملحوظ أكثر أيضاً إثر التدريب المكثف. كذلك يتعزّز الأداء في جري المسافات القصيرة بفعل التدريب، وذلك، وبصورة رئيسية، بسبب تحسين القدرة على الجري سريعاً مسافة أطول وليس التحسن في السرعة المطلقة.

يمكن أن تكون للتدريب آثار هائلة على القلب. فالمتزلج الأولمبي المدرب على سباق الضاحية يكون لديه ناتج قلبي أعظمي أكبر بمرتين من الناتج القلبي لإنسان سليم لكن كثير الجلوس ومن العمر نفسه. على أن المعدل ـ الذروة لنبض القلب لا يتغير بالتدريب. بل إنها الزيادة في حجم الدم الذي يمكن للقلب أن يضخه في كل نبضة (حجم الدقة) هي التي تتيح لقلب الرياضي المدرب إمكانية أن يضخ من الدم كل دقيقة أكثر من نظيره غير المدرب. يكشف تصوير القلب الشعاعي، وهي تقنية تستخدم فيها الأبواغ الصوتية لقياس حجم القلب، عن أن هذا يعود لأن لدى عدائي الماراتون قلوباً أكبر. كذلك تزيد ممارسة الرياضة الهوائية المنتظمة من حجم القلب لدى الأناس العاديين.

يبطئ التدريب من نبض القلب أثناء الراحة، على الرغم من أنه لا يؤثر في المعدل الأعظمي لنبض القلب. وذلك لأن حجم الدقة الزائد يعني أن على القلب أن ينبض أقل غالباً لكي يوفر الكمية ذاتها من الدم. إن معدل النبض لدى شخص غير مدرب هو 70 نبضة في الدقيقة، في حين يمكن أن ينزل ذلك المعدل لدى رياضي من الصنف الأول حتى 40 أو 50 نبضة في الدقيقة. بل يمكن حتى للتدريب في مستوياته الأدنى أن يخفض نبض الراحة خمس دقائق من القفز على الحبل يومياً، لمدة شهر، يمكن أن تكون كافية. على أن الميزة الكبرى لمعدل النبض المنخفض أثناء الراحة هي أن يغدو هناك هامش أكبر قبل الوصول إلى معدل النبض الأعظمي نحو 200 نبضة في الدقيقة لدى المدربين وغير المدربين، مما يمنح الرياضي المدرب ناتجاً قلبياً أعظمياً أكبر بكثير بحيث يمكنه إيصال قدر من الأوكسجين إلى عضلاته أكبر بكثير.

كذلك تتأثر العضلات الهيكلية بالتدريب، لا سيما أن قدرتها على إنتاج جزيء الـ (ث. ف. أ.) عالي الطاقة تزداد. كما تتسع خزانات الغليكوجين وتتحسن فعالية الاستقلاب. تطور الألياف العضلية البطيئة ـ التي

تستخدم في رياضات التحمل الطويل ـ أعداداً متزايدة من الخلايا الانقسامية، وهي العضيلات التي تصنع الـ ث. ف. آ. كما أن قدرتها على استخدام الشحم كوقود تتحسن. وفي الألياف العضلية السريعة التي تستخدم في جري المسافات القصيرة، يهبط مقدار حمض اللبن الناتج عن جهد مبذول محدد كما يغدو بالإمكان تحمل حمض اللبن بنسبة تركيز أعلى دون انزعاج. كذلك يزداد دفق الدم إلى كلا النوعين من العضلات وترتفع كثافة الشعريات مما يحسن من إمدادات العضلة بالأوكسجين. كما أن الكتلة العضلية تنمو لأن كلاً من الألياف يصبح أكبر، مما يزيد قوة العضلة. تكون هذه التغيرات موضعية تماماً لكونها تنحصر في العضلات التي تستخدم أثناء التدريب. حين كنت طالبة، كانت كليتي، كامبريدج، تبعد 3 أميال عن مركز المدينة وكنت أقطعها على الدراجة متحملة المشاكسة المستمرة لي بأن هذه الرياضة اليومية الإجبارية قد نفخت عضلات ساقي إلى قياسات كبيرة. لكن كان ثمة جزء من الحقيقة فقط في هذه الفكرة (فالمشاهدة لم تكن من اختصاص المشاكسين). ذلك أن التدريب الطويل لا ينتج إلاّ زيادات متواضعة في الكتلة العضلية، ولا بد من تمارين خاصة لتحقيق النسب الهرقلية لتشارلز أطلس.

لسوء الحظ، ليست آثار التدريب دائمة، فمعدل النبض يعود إلى مستواه السابق خلال بضعة أسابيع من التوقف عن ممارسة الرياضة بانتظام. ومن الأصعب دائماً بكثير أن تصبح رشيقاً لائقاً من أن تخسر تلك الرشاقة واللياقة، إذ إن ما تكسبه بشهر قد تخسره بأسبوع فقط، لكن هذا ليس مبرراً كيلا تعمل من أجل رشاقتك، بل هو دافع كيلا تهمل نفسك وتتوانى (أو هكذا أقول لنفسي).

الحدود النهائية

على الرغم من أن التدريب يحسن أداء الفرد، إلاّ أن القدرة البدنية

القصوى تحددها مورثات هذا الفرد. والمورثات التي تؤثر في الأداء البدني، ما تزال في بداية اكتشافها تماماً. لقد نشر أول تقرير عن مورث من هذه المورثات في صحيفة «الطبيعة» سنة 1998. هذا المورث يحول رسالة مرمزة إلى بروتين يدعى «أنجيوتنسين» يقلب خميرة الـ «أ. ث. إي». البالغة الأهمية في تنظيم جهاز الدورة الدموية. لدى كل منا نسختان من مورث معينة، كل منهما من أحد الأبوين. وما اكتشفه العلماء هو أن المجندين في الجيش الذين لديهم نسختان من النوع (آي) من المورث أ.ث.إي. كانوا قادرين على رفع أثقال مسافة أطول بإحدى عشرة مرة من أولئك الذين لديهم نسختان من النوع (د) من المورث. والرجال الذين كان لديهم نسخة واحدة من نوع كانوا يتحملون فترة متوسطة من الزمن. ومن المثير للاهتمام أن هذا الفارق ظهر فقط بعد عشرة أسابيع من التدريب الجسدي. إذ لم يشاهد لدى أولئك المجندين أي فارق في المقدرة قبل التدريب. كذلك فإن متسلقي الجبال ذات الارتفاعات العالية، الذين يتسلقون بشكل منتظم ارتفاع يزيد عن 7000 م دون مساعدة بالأوكسجين، لديهم نسخة واحدة على الأقل من النوع (آي) من المورث أ.ث.إي. يترافق هذا النوع من المورث بفعالية للأنجيوتنسين قالب ـ الخميرة أعلى بكثير. لكن لماذا يمكن أن يحسن الأداء بعد التدريب، فأمر ما يزال غير واضح.

أخيراً، لا بد من أن تكون السرعة والزخم محدودين بفعل الخصائص الفيزيائية للعضلات والجهاز الوعائي القلبي. فالمعدل والقوة التي يمكن أن ينقبض بهما كل من القلب والعضلات الهيكلية لهما حدود فيزيولوجية محددة تماماً. إن معدل النبض الأعظمي لدى شاب سليم هو نحو 200 نبضة في الدقيقة. بغض النظر عن التدريب[3]. هذا الحد تحتمه حقيقة أكيدة هي أن

(3) يتناقص معدل نبض القلب مع السن. وبإمكانك أن تحسب الحد الأقصى لنبض قلبك ببساطة تماماً، وذلك بطرح سنك من الرقم 220.

القلب يستغرق وقتاً محدداً لكي يمتلئ من جديد. ومن الواضح أنه سيكون ناقص الفعالية تماماً أن ينقبض القلب قبل أن يمتلئ، بل الحقيقة أنه قد يكون أمراً مميتاً. والاختلاج البطيني هو الحالة التي ينبض فيها القلب بسرعة وعلى نحو غير منضبط ولا متزامن. الأمر الذي يحول دون إعادة ملء حجيرات القلب الكبرى، مما يؤدي حتماً إلى الموت ما لم يكن بالإمكان إجراء صدمة للقلب وإعادته إلى إيقاعه المعهود. كذلك فإن الكمية القصوى من الدم التي يمكن أن يضخها القلب في كل نبضة محدودة يحددها حجم القلب. إن القلوب الأكبر تصنع رياضيين أفضل، كما أن إحدى المنافع الرئيسية لممارسة الرياضة المنتظمة هي أنها تزيد حجم القلب.

إن الحد الأقصى للقوة التي يمكن لعضلة هيكلية أن تبذلها هو، على ما يبدو، نحو 4 ـ 5 كغ لكل سم^2 من المساحة المقطعية (كغ ق/ سم^2). لذا، وبصورة عامة، تتحقق القوة بزيادة ـ كتلة العضلة ـ أي بقدر ما تتضخم العضلة أكثر، يكون ناتج القوة أكبر. لكن يمكن لعضلات بعض الحيوانات اللافقارية أن تعمل على نحو أفضل من عضلات البشر، فالرخويات ذات الصدفية، كالكوكل (رخوي على شكل قلب) وبلح البحر، تحمي نفسها من مفترساتها أو من جزر البحر بإغلاق صدفيتها. والعضلة المقرِّبة التي تغلقه الصدفة يمكن أن تمارس من القوة ما يبلغ حده الأقصى 10 ـ 14 كغ / سم^2، أي أكثر بمرتين إلى ثلاث مرات من قوة عضلة لدى حيوان ثديي. الأكثر من ذلك أنه يمكن لثنائيات الصدف هذه أن تظل مغلقة على نفسها هكذا ساعات كثيرة لأن العضلة تمتلك آلية «إمساك» فريدة تسمح لها بأن تبقى منقبضة دون استهلاك الـ(ث. ف. أ). حاول أن تفصل بين فلقتي الصدفة، كما يفعل نجم البحر، ستجد أن ذلك غاية في الصعوبة. وفي الصراع الذي نشب بين نجم البحر والمحار، يكون ذو الصدفية دائماً هو المنتصر إذ إن عضلته تتصف بالقدرة الأكبر على التحمل.

أخيراً، وكما في مجاري الحياة، فإن الفارق الرئيسي بين أولئك الذين

ينجحون وأولئك الذين لا ينجحون إنما هو الحافز. إن قدرتك على دفع نفسك إلى الحد الأقصى وإبقاء رأسك بارداً وأنت تفعل ذلك، إنما هي العلامة الفارقة للبطل.

قضايا الفارق بين الذكر والأنثى

باستثناء سباحة المسافات الطويلة، فإن المرأة تأتي خلف الرجل في القوة والسرعة وقدرة التحمل في جميع الرياضات تقريباً. سبب هذا غير واضح. لكن ينبغي أن يكون جزء فيه، وببساطة، مسألة تدريب وفرص[4]. فمن الملاحظ تماماً من مشاهدتك لفيلم قديم أنه حتى لاعبات التنس العالميات قبل عشرين سنة لم يكن بسرعة لاعبات التنس اليوم وقوة ضرباتهن. كذلك فإن الرياضيات بدأن يجسرن الهوة بينهن وبين الرجال على نحو مضطرد في ألعاب الحلبة والمضمار وأرقامهن العالمية تضاهي تقريباً أرقام الرجال. لكن النساء لا يزلن أقل سرعة من الرجال وليس لديهن زخم الرجال وقدرتهم على التحمل. إن أسرع امرأة في السباقات التي تزيد عن 100 م سجلت 10,49 ثانية وهي أبطأ بكثير من الرقم العالمي للرجال 9,79 ثانية. في الماراتون، الشقة تتسع أكثر، إذ إن الرقم العالمي للنساء يزيد أكثر من أربع عشرة دقيقة عن رقم الرجال. لذا يبقى السؤال: لماذا النساء أبطأ من الرجال وهل يلحقن بهم ذات يوم؟

في الرياضات التي تكون الصفات البدنية كالقوة والسرعة أقل أهمية، كالقفز الاستعراضي مثلاً تنافس المرأة نظيرها الرجل إذا تساوت الشروط

(4) في الأولمپياد القديم، لم تكن النساء تمنع من دخول المباريات وحسب، بل كن يمنعن من الحضور تحت طائلة الموت، لذا قامت كاليپاتريا، كما يروي لنا پوزانياس، بالتنكر بثياب مدرب جمباز، وذلك لشدة توقها لأن ترى ابنها في المباراة. غير أنه تم اكتشافها، ولولا مكانة والدها، أخوتها وابنها وكلهم كانوا من الفائزين، لكانت قد عوقبت. إلاّ أن الإغريق سنوا قانوناً يشترط على كل المدربين أن يتعروا من ثيابهم قبل أن يدخلوا الحلبة. وبذلك يتعذر تكرار جريمتها مرة ثانية.

الأخرى. هذا يدل على أن المسؤول عن تلك الفوارق بين الرجال والنساء في ألعاب الحلبة والمضمار إنما هي القدرات البدنية للمرأة. وليس أنهن أقل نزعة تنافسية أو أقل عدوانية أو تصميماً. ثم هنالك فوارق بدنية مسجلة جيداً وبالوثائق بين الرجال والنساء (علاوة على الفوارق الواضحة). إذ إن الحد الأقصى لما تستنشقه المرأة من الأوكسجين، بين متزلجات سباق الضاحية العالميات، لا يعدو 43 بالمئة من ذاك الذي يستنشقه زميلها الرجل. وحتى عندما تؤخذ الفوارق في وزن الجسم بالحسبان، فإن نمو الكمية تظل أدنى بـ 15 ـ 20 بالمئة. هذا، جزئياً، لأن لدى المرأة نسبة من الشحم في جسمها أعلى مما لدى الرجل وعضلاً أقل نسبياً. والحقيقة، تشير بعض الدراسات إلى أنه إذا ما أخذت بالحسبان الفوارق في الكتلة العضلية، فإن ما تأخذه المرأة من الأوكسجين يعادل ما يأخذه الرجل، لكن، للرجال ميزة إضافية هي أن خضاب دمهم أعلى من خضاب المرأة (10 ـ 14 بالمئة) مما يحسن مقدرة دمهم على نقل ـ الأوكسجين كذلك النساء أصغر حجماً من الرجال وبالتالي قلوبهم أصغر، بحيث إن حجم الدم الذي يضخه القلب في كل نبضة هو عادة أقل بـ 25 بالمئة مما يضخه قلب الرجل. الأمر الذي يدل، نظراً لأن قدرة التحمل يحددها الناتج القلبي، على أن النساء يمتلكن مقدرة أقل على البقاء في السباقات الطويلة.

القيام بغوصة قصيرة

تستهلك السباحة مقداراً من الطاقة يقارب أربعة أضعاف ما يستهلكه جري المسافة الطويلة ذاتها. وذلك جزئياً، لأن المقاومة الناجحة عن الاحتكاك بالماء عامل هام، في حين أن مقاومة الهواء نادراً ما تشكل مشكلة للعدائين. يزيل سباحو المباريات شعور أجسادهم لكي يخففوا من المقاومة التي يواجهونها، كما أن ارتداء بذلة سباحة تسمح لك أن تمضي بسرعة أكبر، ذلك أن المقاومة الواقعة على الجسم تنقص أكثر أيضاً.

كيرون بيركنز صاحبة الميدالية الذهبية في أطلنطا 1996

أمّا القوة التي يقدمها الذراعان والرجلان في السباحة فتكون غير متناسبة إلى حد كبير وهذا انعكاس لأنواع الألياف الموجودة في العضلات إذ يوجد لدى السباحين نسبة من العضلات البطيئة في أذرعهم أكثر مما هو في أفخاذهم. إن رفسة الرِّجْل في سباحة إلى الأمام إنما تكون لإحداث شكل انسيابي مع التيار أكثر مما هي لتوفير قوة دافعة. كما ستكتشف ذلك بنفسك إذا ما حركت رجليك دون أن تحرك ذراعيك. لكن السباحة بتحريك الذراعين فقط أمر متعب للغاية نظراً لأن رجليك تغوصان في الماء وتعيقان حركتك.

يملك الرجال قدراً أكبر من الهرمون الجنسي الذكري التستوستيرون، بالمقارنة مع النساء. ولعل هذه الحقيقة هي المسؤولة عن تلك الفوارق الجسدية، كما تساعد في تفسير لماذا النساء غير قادرات حتى اليوم على منافسة الأرقام العالمية للرجال. إذ يجدر بالملاحظة أن عدة أرقام قياسية عالمية سجلتها النساء إنما سجلتها رياضيات اعترفن لاحقاً بتناولهن الستيروئيدات الابتنائية (التي تحاكي في عملها عمل التستوستيرون في الكتلة العضلية) أو الشك على نطاق واسع في أنهن فعلن ذلك.

مع ذلك، هنالك نوع واحد من الرياضات تتفوق فيها المرأة على الرجل ألا وهي سباحة المسافات الطويلة. مرة ثانية، يمكن تفسير هذا بالفوارق الفيزيولوجية. فالشحم هو أقل كثافة من الماء ويميل لأن يطفو، في حين أن العضلات أثقل وتميل للغرق وهكذا تطفو المرأة، نظراً لأن لديها شحماً أكثر تحت الجلد بسهولة أكبر مما يفعل الرجل. ذلك يعني أن السباحات ينفقن طاقة أقل في التحرك عبر الماء من الرجل، وتكون الرجلان أقرب إلى السطح أيضاً، مما يمنحهن شكلاً انسيابياً أكثر، وهو ما يساعد في تفسير لماذا أرقام المرأة القياسية العالمية تقارب أرقام الرجال في السباحة السريعة أكثر مما هي في الرياضات الأخرى. ولدى المرأة ميزة أخرى في سباحة المسافات الطويلة، نظراً لأن شحومها توفر عزلاً أكبر. والحقيقة أن الرقم القياسي العالمي الراهن للسباحة في القناة الإنكليزية (21,5 ميلاً) وهو سبع ساعات وأربعون دقيقة إنما سجلته امرأة. أمّا الأرقام التي سجلها الرجال فلا تقاربه، إذ إنه ثماني ساعات واثنتا عشرة دقيقة.

تحسين الأداء

يعود استخدام العقاقير لتحسين الأداء إلى أقدم الأزمان. ففي أيام الصليبيين، كان الإسماعيليون يرسلون مقاتليهم إلى المعركة أو في مهمة قتل ومعنوياتهم عالية بسبب الحشيشة. وتذكر في كلمة «حشاشين» بما كانوا عليه

من عنف وبسالة، وهي كلمة مشتقة من الكلمة العربية «حشاش»، أي من يتناول الحشيشة. وفي القرن التاسع عشر كانت البحرية البريطانية تزود بحارتها بتعيين يومي من «الروم» وذلك «لشد الأعصاب» من أجل المعركة. كما أن الظروف في الحرب الڤيتنامية كانت مرعبة إلى درجة أن كثيراً من الجنود الأمريكيين انقلبوا إلى تناول عقاقير مثل الماريجوانا، الكوكائين والهيروئين. هذه العقاقير كلها هي بمعنى من المعاني معززة للأداء، نظراً لأنها كانت تساعد في تهدئة الخوف في المواقف شديدة الخطر. كما أن بعضهم، مثل الكوكائين، هو محفز ومنشط يساعد في التغلب على التعب والألم (وهنود أمريكا الجنوبية كانوا يمضغون أوراق الكوكا طوال قرون للتغلب على الجوع ولتحسين الأداء). لكن ما من عقار فيها يعزّز الكتلة العضلية أو القوة.

خلال القرن التاسع عشر، أصبح استخدام العقاقير من قبل الرياضيين شائعاً. فقد باتوا يستهلكون الكافائين، الكحول، الكوكائين، الأفيون، الإثير، الهيروئين، القمعية (عشبة منشطة للقلب) بل حتى الاستريكنين (مادة سامة)، أملاً منهم في تحسين أدائهم. وليس بالأمر المفاجئ أن وفيات أعقبت ذلك. فالدراج الإنكليزي الذي تناول جرعة زائدة من ثلاثي الميتل في سباق بين بوردو وباريس سنة 1886 كان له السبق الذي لا ينازع في كون أول رياضي يموت بسبب استخدامه عقار تحسين الأداء.

لكن مع تزايد فهمنا للفيزيولوجية البشرية وتزايد أهمية الفوز في الرياضة أكثر من «ممارسة اللعب»، راح الرياضيون يجربون نطاقاً من العقاقير متزايداً باستمرار. لقد دخل التستوستيرون والستيروئيدات الابتنائية التركيبية إلى الاستخدام في مطلع الخمسينيات من القرن العشرين، حين اكتشفوا أنها تبني الكتلة العضلية. وفي أواسط الستينيات صار استخدامها واسع الانتشار بين رافعي الأثقال ورماة الكرات الحديدية، وفي أواخر الستينيات صار العداءون يتناولونها. لقد قررت اللجنة الأولمبية الدولية، سنة 1967، أن

تدعو إلى التوقف عن تناولها. وقد سنت قوانين تمنع استخدام عقاقير تحسين الأداء كما قامت باختبارات عقاقير عشوائية. وفي الوقت الراهن، ثمة أكثر من 100 مادة يحظر على الرياضيين تناولها.

إن الإضفاء المتزايد للصبغة التجارية على الرياضة مع وجود متعهدين لها وجوائز مالية كبيرة تدفع للأكثر نجاحاً فقط، يضع فارق قيمة متميزاً على الفوز. أضف إلى ذلك الحياة المهنية القصيرة نسبياً للرياضي، ويصبح من السهل أن ترى لماذا ينتهك عدد من الرياضيين القوانين ويجرون تناول العقاقير التي تعزز الأداء. وبقدر ما يكبر عدد الذين يفعلون ذلك، يصعب على الآخرين مقاومة فعله. لقد علق أحد الرياضيين قائلاً «إن لم تكن قد تناولت شيئاً، كنت أشبه بمن يصطف في الحلبة مع المدربين في حين كل واحد آخر يلبس الحذاء المزرر»، لكن العقاقير ليست غير قانونية فقط لأنها تعتبر «ظالمة»، إنها محظورة لأن معظمها له آثار جانبية خطيرة. ومن السخرية بمكان أن الرياضيين يمضون إلى أقصى حدود التطرف بغية تحسين لياقتهم وبالتالي يسيئون إلى أجسامهم باستخدم العقاقير التي يمكن أن تسبب العقم، سرطان الكبد، والموت المفاجئ بسبب قصور القلب. إن أسوأ العقاقير سمعة بين عقاقير تعزيز الأداء، إنما هي الستيروئيدات الابتنائية، وهي مماثلات تركيبية لهرمون التستوستيرون الجنسي الذكري. ذلك أن هذه العقاقير تزيد الكتلة العضلية والقوة وتؤخذ بغية تحسين الأداء في الرياضات التي تتطلب القوة، السرعة أو المقدرة كرفع الأثقال أو الجري والسباحة. كذلك يستخدمها أصحاب كمال الأجسام. ذلك أن الستيروئيدات الابتنائية هي أشد فعالية خلال التدريب ويمكن إيقاف استخدامها قبل ثلاثة إلى أربعة أسابيع من المباريات، مما يتيح الفرصة لإزالة كل أثر لها من جسم الرياضي وبالتالي ظهوره نظيفاً إذا ما خضع للاختبار بعد الواقعة الرياضية.

المثال الأولمبي

قد لا نغني لمباراة أعظم من الأولمپياد

مثلما الماء أثمن العناصر

مثلما الذهب أغلى السلع

ومثلما الشمس أكثر إشراقاً من أي نجم آخر

هكذا إشراق الأولمپياد الذي يضع في الظل كل الألعاب الأخرى

پيندار، القصيدة الغنائية الأولمپية الأولى

أقيمت أول ألعاب أولمپية مسجلة سنة 776 ق.م. وكانت شأناً داخلياً خالصاً دام يوماً واحداً فقط. لقد بدأوا بتقديم الأضاحي لزيوس صباحاً وانتهوا بسباق العدو المنفرد عصراً وهو السباق الذي فاز فيه كوروبيوس من إليس، أول بطل أولمبي. لكن لم تأت سنة 650 ق.م. إلاّ وكانت الألعاب الأولمبية قد نمت وترعرعت أكثر بكثير. إذ كان مواطنون من مدن كثيرة يأتون للتنافس، بما في ذلك بعض مواطني إيطاليا وآسيا الصغرى. كما ازداد عدد المنافسات ليتضمن عدة سباقات عدو بأطوال مختلفة (بما في ذلك سباق الـ 5000 م تقريباً)، الملاكمة، سباق العربات، سباق الخيل، الپانكريشن والخماسي الرياضي (الجري، القفز، رمي القرص، رمي الرمح، والمصارعة). كذلك كان هناك مباراة منهكة على نحو خاص يجري فيها المتبارون وهم بكامل عدتهم الحربية (التي تزن نحو 110 ـ 130 كغ) مسافة 768 م، وهو ما يذكر بأهمية الرياضة في بلاد الإغريق القديمة باعتبارها تدريباً على الحرب. لقد كان الفائزون يحصلون على إكليل من ورق الزيتون وأشياء أخرى ضئيلة القيمة للغاية، لكنهم كانوا يعودون بالشهرة والمجد لمواطنهم مثلما يفعل رياضيو الأولمپياد اليوم.

وعلى الرغم من أن الأولمپياد كان يقام في الغالب كمثال للتمييز والتنافس البريء، إلاّ أن الأمر لم يكن هكذا حقاً دائماً. إذ كانت، شأنها شأن الألعاب الأولمپية اليوم تخضع لأحابيل السياسة والإتجار، وكان الرياضيون فيها لا يمتنعون عن الغش، على الرغم من أن ذلك الغش كان يتخذ شكل الرشوة أكثر من تناول العقاقير.

والآن، لا جدال في أن الستيروئيدات الابتنائية تعزّز السرعة وقدرة التحمل والزخم. أفضل مثال يأتي من السجلات التي يحفظها الأطباء والمدربون في دولة ألمانيا الشرقية السابقة، الذين أشرفوا على حملة منظمة جيداً وعلى مستوى الدولة لإعطاء مستحضرات التعزيز لرياضييهم النجوم على مدى سنوات كثيرة. نتيجة لذلك، هيمنت ألمانيا الشرقية على سباحة النساء ما بين 1973 و1989، حاصلة على إحدى عشرة ميدالية ذهبية من أصل ثلاث عشرة في أولمپياد 1976 و1980 على حد سواء، وعشر من أصل 15 لقب بطولة في أولمپياد 1988 لقد سجلت پيترا شنايدر، مثلاً، رقماً عالمياً جديداً في سباق الـ 400 م الذي جرى في أولمپياد موسكو سنة 1980 والذي ظل رقماً مدهشاً على مدى خمس عشرة سنة، حين كشفت أنها كانت تتناول، دون أن تعلم، الستيروئيدات الابتنائية التي يفترض أنها ساهمت في تسجيلها لذلك الرقم القياسي الخارق[2].

لكن لسوء الحظ، للستيروئيدات الابتنائية آثار جانبية كثيرة منها زيادة خطر مرض القلب، سرطان الكبد، تلف الكلية واضطرابات الشخصية، كما قد تؤدي، لدىٰ الرياضيين الذكور، إلى تخفيض مستويات التستوستيرون الداخلي الذي يبقى حتى بعد التوقف عن تناول الستيروئيد، وغالباً ما ينتج عنها، ضمور في الخصيتين وانعدام خصوبة. فيما تعاني الرياضيات من ظاهرة الذكورة، بما في ذلك توقف الطمث وزيادة شعر الجسم، والانشطار عن النمو العادي. فكريستين كناك سومر، وهي أول امرأة تقطع الـ 100 متر سباحة، فراشة، بأقل من دقيقة، كانت تعطى هي وعدة زميلات لها، أقراص

(2) اعتراف رياضيي ألمانيا الشرقية السابقين ومدربيهم بأنهم استخدموا العقاقير المحسنة للأداء كانت له ارتكاسات بعيدة المدى. ففي سنة 1998، قامت أربع سباحات من الولايات المتحدة ممن هزمن في أولمبياد مونريال سنة 1976 من قبل سباحات ألمانيا الشرقية وأخذن المرتبة الثانية، بالمطالبة بأن ترفع ميدالياتهن الفضية إلى ذهبية. كما طلبت البريطانية شارون ديفيز، التي هزمتها بيترا شنايدر في أولمبياد 1980 بفارق ضئيل جداً بأن يعاد النظر بالأقام المسجلة.

هرمون الستيروئيد من قبل مدربيها في ألمانيا الشرقية. ولم يكن لهن خيار في تلك المسألة. فكما قالت سوفر لمحكمة برلين أنهن كن معرضات، إن لم يأخذن «الملحقات» أو «أقراص الڤيتامين» للطرد من الفريق، إلاّ أن عدداً منهن الآن يدفعن الثمن الباهظ في صحتهن منذ ذلك الحين وإلى درجة كبيرة، بالحقيقة، بحيث أدين عدد من الأطباء ومدربي السباحة في ألمانيا الشرقية السابقة بتهمة التسبب لهن بالأذى.

بيد أن الألمان الشرقيين ليسوا الوحيدين. ففي 1988، جرد بن جونسون من ميداليته الذهبية ومنع طوال حياته من احتراف الرياضة حين تبين بالاختبار أنه تناول الستيروئيدات الابتنائية بعد فوزه بسباق الـ 100 متر في أولمپياد سيؤول بزمن قياسي مقداره 9,79 ثوانٍ. هذا الحدث كان بشكل ما حداً فاصلاً في مفهوم الناس لتناول الرياضيين العقاقير. إذ غالباً ما كانت وسائل الإعلام، قبل سيؤول تتجاهل المسألة، حتى وإن أشير لها. لكن ما إن ظهرت نتيجة بن جونسون إيجابية بعد الاختبار حتى غدا تناول العقاقير خبراً رئيسياً طوال تلك الليلة. ونادراً ما غاب منذ ذلك عن نشرات الأخبار.

لعل من حسن حظ جونسون أنه تم اكتشافه، ذلك أن الجرعات العالية من الستيروئيد الابتنائي يمكن أن تتلف القلب. فعداءة المسافات القصيرة فلورنس غريفيش، المعروفة تحبباً باسم فلو ـ جو، ماتت ميتة مأسوية بسبب نوبة قلبية وهي في الثامنة والثلاثين. لقد فازت بثلاث ميداليات ذهبية سنة 1988 وسجلت أرقاماً عالمية في كلا السباقين: الـ 100 م (10,49 ثا) والـ 200 م (21,34 ثا) وهما الرقمان اللذان لما يتجاوزهما أحد بعد. لقد كانت جميلة، فاتنة. أظفارها طويلة بشكل مثير، وترتدي بذلة متموجة في حلبة السباق. كما كانت ذات بنية فزيولوجية ذكورية وصوت رنان عميق وكان يشك على نطاق واسع، برغم ذلك لم يثبت قط، أنها كانت تتناول الستيروئيدات الابتنائية.

ليست الستيروئيدات الابتنائية عقاقير يستخدمها الرياضيون لتحسين الأداء وحسب، بل ثمة جملة عقاقير أخرى تستخدم أيضاً ربما هي أقل شهرة مثل هرمون النمو. الأمفيتامين، الأدرينالين، والأريثروبويتين. يعطى هرمون النمو للأطفال ذوي الحجم الصغير، وهم في سن النمو، لكي يساعدهم في الوصول إلى الطول العادي. إنه يحرض نمو العظم والعضل وينقص شحوم الجسم. وهو جذاب بصورة خاصة للرياضيين، إذ ليس هناك من طريقة للبرهنة أو التفريق بين هرمون النمو الذي ينتجه الجسم البشري والهرمون التركيبي. ونظراً لأن بالإمكان إنتاجه الآن عن طريق الجراثيم بكميات كبيرة فهو أقل تكلفة وأسهل منالاً بكثير، لكن ليس بغير مخاطر. ذلك أن فرط هرمون النمو لدى البالغين يسبب الحالة التي تعرف باسم عِظم الأطراف وهو المرض الذي يتميز بتضخم اليدين والقدمين والوجه تضخماً شديداً.

كذلك يتناول الرياضيون أحياناً الأمفيتامين، واسمه الشائع «أقراص الحيوية» وهذا يفسر لماذا هو منتشر على نطاق واسع. فأمراض الحيوية تسبب التحفز، تنقص التعب والألم وتضع الجسم شيئاً فشيئاً في حالة «عليا» وذلك بتحريض الناتج القلبي وزيادة النبض ومعدلات التنفس ورفع مستوى سكر الدم. يحاكي الأمفيتامين في عمله هرمون الأدرينالين الطبيعي الذي يعد الجسم للعراك أو الهرب. والحقيقة أن الأدرينالين ذاته يأخذه الرياضيون أحياناً. لكن للأمفيتامين آثار سلبية أيضاً مثل الدوخة، الاضطراب والارتباك ولا ينصح بتناوله أبداً في الرياضات التي تتطلب حسن التقدير والتركيز و«الرأس البارد».

في صيف 1998 عانى سباق فرنسا للدراجات من فضيحة بدأت حين أوقف رئيس فريق فستينا على الحدود البلجيكية ـ الفرنسية وقد اكتشفت في سيارته كمية كبيرة من العقاقير. نتيجة ذلك، اعترف خمسة من فريقه بتناول العقاقير، فأجريت، برغم احتجاجات الدراجين الشديدة، اختبارات على أعضاء عدة فرق أخرى كما فتشت حقائبهم بحثاً عن العقاقير، وكانت النتائج

إيجابية، أخيراً، اعتبر أكثر من 80 مشتركاً من أصل الـ 189 إمّا فاقدي الأهلية بسبب تناول العقاقير أو أخرجوا من السباق. أمّا العقار الذي كان معظمهم يتناولونه فهو الأريثرويتين البشري، وهو هرمون يحرض إنتاج الكريات الحمراء في الدم (أنظر الفصل الأول). إن حقن الجسن بالأريثرويتين إنما هو بكل بساطة عبارة عن شكل أرقى من أشكال إعطاء الدم، وهي ممارسة قديمة العهد كان نقل الدم يتم فيها لزيادة عدد الكريات الحمراء في الدم وبالتالي زيادة قدرة الدم على نقل الأوكسجين. لكن ما يزال غير ثابت حتى اليوم، ما إذا كان هذا يعزز الأداء أم لا، على الرغم من أن الكثير من الرياضيين يعتقدون ذلك. المشكلة هنا هي أنه بقدر ما تزداد لزوجة (كثافة) الدم، تعجّل بخطر تخثر الدم وبالتالي خطر السكتة القلبية ونوبات القلب. لكن ماذا عن المحرضات الأخرى الأكثر شيوعاً كالقهوة والكحول التي يتناولها معظمنا بكميات كبيرة في حياتنا؟ لعل المفاجئ هنا أن الكافيين يبدو وكأنها تزيد فعلاً من حسن الأداء. لقد تبين في إحدى الدراسات أن تناول ما يعادل فنجانين ونصف الفنجان من القهوة الثقيلة قبل ساعة من ممارسة الرياضة يزيد القدرة على التحمل زيادة كبيرة. والأشخاص الذين شربوا القهوة كانوا قادرين على ممارسة التمرين زمناً فاق التسعين دقيقة في حين لم يستطع أولئك الذين شربوا القهوة بغير كافيين، أن يستمروا إلاّ خمساً وسبعين دقيقة. كما شعر شاربو القهوة بقدر أقل من الإرهاق. كيف يحدث أن للقهوة مثل هذا التأثير أمر غير مؤكد تماماً، لكن يبدو أن هذا الشراب يسهل استخدام الشحم كوقود (ويوفر احتياطي الكربوهيدرات المحدودة في الجسم) كما أن له تأثيراً مباشراً أيضاً على عمل العضلة نفسها. لقد وضعت اللجنة الأولمبية الدولية حداً مقداره 12 مكروغراماً من الكافيين في كل مليلتر من البول. وكي يصل إلى هذه النسبة، ما على الرياضي إلاّ أن يشرب ستة إلى ثمانية فناجين من القهوة دفعة واحدة ثم يخضع للفحص خلال ساعتين. وبالطبع، فإن لاستخدام الكافيين اللامحدود

آثاره العكسية، إذ يمكن أن يسبب الصداع. الارتعاش الخفيف، ودقات القلب الزائدة. كما يعمل كمدر قوي للبول وهو ما يمكن أن يصبح معضلة على المدى الطويل ليس فقط بسبب الحاجة لطرح البول بل أيضاً لأن زيادة فقدان السوائل تسبب التجفف.

يذهب الظن إلى أن فوائد الكحول هي سيكولوجية إلى حد كبير، بغية إراحة الأعصاب وزيادة الثقة بالنفس. إنها تخفف أيضاً من الرعشة البسيطة وهو أمر قد يكون ذا قيمة لدى الرياضيين الذين يحتاجون ليد ثابتة. مع ذلك، فإن استخدامها غير مشروع. وفي أولمپياد 1968، أخرج اثنان من رماة المسدسات بذريعة عدم الأهلية لتناولهما الكحول قبل المباراة. على أن تناول الكثير من الكحول، كما يعرف الكثير من الناس بالتجربة، هو بالطبع ضار للأداء.

سحر الحيوان

يساعد التدريب في تحسين الأداء، لكن لا بد من أن هناك حدوداً للسرعة أو المسافة التي يمكن للإنسان أن يجري بها أو يقطعها، أو العلو الذي يمكن أن يصله في القفز.. فما تراها هذه الحدود البدنية؟ وكيف يمكن مقارنتها بالحدود الموجودة لدى الحيوانات؟ ليس من السهل الإجابة عن هذه الأسئلة، نظراً لأن الأرقام القياسية تحطم باستمرار. فتكوين نخبة من الرياضيين، تحسين التدريب، صنع أحذية أفضل، معدات أفضل، وكذلك وجود حلبة صحيحة وريح مواتية كلها تساهم ولا شك. مع ذلك، نادراً ما يتم تجاوز الأرقام العالمية بمقادير كبيرة. ومن غير المحتمل إلى حد كبير أن يأتي يوم يظهر فيه رجل يضاهي بسرعته سرعة الفهد. لذلك، من الآمن لنا ربما أن نفترض أن الأرقام العالمية الراهنة ليست بعيدة عن حدود البشر.

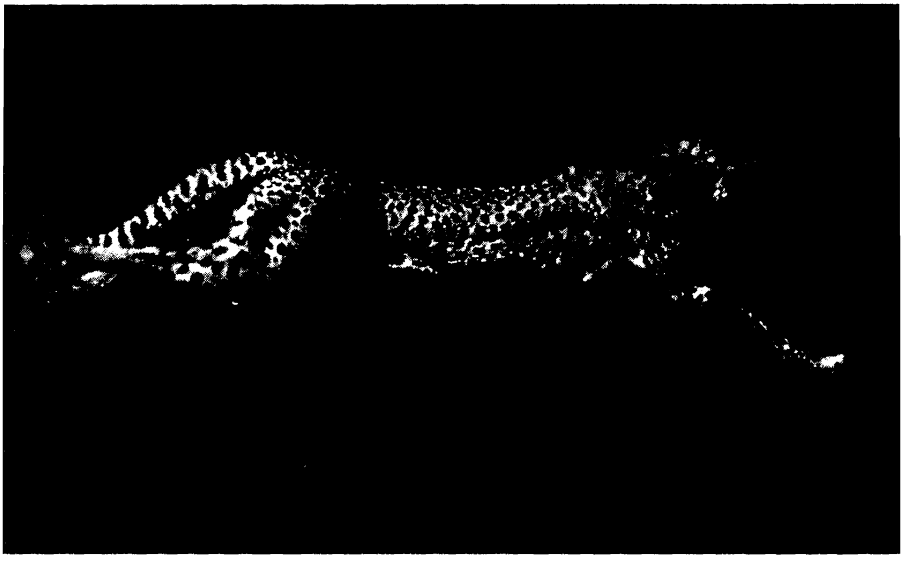
يمكن لعداء مسافات قصيرة من عدائي النخبة أن يقطع 200 متر بسرعة

22 ميلاً في الساعة كما يمكن لنظيرته في عدو المسافات الطويلة أن تقطع ميلاً واحداً بسرعة 15 ميلاً بالساعة. وعلى الرغم من أن هذا أسرع بكثير مما يستطيع الإنسان العادي أن يسجله، إلاَّ أنه يبدو باهتاً ولا قيمة له، بالمقارنة مع ما يمكن للحيوانات الأخرى أن تنجزه. فكلب الوثب (نوع صغير سريع) يجري بسرعة 35 م/سا والأرانب بسرعة 40 م/سا والثعلب الأحمر بسرعة 45 م/سا، والظبي كانت سرعته بالساعة 60 ميلاً أمّا الفهد من نوع شيتا فيمكن أن تصل سرعته إلى 70 م/سا. بل حتى النعامة ـ التي تبدو أشبه بالبشر بساقيها الاثنتين فقط ـ يمكن أن تجري بسرعة مدهشة وهي 35 م/سا. تفوز الحيوانات أيضاً في رهانات التحمل الطويل. فالحصان، مثلاً، يمكن أن يعدو بسرعة 15 م/سا مسافة 35 ميلاً. أمّا الجمال فيمكن أن تقطع 15 ميلاً باثنتي عشرة ساعة وقد سجل ثعلب أحمر تطارده كلاب صيد رقماً قياسياً حين جرى 150 ميلاً بيوم ونصف. إن السرعة والتحمل الطويل أمران هامان بالنسبة إلى كل من المفترس والطريدة، لكن يغلب أن يعدو المفترس بصورة أسرع لمسافة قصيرة فيما يغلب على الطريدة أن تكون ذات تحمل أطول ورشاقة أكثر.

كذلك فإن طول الخطوة وتواترها كليهما هام بالنسبة للسرعة، وطريقة الزرافة في العدو، تلك الطريقة الجميلة التي تبدو وكأنها تتم بالحركة البطيئة «ذات العلاقة بالتنويم المغناطيسي، إنما تنجم عن خطوتها الطويلة، لكن بالإيقاع البطيء. يمكن لحيوانات أصغر أن تنجز سرعات مماثلة بخطوة أقصر إذا ما حركت قوائمها بسرعة أكبر، كما هو شأن الخنزير الوحشي الأفريقي. كما يمكن إجراء مقارنة مماثلة حين تجلس في مقهى من مقاهي الشارع وتراقب المارة. فالناس ذوو الخطوات القصيرة غالباً ما يضطرون لأن يندفعوا بسرعة أكبر لكي يظلوا على توازن مع رفاقهم ذوي الخطوات الأطول. والعداءون الأسرع هم الذين يجمعون بين الخطوة الطويلة والإيقاع السريع.

يغلب أن يكون للحيوانات، التي تجري بسرعة، قوائم طويلة بالنسبة إلى حجمها، مما يوفر لها خطوة طويلة. وكثير منها طورت قوائم أطول بتعديل عظام الأقدام. فاللواحم والطيور تميل لأن تجري على ما يطابق كرة القدم. هذا التكيف تطور أكثر حتى لدى ذوات الحافر حيث عظام القدم تلتحم معاً وتندمج كسباً للقوة، وبذلك تصنع الحافر. فالحصان لم يبق لديه سوى إصبع وحيدة وهو، بالفعل، يجري على رؤوس أصابعه. كذلك تخفف الحيوانات السريعة أطرافها، بإنقاص حجم العظام في أقدامها وتحريك عضلاتها والكثير من النسج الأخرى الأقرب إلى الجسم. تعد القوائم النحيلة الطويلة علامة فارقة للعداء. كما أن وجود عمود فقري مرن لدى القطط والكلاب يزيد من طول خطوتها. فحين يتمدد ظهر الفهد، يصبح عملياً أطول بعدة بوصات. إن عليه أن يوقت تمدّد عموده الفقري بحيث لا يتمدّد ظهره إلاّ عندما تكون القوائم الخلفية مندفعة باتجاه الأرض. كذلك على العداءات السريعة أن تحرك قوائمها بسرعة، فالحصان، في ذروة عدوه، يخطو بمعدل خطوتين ونصف في الثانية أمّا الفهد فـ 3,5 على الأقل. لكن بقدر ما يكون معدل الخطو أسرع، يتوجب أن تنقبض عضلات القوائم أسرع. إذن في النهاية، ما ينبغي أن يبت بحدود السرعة إنما هو معدل الانقباض العضلي. هذا الأمر ينطبق تماماً على الألياف العضلية لدى الثدييات كلها. لكن العضلات الأطول تنقبض ببطء أكثر، مما يعني أن فوائد القوائم الطويلة، لدى الحيوانات الكبيرة، تتوازن مع المعدل الأبطأ للخطوات. وهذا سبب من الأسباب التي تفسر لماذا لا تستطيع الزرافة، رغم قوائمها الأطول بكثير، أن تنافس الفهد. غير أن بعض الحيوانات، كالخيول مثلاً، تلتف حول هذه المشكلة وتحلها وذلك بامتلاك عضلات قصيرة وأوتار طويلة نسبياً.

كذلك يؤثر الموضع الذي يرتبط فيه الوتر العضلي بعظام القائمة في معدل السرعة والتي يمكن أن يجري بها الحيوان. ترتبط العضلة، لدى



يعد الفهد أسرع عداء قصير بامتياز. إنه أسرع حيوان على وجه الأرض، تصل سرعته القصوى إلى 110 كم/سا تقريباً. من الملاحظ أكثر أنه يصل إلى هذه السرعة خلال ثلاث ثوان، لكنه لا يستطيع الاحتفاظ بها طويلاً. لهذا فإن معظم المطاردات لا تطول أكثر من نصف دقيقة لأن الاستخدام المكثف للاستقلاب اللاهوائي يشكل قدراً كبيراً من دين الأوكسجين ويسبب ارتفاع حاداً في حرارة الجسم (إلى 41° مئوية تقريباً وهي قريبة من الحد المميت). كما ينبغي أن يتبع ذلك فترة إنعاش طويلة. فإنفاق هذه الطاقة العالية إنما يعني أن على الفهد أن يختار فريسته بدقة إذ لا يمكنه أن يحتمل الكثير من المطاردات الفاشلة.

الحيوانات السريعة، ارتباطاً وثيقاً بمفصل الكتف، مما يعني حاجة الحيوان لقدر أقل من الطاقة كي يحرك طرفه. تعمل هذه الحيوانات، بالفعل، بمعدل عال للسرعة طوال حياتها. أمّا الحيوانات المشاءة، كالبشر، والحفارة. كالغرير، فإنها تعمل بمعدل سرعة بطيء. ذلك أن عضلاتها ترتبط على نحو أبعد عن مفصل الكتف، مما يمنحها قوة أكثر لكن سرعة أقل. ثمة حيل أخرى تستخدمها الحيوانات سريعة العدو وهي استخدام عدة عضلات لتحريك المفاصل المختلفة للقائمة في الآن نفسه. الأمر الذي يعجل بحركة القدم وعلى نحو مشابه للطريقة التي تتعزز بها سرعة الإنسان إذا ما مشى وهو يصعد سلماً متحركاً. إذ بقدر ما يكون بالإمكان تحريك القوائم مع أكثر، تزداد سرعة القائمة أكثر، والخيل، بجريها على رؤوس أصابعها.

تكسب مفصلاً إضافياً وبالتالي سرعة أكبر.

تستخدم بعض الحيوانات الارتداد المرن كي تساعد نفسها في الاندفاع قدماً. فالرباط الموجود في أسفل قائمة الحصان يختزن الطاقة حين يلمس الحافر الأرض ويطلقها حين تنطلق عن الأرض مرة أخرى. ذلك أنه حين يطأ الحافر الأرض ينطوي المفصل الواقع في مؤخر القائمة. وبفعله ذلك يتمدد الرباط المرن الذي يلتف حول المفصل الذي ينطوي. حين يغادر الحافر الأرض، يستقيم المفصل من جديد ويرتد إلى طوله الأصلي محرراً الطاقة المختزنة ومانحاً القائمة اندفاعة إلى الأعلى. يخفّف الرباط المرن من الحاجة لعضلة أثقل كما أن الطرف الأخف ييسر السرعة. نتيجة لذلك، فإن الحصان عداء كفوء للغاية.

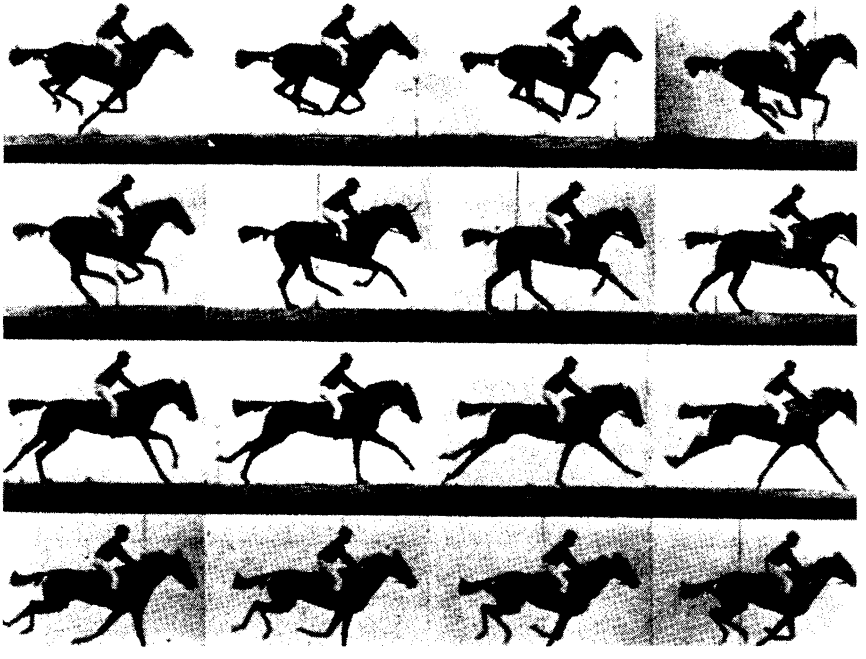
تؤدي أوتار أخيل الطويلة، لدى الكنغر، وظيفة مماثلة لوظيفتها لدى الحصان. فهذا الحيوان يوفر ما يصل مقداره إلى 40 بالمئة من الطاقة بقفزه على قائمتيه الخلفيتين مما يتيح له أن يزيد من سرعة قفزاته من 7 إلى 22 كم بالساعة، دون أن يستخدم أي أوكسجين إضافي، أي بعبارة أخرى، لا يبذل الكنغر أي جهد إضافي كي يجري أسرع. السبب هو أنه يستخدم أوتاره كنوابض عصا البوغو كي تساعده في القفز. والكنغر، شأنه شأن الكرة المطاطة يستخدم معظم الطاقة في قفزته الأولى، فيما تعتمد القفزات التالية على الارتداد المطاطي. كما يوفر مزيداً من الطاقة بواسطة الارتداد المطاطي في السرعات العالية، وبذلك تكون الحاجة للعمل أقل نسبياً.

توضح تجربة بسيطة لنا أهمية الارتداد المطاطي في توفير الطاقة. ضع هذا الكتاب جانباً ثم قم وبسرعة. اعمل سلسلة من عشر ثنيات ركب شديدة. كرر بعد ذلك ثنيات الركب، لكن هذه المرة عد حتى الستين قبل أن تعيد انتصاب رجليك ستجد أن التمرين الآن أصبح أكثر مشقة بكثير. السبب هو أن العضلات الباسطة انشدت خلال القرفصة لكي تضبط معدل

حركة النزول. فإذا قصرت مرة ثانية وبشكل فوري ومباشر وفرت التوتر في العضلة الذي يتوفر بدوره الارتداد المطاطي، لكن إن سمح للتوتر بالزوال، لن يكون هناك مرونة مطاطية تساعد. إن الارتداد المطاطي في عضلاتك يساعدك في القفز أعلى وأسفل بسهولة نسبية. كما أنه يضع نوعاً من النابض في خطوتك ويساعدك في توفير الطاقة عند الجري. تختزن الطاقة في عضلة بطة الساق ووتر أخيل حين تلامس القدم الأرض ثم تتحرر ثانية وبصورة مباشرة تقريباً حين تندفع القدم مغادرة الأرض وتقصر العضلات. لهذا تصمم أحذية الجري بحيث تساعد في تضخيم الارتداد المطاطي. «أربع قوائم شيء جيد، اثنتان شيء سيِّئ. ذلك هو المثل الشهير لدى الحيوانات في رواية جورج أورويل الساخرة «مزرعة الحيوانات». إنه صحيح بالتأكيد، ذلك أن الأرقام القياسية لكل من السرعة والتحمل تسجلها ذوات الأربع، لكن هل القوائم الأربع أفضل فعلاً من الاثنتين؟ لسوء الحظ، أن الجواب عن هذا السؤال ليس واضحاً مباشراً، ذلك أن عدد القوائم ليس ببساطة هو الذي يبت بالسرعة بل حجم الحيوان، طول قائمته، مرونة ظهره وطريقته في العدو وكلها تسهم إسهاماً هاماً في ذلك.

الحجم مهم

كما هي الحال دائماً، الحجم مهم. إذ يصبح من الصعب بصورة متزايدة على الحيوان أن يركض كلما كبر حجماً. السبب أن القوة التي يمكن أن تبذلها العضلة تتزايد وفق مربع مقطعها، في حين أن كتلة الحيوان تزداد وفق مكعب طوله، أي بمضاعفة طول الحيوان يزداد وزنه ثماني مرات لكن قدرة عضلاته على توليد القوة لا تزداد إلاَّ أربع مرات. لذلك، حين يكبر الحيوان، يصبح من الصعب عليه أكثر فأكثر أن يحرك أطرافه. فإذا صار ضخماً حقاً، قد يجد من الصعوبة بمكان أن يحمل جسده حتى، عندما يتحرك، وهو ما يفرض حداً معيناً على حجم الحيوانات البرية (أمّا بالنسبة



المصور الأمريكي إيدويرد موبيريج هو أول من اكتشف كيف يجري البشر والحيوان. ففي سبيعينيات القرن التاسع عشر، نصب سلسلة من 24 كاميرا ثابتة في مضمار سباق ليلاند ستانفورد الخاص في پالو آلتو، كاليفورنيا ثم أخذ لقطات متتابعة حين عبر الحصان به وهو يعدو. لقد أنهت صوره الفوتوغرافية الجدل القائم حول ما إذا كان الحصان يرتفع بقوائمه الأربع جميعاً عن الأرض خلال العدو أم لا. إذ تبين أن الجواب هو نعم، إذ إن الحصان في الربع الرابع من خطوته، يكون متعلقاً بالهواء. لكن هذا يحدث حين تسحب قوائم الحصان إلى الأعلى تحت بطنه وليس حين تبسط. كما كان يظن سابقاً وكما رسمه الكثير من الرسامين.

للحيوانات البحرية، كالحوت الأزرق، فمن الممكن أن تصبح أضخم لأن الماء يحتمل بعضاً من وزنها).

من المعروف على نطاق واسع أن بإمكان البراغيث والجنادب أن تقفز إلى ارتفاعات تصل إلى أكثر من خمسين ضعفاً طول جسمها، أي ما يعادل أن يقفز الإنسان 100 متر بقفزة واحدة. غير أن الرقم القياسي العالمي للقفز هو أدنى من ذلك بكثير 2,45 م فقط، وإذا كان القفز من حالة الوقوف، لا يستطيع حتى أرفع الرياضيين المحترفين أن يقفز أكثر من 1,6 متر. إذن لماذا تستطيع البراغيث والجنادب أن تقفز نسبياً أعلى بكثير جداً؟ لقد تبين أن

قدرتها الملحوظة هي ببساطة مسألة مقياس ـ إذ يستحيل فيزيولوجياً على حيوان ضخم أن يقفز عالياً، بالمعيار النسبي، كما يقفز حيوان صغير الحجم، والحقيقة أن الفيزياء تتكهن أن باستطاعة أنواع متماثلة من الحيوانات أن تقفز إلى ارتفاعات متساوية بغض النظر عن حجم أجسامها.

لكي نفهم سبب هذه الحالة، لنتذكر أن عضلات النسر والحشرات تستطيع أن تبذل القوة نفسها بحسب المساحة المقطعية وأن المساحة المقطعية للعضلة هي التي تبت بقوتها، وأن كتلة الحيوان تزداد حسب مكعب حجمه، فيما المساحة المقطعية للعضلة لا تزداد إلاَّ حسب مربع حجمها. هذا يعني أنه بقدر ما يزداد الحيوان ضخامة، بالنسبة إلى كتلة، تكون القوة المتاحة له من أجل القفز أقل. ذلك أن الحيوان الضخم يمكن أن يزيد من قدرته على القفز قليلاً إذا ما زاد الجزء الكسري من كتلته الذي تشكله عضلة القفز. وهذا، بالحقيقة، ما يفعله الغلاغو الصغير، وهو حيوان استوائي صغير من الحيوانات الرئيسية. فكتلة عضلته، إذا ما تكلمنا نسبياً، تساوي ضعف عضلة الإنسان ونتيجة لذلك، هو قادر أن يقفز قفزة عمودية من حالة الوقوف تصل إلى 2,2 م، أي تماماً ثلاثة أضعاف الارتفاع الذي يستطيع الإنسان أن يقفزه (الرقم القياسي الذي سجله الإنسان هو 1,6 م، لكن علينا ألاَّ ننسى أن مركز كتلتنا يبعد عن الأرض عند الانطلاق للقفز نحو متر واحد) مع ذلك من الواضح أن بإمكان الحيوان أن يكرس فقط كسراً عشرياً في جسم العضلة، وبذلك، فإن آلية التكيف هذه ذات استخدام محدود.

ما وراء الحدود

لا تشتهر البراغيث بالارتفاع فقط بل أيضاً بالسرعة التي تستطيع أن تقفز بها. إن التسارع المتوسط الذي يحققه برغوث خلال انطلاقته يزيد عن 1350 متراً بالثانية أي ما يعادل تقريباً قوة جاذبية شيء وزنه 200 غ. وهو أسرع بكثير من استطاعة العضلة على التقبض، فكيف يفعل البرغوث ذلك؟

لقد تبين أن للبرغوث ما يشبه النقيفة الداخلية يستخدمها لاختزان الطاقة على مدى طويل ثم يحررها بسرعة كبيرة جداً، ذلك أن البراغيث تمتلك مادة مطاطية مرنة تدعى الريزيلين في أسفل قوائمها الخلفية. وهكذا، حين يكون البرغوث في وضع الراحة، فإن الانقباض العضلي يضغط تدريجياً على الريزيلين، رافعاً جزءاً من القائمة الخلفية في الهواء، وبذلك يكون البرغوث «مجهزاً» وعلى أتم الاستعداد للإقلاع. فإذا أعطيت الإشارة لآلية الانتقال، يتمدد الريزيلين بسرعة، وبقوة الارتداد المرن تنضغط القائمة إلى الأسفل بسرعة كبيرة وبالسرعة نفسها تقذف النقيفة البرغوث في الهواء.

كذلك، فإن عضلات الطيران لدى بعض الحشرات تعمل بطريقة ما وراء الحدود. فكل انقباض لعضلة حيوان ثديي تباشره نبضة عصبية واحدة لكن عضلات الطيران لدى الحشرات تنقبض بتواتر أكبر بكثير من تواتر النبضات التي تنقلها الأعصاب. فالذباب الصغير الذي يحيل أمسية صيفية دافئة في سكوتلاندا إلى بؤس حقيقي يخفق بأجنحته أكثر من 1000 مرة في الثانية، مولداً طنيناً عالي الطبقة يكاد الإنسان ألاّ يتحمله، أسرع بأربعين مرة ممّا تستطيع عضلات الالتفاف البشرية السريعة أن تنقبض بها.

تستفيد عضلات الطيران لدى الحشرات من الرنين لتحقيق هذه المعدلات العالية من التقبض. لقد تبين أن عضلاتها هذه حساسة تجاه الشد: إن سحبت العضلة تقلصت وإن تركتها استرخت أمّا صدر الحشرة (المنطقة الصغيرة التي ترتبط بها الأجنحة) فعبارة عن علبة صلبة تحتوي على نوعين من عضلات الطيران، نوع يحرك الأجنحة إلى الأعلى وآخر يحركها إلى الأسفل، ولعل من المفاجئ أن عضلات الطيران لا ترتبط بالأجنحة فعلياً، بل ترتبط بجدران الصدر وحركة الأجنحة التّي ترتبط بسقف الصدر، تحدث بصورة غير مباشرة من خلال تبديل شكل الصدر.

يعمل الصدر بالحقيقة، عمل علبة مرنانة تسحبها بالتناوب العضلات الرافعة والخافضة محرضة الأولى ثم الأخرى على التقبض فيما سقف الصدر ينخفض منتقلاً إلى وضع جديد يجعل الأجنحة تتحرك إلى الأعلى. لكن الشكل الجديد للصدر يشد العضلات الخافضة، مما يجعلها تتقلص وفي الآن نفسه تزيل التوتر عن العضلات الرافعة، وبذلك تسترخي. نتيجة لذلك، يرتد سقف الصدر فجأة إلى وضعه الأصلي. منزلاً الأجنحة إلى الأسفل، هذا، طبعاً، يشد العضلات الرافعة مرة ثانية، محرضاً إياها على التقلص، وفي الآن نفسه يرخي العضلات الخافضة، وبذلك تبدأ الدورة من جديد. وهكذا يراوح سقف الصدر من الأمام ومن الخلف بين وضعين ثابتين محركاً الأجنحة إلى الأعلى والأسفل بفعله ذلك.

ولأن حركة الصدر يمكن إنجازها بتغيرات ضئيلة فقط في طول العضلة، يمكن لهذه الحركة أن تحدث بسرعة فائقة. ولأن عضلات الطيران يحرضها الشد أكثر مما تحرضها نبضات الأعصاب يمكنها أن تنقبض بسرعة أكبر من سرعة انتقال نبضات الأعصاب، وهذا يفسر كيف تستطيع الحشرات أن «تحطم الحدود».

كذلك تبدو الحيوانات الصغيرة قوية بصورة لا تتناسب مع حجمها. فالجعل يبدو أشبه بقزم مقارنة مع كتلة الروث الضخمة التي يدفعها، والنملة قاطعة الورق يمكن أن تحمل بسهولة ورقة تزن أكثر مما تزن النملة ذاتها. إن الإنسان يجد حملاً كهذا مرهقاً للغاية. سبب هذه القوة الخارقة للنمل هو مرة ثانية مسألة مقياس. فعضلات النملة قوية فقط مثل عضلات الإنسان لكنها تبدو أقوى لأن القوة التي يمكن للعضلة أن تبذلها بالنسبة إلى كتلة حجم الحيوان تزداد كلما نقص حجم الحيوان، فالقوة النسبية هي أيضاً مسألة مقياس.

الإصابة بالإجهاد

إن للنشاط الجسدي المنتظم، كما يذكر باستمرار، فوائد جمة، من بينها انخفاض خطر الإصابة بمرض القلب التاجي، السكري، البدانة، وترقّق العظام. إنه يجعلنا نشعر وكأننا أحسن حالاً، لكن ثمة جانباً سلبياً أيضاً.

كلنا تقريباً نمارس نوعاً من الرياضة المنتظمة، والكثير ممن يفعلون ذلك بصورة متقطعة، يعانون من شكل من أشكال أذى فرط الاستخدام. وما أكثر القصص التي تحكى عن شعر في عظم الساق، وهن في الركب، إجهاد عضلات، تمزقات أربطة... إلخ، ولدى عدائي نهاية الأسبوع، ثمة حالة تعرف عادة بحالة «كثير جداً، سريع جداً». أمّا لدى رياضيي النخبة فهي حالة «كثير جداً، طويل جداً وغالباً جداً». يمكن للجهد المستمر أن يكسر العظام. وأكثرها تعرضاً للكسر هي عظام القدم والساق. كما يشاهد غالباً لدى الراقصين وعدائي المسافات الطويلة. يؤدي الجهد العضلي إلى التهاب محلي، يسبب بدوره تورماً وحرقة. تحدث أذيات الاحتكاك عندما تحتك الأوتار بالأغماد التي تغلفها أو بالعظام التي تمر فوقها، مما يؤدي إلى التهاب الأوتار في الركب وأوتار أخيل. كما تؤدي التمزقات الصغيرة المتكررة في الوتر عند نقطة دخوله إلى الالتهاب المحلي. يمكن للأوتار أن تتمزق أحياناً تمزقاً تاماً، وعلى الفور تصيب الرياضي بالعجز عن الحركة. كذلك يمكن للأربطة المتمزقة حول المفاصل أن تكون مؤلمة وموهنة على نحو خاص، والركب معرضة بصورة خاصة لهذا النوع من الأذية. تتطلب إصابات فرط استخدام كهذه راحة مباشرة. ثم يتعين، عقب الشفاء، أن يعود الرياضي إلى ممارسة رياضته بصورة تدريجية وأن يفرض نظام تدريب بحيث يتفادى أي تكرار في حدوث الإصابة. فعلى المدى الطويل قد تؤدي الحالة المستمرة من الإصابة والشفاء، الناتجة عن ممارسة الرياضة الطويلة الحادة إلى التهاب المفاصل العظمية وهي الحالة المزمنة التي تنحط فيها حالة المفاصل مسببة الوجع، والتصلب، فالجسد البشري، ببساطة، ليس مصمماً للاستخدام وكأنه آلة جري دائمة العمل.

يؤثر الإجهاد أيضاً في نظام المناعة، لذا يصبح الرياضيون أكثر عرضة للعدوى وهو ما يهبط بمستوى أدائهم. يمكن لعداءات المسافات الطويلة وراقصات الباليه أن يتوقفن عن رياضتهن بسبب الطمث، حينذاك يوازن الأثر

المفيد للرياضة على عظامهن انخفاض مستوى الإستروجين (الهرمون المحرض للدورة النزوية). هذا يفسر وعلى نحو يثير المفارقة، لماذا تصاب الفتيات اللواتي يمارسن رياضة مجهدة بترقّق العظام فيما الرياضة المعتدلة يمكن أن تبطئ الخسارة في العظام لدى النساء الأكبر سناً (أنظر الفصل السابع) كما يمكن للرياضة، لدى الرياضيين الشبان، كلاعبي الجمباز مثلاً، أن تؤخر سن البلوغ. كذلك يمكن للرياضة المجهدة أن تجعل البروتينات تتسرب من العضلات الهيكلية، مما يسبب التلف الآلي البالغ الصغر الذي يصيب الخلايا العضلية ذاتها. وهذا أمر عادي تماماً. لكن، في بعض الحالات، يكون تسرب البروتين كبيراً إلى حد يمكن أن يهدد الحياة نفسها بالخطر. فيشعر المصاب بالغثيان كما تتورم عضلاته. يصحب تورمها ذاك ألم شديد ويتحول لون الدم إلى لون الكوكا كولا لأنه يحتوي على المايوغلوبين (الجزيء المخضب القريب من الهيموغلوبين الذي يقوم بدور خزان الأوكسجين على المدى القصير في العضلة). على أن الأخطر على الإطلاق هو أن تركيز الأملاح في الدم يصبح غير متوازن. هذه الحالة نادرة لكنها تشاهد أحياناً لدى المجندين الجدد الذين يقومون بقفزات قرفصاء مضاعفة كجزء من تدريبهم الأولي، ومن هنا جاء اسمها الشائع «أعراض قفزة القرفصاء».

كذلك، هناك كثير من الرياضات تزيد من خطر الإصابة بالرعشة كما تشيع كثيراً إصابة الجسم بالكدمات والأطراف بالكسور في الرياضات التي تشتمل على احتكاك الأجسام بعضها ببعضها الآخر: فرياضة الروكبي ذات سمعة سيئة في كسر الأنوف، وعصا الهوكي يمكن بسهولة أن تكسر ساقاً، وكرات السكواتش ذات حجم مناسب تماماً للدخول في محجر العين، والسقوط عن حصان سبب شائع لإصابات الرأس. بل حتى المتفرج أو العابر يكون عرضة للخطر. إذ بينما كنت ذات عصر صيفي أقود دراجتي بجانب ساحة كريكيت، أصابتني كرة كريكيت في عيني وألقتني أرضاً. وفي

اليوم التالي كان لي عين سوداء رائعة!!

إن النزف في نقطة الإصابة أو حولها يسبب الألم والالتهاب. وهذا يمكن التخفيف منه باستخدام الثلج (الذي يسبب انقباض الأوعية الدموية). ونذكر هنا بأن ضغط قطعة من الثلج ورفعها (كليهما يخفضان تدفق الدم إلى المنطقة المصابة). أمّا لاعبو الاستجمام الذين يهملون استراتيجية الإسعاف الأولي البسيطة هذه. ويحاولون الاستمرار في اللعب أولاً ثم معالجة إصاباتهم بالاسترخاء وشرب الكحول الموسع للأوعية الدموية، يجب ألاً يفاجأوا إن أفاقوا في الصباح التالي ووجدوا كاحلهم المصاب بالالتواء قد تورم وتصلب وصار شديد الإيلام.

غالباً ما يشير الأقل حماسة للرياضة إلى هذه الجملة من الإصابات كحجة لعدم ممارسة أي شكل من أشكال الرياضة. لكن من الممكن أن نتذكر أنه إذا كان الإفراط ـ كما هو الشأن في مجاري الحياة الأخرى كلها ـ ضار أو مؤذياً فإن الاعتدال مفيد ونافع. إذ قد لا تنجح في أن تكون الأسرع أو الأقوى، لكن قد تنجح في أن تعيش حياة نشطة مدة أطول.

6

الحد النهائي

لسوف أضع نطاقاً حول الأرض بأربعين دقيقة

وليم شكسبير، حلم منتصف ليلة صيف

ـوين «بوز» آلدرين يقف على سطح القمر في 20 تموز / يوليو 1969، بينما يمكن مشاهدة نيل
ـمسترونغ ومركبة الإنزال القمرية أبولو 11، تنعكس صورتهما على قناع خوذته

ما يزال فجر الحادي والعشرين من تموز / يوليو محفوراً في ذاكرتي. فقد كنت، شأني شأن ملايين البشر في شتى أنحاء العالم، أتربص أمام تلفزيون أبيض وأسود صغير مرتعش وقد طغت على شاشته عاصفة ثلجية من نقاط وخطوط بيضاء. لقد أجهدنا أنفسنا كي نسمع الكلمات رغم الهرطقة والطقطقة. لكن بسهولة أحسسنا بالانفعال والتوتر في الأصوات. لقد كنت أرتعش برداً في الغرفة المعتمة غير المدفأة، وقد استيقظت لتوي من النوم، ناسية كم كنت أشد بيدي على كأس مملوءة بالشوكولاته فيما كنت أنتقل مع التلفاز آلاف الأميال يأسر لبي ذلك المزيج المذهل من العلم والتكنولوجيا والاكتشاف. كنت إذ ذاك في السابعة عشرة من عمري وكان نيل أرمسترونغ قد صار للتو أول إنسان يطأ القمر.

اخطُ داخل الفضاء الخاوي، تهلك خلال لحظات سريعة شديدة التعذيب. فالهواء سيندفع خارجاً من رئتيك، والغازات المنحلة في دمك وسوائل جسمك ستتبخر فاصلة ما بين الخلايا مشكلة فقاعات في أوعيتك الشعرية، بحيث لا يصل أي أوكسجين إلى دماغك والهواء المحتجز في الأعضاء الداخلية سيتمدد، ممزقاً القناة الهضمية والأغشية الطبلية، فيما يحيلك البرد الشديد فوراً إلى قطعة من جماد. ولسوف تغيب عن وعيك خلال أقل من خمس عشرة ثانية.

يمكن للإنسان أن يبقى في الفضاء حياً، فقط إذا ما نقل بيئته معه. لكن حتى عندما تحميه سفينة فضاء، فإن مشاكل فيزيولوجية عدة تصاحب الطيران في الفضاء، أولاها التسارع المطلوب للتخلص من جاذبية الأرض. مما يفرض قوة جاذبية إضافية على الجسم. الثانية هي النقيض الآخر، انعدام الوزن. وهذا يمكن أن يسبب مرض العجز عن الحركة. ذلك أن إعادة توزيع السوائل في الجسم يؤدي إلى نقصان في عدد الكريات الحمراء وخسارة مزعجة في الكتلة العظمية والعضلية. وإذا أردنا أن نحقق حلمنا في السفر إلى الكواكب الأخرى الواقعة في منظومتنا الشمسية، فإن علينا أن نجد طريقة للتخفيض من هذه التغيرات. في هذا الفصل سنكتشف كيف يعيد الطيران في الفضاء تشكيل أجسامنا وكيف يمكن تحسين هذه التغيرات.

الموجز في تاريخ الرحلات الفضائية

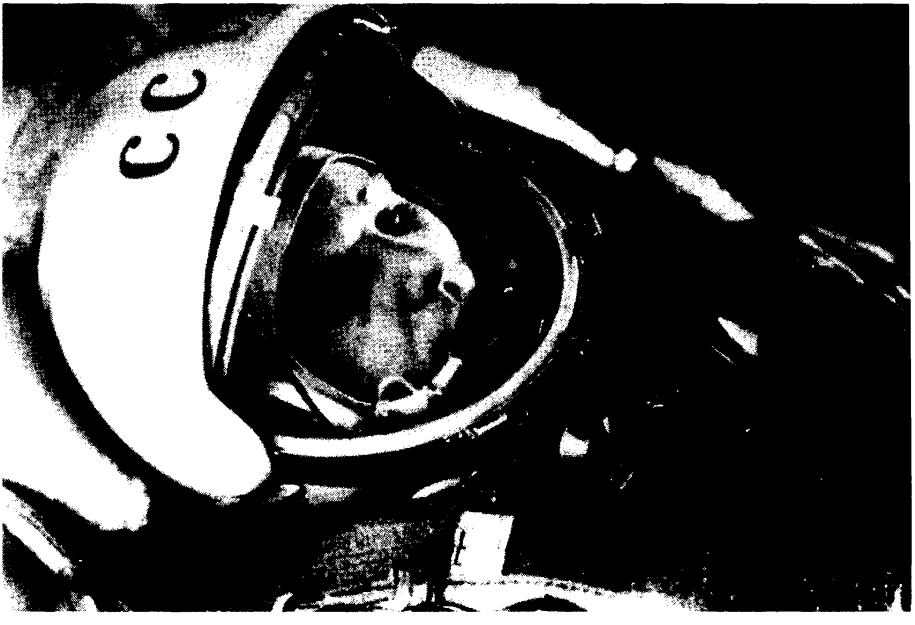
بدأ عصر الفضاء بتاريخ 4 تشرين أول / نوفمبر 1957، عندما أطلق الاتحاد السوفييتي أول قمر صناعي في العالم. كان اسمه سپوتنيك ويعني بالروسية رفيق السفر. في غضون شهر لحق به سبوتنيك، حاملاً الكلبة لايكا. وفي 12 نيسان / أبريل 1961 مخر رجل الفضاء يوري غاغارين عباب الفضاء على متن فوستوك 1 ليقوم بدورة كاملة حول الأرض ثم يقذف بنفسه من قمرته الفضائية على ارتفاع 7000 متر ويحط بمظلته سالماً على الأرض. بعد أن استغرقت الرحلة كلها ساعة وثماني وأربعين دقيقة.

هذه السلسلة المدهشة من النجاحات السوفييتية تركت أثراً بالغاً في الولايات المتحدة. وعلى الرغم من أن آيزنهاور أشار بصورة عابرة إلى سپوتنيك باعتباره مجرد «كرة صغيرة في الجو» إلاّ أن عامة الناس (والعسكريين) كانوا أقل ثقة وتفاؤلاً. لقد صدمهم، هم الذين كانوا في ذروة الحرب الباردة، التفوق الواضح للتكنولوجيا السوفييتية. كما أن السلسلة المتصلة من أصوات «البيپ» اللاسلكية التي كان يرسلها القمر الصناعي وهو

يمر فوق الولايات المتحدة كل تسعين دقيقة، لم تكن تعمل إلاّ لزيادة تلميع هذه الحقيقة: فقد كان ذلك، كما ورد على لسان كلير بوث لوس، «صوتاً كريهاً من روسيا». وهكذا، ليل نهار، شرعت الحكومة الأمريكية تصب ملايين الدولارات في ميدان تطوير هذا العالم إلى أن أصبح لدى البلاد، وخلال تسعة أشهر، برنامجها الفضائي الخاص، وبذلك بدأ سباق الفضاء. لكن كان لا بد من الانتظار حتى 20 شباط / فبراير 1962 إلى أن ينطلق رجل الفضاء الأمريكي الأول جون غلين ويدور حول الأرض. في ذلك الوقت كان رجل فضاء سوفييتي آخر هو جيرمان تينوف، قد حذا حذو غاغارين ودار حول الأرض، وبصورة مثيرة، سبع عشرة مرة، ثم بعد سنة أصبحت ڤالنتينا تريشكوڤا أول رائدة فضاء.

بيد أن الأمريكيين لم يستسلموا بل سرعان ما دخلوا الرهان، لقد افتتح الرئيس جون كينيدي برنامج الفضاء أبولو بإعلانه التحدي قائلاً: «إن الولايات المتحدة تلتزم، وقبل انقضاء هذا العقد، بإنزال إنسان على القمر وإعادته سالماً إلى الأرض». كلامه هذا، الذي بثته الإذاعة سنة 1961، إنما كان يعني أنه ينبغي تحقيق هذا الهدف خلال فترة وجيزة، تسع سنوات، من هنا فإن السرعة التي تطورت بها التكنولوجية اللازمة كانت مدهشة. إذ لم يأت عيد ميلاد 1968 إلاّ ليجد فرانك بورمان، جيم لوڤل، وبيل آندرز أنفسهم في فلك القمر ثم بعد أقل من سنة أي تماماً ضمن المدة التي حددها كينيدي، حدث الإنزال الأول على القمر. لكن بعد ثلاث سنوات فقط وإثر ستة استكشافات قمريّة، تمّ هجران القمر، ليس لأسباب علمية بل لأسباب سياسية. والآن، يبدو أحياناً وكأنه أمر لا يصدق أن الإنسان سار ذات يوم على سطح القمر وأن العالم كله تسمّر في مكانه مذهولاً بضع ساعات خاطفة وهو يرقب ذلك الإنجاز.

لم تكن الاستراتيجية السوفييتية، التوجه مباشرة إلى القمر، بل بناء محطة فضائية تدور حول الأرض، يمكن استخدامها كمركز متنقل للطيران



يوري غاغارين (1934 ـ 1968) أول رجل فضاء في مقصورة قمره الصناعي فوستوك 1

خارج حقل جاذبية الأرض كما يمكن لرجال الفضاء أن يعيشوا ويعملوا فيها فترات طويلة من الزمن. وهكذا أطلق الاتحاد السوفييتي محطة الفضاء الأولى في العالم، ساليوت 1، سنة 1971 وقد ظلت تدور حول الأرض سنتين ونيف. أعقبتها بعد ذلك ساليوت أخرى ثم، في 20 شباط / فبراير 1986 أطلقت المحطة الفضائية «مير» (وتعني بالروسية كلاً من «السلام» و«العالم»). لقد فاقت «مير» المصممة للعيش خمس سنوات، التوقعات كلها لتبقى أكثر من خمس سنوات بكثير، على الرغم من أنها كانت في حالة مهددة بالخطر ونكبت بوقوع الأخطاء باستمرار. بعد تفكك الاتحاد السوفييتي، بدأ رواد الفضاء وعلماؤه الروس والأمريكيون، سنة 1994، القيام بمهمات مشتركة كثيرة على متن مير، لكنها الآن خالية ولسوف يسمحون لها بأن تحترق في جو الأرض (وقد تم ذلك في مطلع هذا القرن) على أن تستبدل بمحطة فضائية دولية يسهم في بنائها تجمع من عدة دول.

لقد عنت السياسات المختلفة التي تبنتها الولايات المتحدة والاتحاد

السوفييتي، فيما عنت، أن دراسة الآثار طويلة الأمد على الحياة في الفضاء، حتى فترة قريبة جداً، كانت تقتصر إلى حد كبير على السوفييت، وأن الرقم القياسي لأطول طيران إنما سجله رائد الفضاء ڤاليري پولياكوف الذي قضى 438 يوماً في المحطة الفضائية «مير» ما بين 8 كانون الثاني / ديسمبر 1994 و22 آذار / مارس 1995. لكن كلا البلدين جمع قدراً كبيراً من المعلومات حول الآثار قصيرة الأمد للطيران في الفضاء.

مُقَلْ داخلاً ومُقَلْ خارجاً

إن المشكلة الأولى التي تواجه رجل الفضاء هي التسارع الذي يمر به خلال عملية الإطلاق، أي ما بين السكون التام والاندفاع الصاروخي للقمر الصناعي إلى أن يبلغ سرعة مداره الفكلي. ليس للسرعة بحد ذاتها، أثر بيّن على الجسم البشري، إذ حتى عندما تكون جالساً بهدوء، وأنت تقرأ هذا الكتاب، فإنك عملياً تكون راحلاً بسرعة 108,000 كم بالساعة عبر الفضاء ودائراً بمعدل يصل إلى 1670 كم بالساعة وذلك مع دوران الأرض حول الشمس ودورانها حول محورها. كذلك من الصعب، وأنت داخل طائرة مغلقة وانعدام أي أدلة بصرية أن تقدر أنك تتحرك بسرعة عالية إذا كانت الطائرة تتحرك بسرعة ثابتة وخط مستقيم. لكن يختلف الأمر كل الاختلاف في حال صعود الطائرة أو هبوطها بصورة حادة. إن هذا يوضح حقيقة ما وهي أن أجسامنا مصممة بحيث تتبين التغيرات في السرعة أو الاتجاه، ثم تتكيف بسرعة إن لم يتغير شيء.

يقاس التسارع وفق قوة الجاذبية، حيث + 1 قوة جاذبية هو مقدار قوة الجاذبية الأرضية على سطح الكوكب. يعرف التسارع الخطي بأنه التغير في السرعة دون التغير في الاتجاه، في حين أن التسارع، نصف القطري هو التغير في الاتجاه دون التغير في السرعة. يعرف معظم الناس ماذا يعني أو كيف يتجلى التسارع الخطي. إنه القوة التي تدفعك إلى الوراء في مقعدك

وأنت في سيارة سباق لحظة الانطلاق، أو لحظة إقلاع الطائرة، لكن، ثمة قوّى جاذبية أكبر بكثير يمكن أن يواجهها المرء عند انطلاقة اندفاعية لطائرة من حاملة طائرات أو عند انطلاق مركبة فضائية أو حين اصطدام سيارة مسرعة كثيراً بجدار من آجر. يحدث التسارع نصف القطري عندما ينطلق راكبو الدراجات النارية حول «جدار الموت» أو عندما تصعد الطائرة صعوداً حاداً. إن التغير في اتجاه طائرة تجارية يؤدي نموذجياً، إلى نحو + 1,3 قوة جاذبية لكن يمكن الوصول إلى تسارع حتى + 8 قوة جاذبية في طائرة عسكرية عالية الأداء خلال الانعطافات الحادة. تقوم الطائرة، عادة بالانعطاف الرأسي نحو المركز، مما يجعل الدم والأعضاء الداخلية تهبط باتجاه القدمين. يعرف هذا باسم قوة الجاذبية الإيجابية نظراً لأنه يعمل بالاتجاه نفسه الذي تعمل به جاذبية الأرض. لكن تقوم الطائرة أحياناً بانعطافات الرأس نحو الخارج، مما يرغم الأعضاء وسوائل الجسم على الاتجاه نحو الرأس. وهو ما يعرف باسم الجاذبية السلبية أو حسب ما هو دارج أكثر وضع «المقل خارجاً» (فيما يعرف وضع الجاذبية الإيجابية بمصطلح «المقل داخلاً»). يمكنك بسهولة تامة أن تجرب بنفسك وضع ـ 1 جاذبية (1 ج)، وذلك بكل بساطة بأن تقف على رأسك. وأعلى جاذبية يمكن أن يصلها معظم الناس وأقربها هي في مدينة الملاهي، حيث يمكن لآلة من آلات تلك المدينة أن تولد قوى جاذبية تصل إلى + 4 ج. وهذا ما يلصقك بمقعدك حين تنقلب العربة عاليها سافلها في انقلابها الحلقي الهائل. وهو ما يطيّرك كالورقة قاذفاً بك إلى الجدار في الدوران النابذ، وهو (بشكله السلبي) ما يجعل معدتك تصير في فمك حين تغوص بك عربة سكة الحديد الأفعوانية في مدينة الملاهي بسرعة نحو الأسفل.

إن كمية تحمل جسم الإنسان من قوى الجاذبية مسألة ذات أهمية كبيرة بالنسبة إلى القوات الجوية في العالم كله. ذلك أن قوة الطائرة العسكرية وخفة حركتها تحددها الآن القدرات البدنية للطيار. والطريقة المألوفة لتقليل

آثار قوة الجاذبية المتزايدة على البشر هي أن تدورهم بآلة نابذة. هذه الآلة تعمل وفق المبدأ نفسه الذي تعمل به مجففة الثياب، حيث تحدث القوة النابذة نتيجة الدوران السريع للأسطوانة مما يقذف بالثياب خارجاً باتجاه طرف الأسطوانة ويجبر الماء على الخروج منها. في حالة النبذ البشري، يوثق المرء في المكان ويثبت بحيث يحال بينه وبين الانقذاف بعيداً، لكن السوائل في جسده تظل قابلة للتحرك كرد فعل على قوة الجاذبية المتزايدة. يجلس الشخص الخاضع للتجربة في مقصورة ذات محور تدور إلى الخارج حين تدار الآلة النابذة، بحيث يظل رأسه متجهاً بالمحصلة نحو مركز الآلة ويواجه قوة جذب إيجابية تميل إلى سحب الدم باتجاه القدمين. تجري التجارب على طياري المستقبل المقاتلين وعلى رجال المستقبل الفضائيين في آلات نابذة كهذه من أجل فحص قدراتهم على تحول قوى الجذب العالية. إنك، مع تزايد قوة الجاذبية، تصبح أقل وأقل قدرة على القيام بعمل مفيد. ففي + 2 ج، تشعر بأن جسمك أثقل، كما تنتفخ نسج الوجه، ويغدو من الصعب عليك أن تقف إن كنت جالساً. في + 3 ج، يغدو الوقوف مستحيلاً، ومع تزايد قوة الجاذبية أكثر فأكثر، يبدأ ستار رمادي باكتساحك داخلياً، بصورة تدريجية من كلا صدغيك فيما تبهت رؤية اللون وتتلاشى، بدءاً من المنطقة المحيطة بالعين، لتفقد حاسة البصر تماماً في نحو + 4 ج، وعلى الرغم من أنك تظل تسمع وتفكر في + 8 ج، يصبح من المتعذر عليك أن ترفع ذراعيك أو رأسك، وفي حدود + 12 ج يفقد المرء وعيه، ويتكوم في مقعده ورأسه متدلٍ على أحد كتفيه. في هذه البرهة، أو عند إزالة التسارع، يمكن أن تحدث لك تشنجات، وهو ما يعرف باللهجة الدارجة بأنك تصير «مثل صوص مذعور». حديثاً، بات يتعين على جنود القوات الجوية في الولايات المتحدة أن يتحملوا بنجاح + 7,5 ج ست عشرة ثانية كي يصبح واحدهم طياراً مقاتلاً. لكن حتى وإن لم يصب واحدهم بالإغماء، فإن الطيار الذي يتعرض لقوة جاذبية كهذه قد يصبح عاجزاً عن

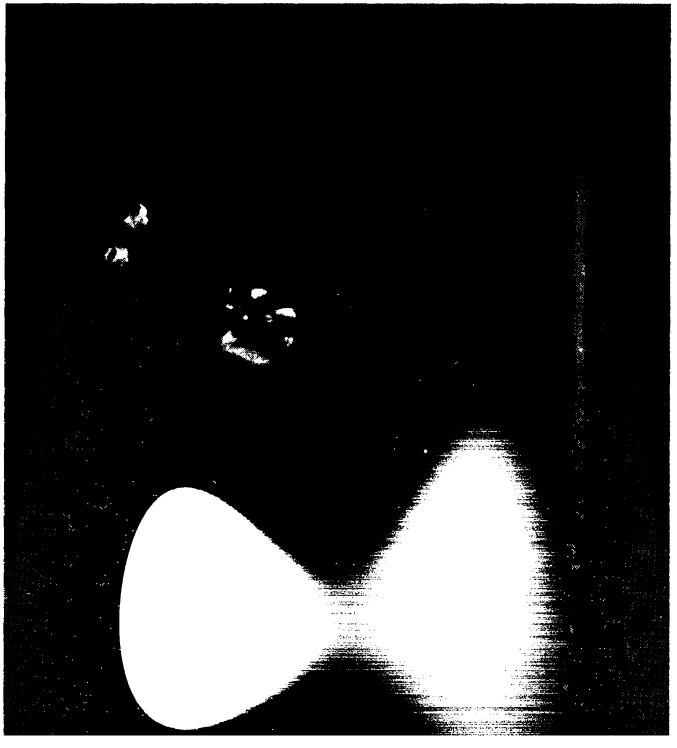
الفرار من الطائرة دون مساعدة، لذلك، يعد المقعد القاذف أساسياً.

إن أجسامنا ذات تكيف حسن مع جاذبية الأرض. ونحن، معظم الوقت، لا نحس بوجودها، على الرغم من أننا نواجه ما يذكر بأنها أكثر فأكثر ونحن نتقدم في السفر، وذلك من خلال الترهل الذي لا بد أن يحدث للجلد واللحم وظهور الدوالي في الأوعية الدموية. لكن قوى الجاذبية الأعلى مسألة مختلفة تماماً. يمكن لقوة جاذبية إيجابية أن تسحب الدم باتجاه الساقين بقوة إلى درجة أن القلب، يصبح معها عاجزاً عن الضخ بصورة فعالة، الأمر الذي يؤدي إلى نقص في إمدادات الدم إلى الدماغ وإلى فقدان الوعي. كذلك يواجه المرء صعوبات في التنفس نتيجة انسحاب الحجاب الحاجز إلى الأسفل جاعلاً الزفير أكثر صعوبة. وبالتالي تنخفض تهوية القسم الأسفل من الرئتين ثم تنعقد المشكلة أكثر إذ تغدو الكمية المتاحة من الدم لإرواء القسم الأعلى من الرئتين أقل، وذلك نتيجة تأثير قوة الجاذبية المتزايدة على دوران الدم. لذلك، ينجم عن قوى الجاذبية الإيجابية نقصان كبير في تبادل الغازات في أعلى الرئتين وأسفلهما.

يدرب الطيارون العسكريون، كي يتغلبوا على هذه المشكلات، بأن يقوموا بتمارين تنفس وجهد. إنهم يشدون عضلات رئاتهم التي تقصر أوردة الساق وتساعد في دفع الدم رجوعاً إلى القلب والدماغ. وحين يطيرون بطائرات عالية الأداء كالتورنيدو والـ ف 16 مثلاً، يكون أصعب عليهم بالطبع القيام بتمارين كهذه، لذلك يرتدي الطيارون بناطيل مضادة للجاذبية تؤدي عنهم الدور نفسه. تنفخ هذه البناطيل بقوة جاذبية عالية، مما يوفر ضغطاً خارجياً يعصر الرجلين ويساعد في إعادة الدم إلى القلب. لقد بينت تجارب الآلة النابذة، وهو ما كان متوقعاً ربما أنه بقدر ما يكون الإنسان أقصر يكون أقدر على تحمل قوى الجاذبية الإيجابية الأعلى، أمّا الأطول قامة فيكون أقل أهلية فيزيولوجية نظراً لأن المسافة بين قلبه ودماغه تكون أكبر.

رياضة اليو ـ يو البشرية

نشأ قفز البونجي في بريطانيا على يد جماعة من طلاب أكسفورد الجريئين كالشياطين الذين شكلوا نادي الرياضات الخطرة. أول من مارس ذلك القفز هو بينغ بوستن وهو طالب أمريكي قفز من فوق جسر كليفتون المعلق وقد ربط نفسه بقطعة طويلة من المطاط في نيسان / أبريل 1979. ولكي نشير إلى أهمية المناسبة، فقد ارتدى لباساً ملائماً بعقدة وذيول بيضاء. فكرة نادي الرياضات الخطرة هذه انبثقت من طقوس تكريس الرجولة لدى سكان جزر بحر جنوب ڤانوتان الذين كانوا يقفزون من أعلى أبراج خشبية يصل ارتفاعها إلى 35 متراً وقد ربطت كواحلهم بأغصان العرائش، بحيث توقفهم بسرعة ورؤوسهم لا تبعد أكثر من بضع بوصات عن الأرض.



إن إحدى أشهر قفزات البونجي كلها هي ولا شك القفزة التي قام بها في فيلم «العين الذهبية» جيمس بوند (أو بديله الرجل العتل واين مايكلز) الذي قذف بنفسه من حافة سد ڤيرزاسكا شاكاً شكّة سنونو كاملة. الوقت الذي استغرقه كي يقطع 183م (600 قدم) هو أقل من ست ثوان لكن، بعد المناقشة، نتبين أن أشهر قفزات البونجي جميعاً هي قفزة النيوزيلاندي أ. جـ. هاكيت الذي قفز من برج إيڤل في حزيران / يونيو 1987 ثم قذف بنفسه من طائرة هليكوبتر مسافة 300 م سنة 1990 وفي تشرين الأول / ديسمبر 1998 قفز من أعلى ناطحة سحاب في أوكلاند. تعد نيوزيلاندا موقعاً مفضلاً لقافزي البونجي، وكثير من السياح يختبرون أعصابهم فوق الجسر الذي يعلو أكثر من 80 م فوق الوادي الضيق لنهر رانجيتيكي.

إنّ الجاذبية تجعل قافز البونجي أو الغواص الجوي يتسارع وهو يهبط. والمعدل الأعلى للتسارع الناجم عن الجاذبية هو 9,8 م بالثانية وهو المعدل الذي تسقط به إلى الأرض في حالة السقوط الحر. غير أن المشكلة بالنسبة إلى قافزي البونجي ليست في السرعة التي يسقطون بها بل بزوال التسارع الذي يحدث حين تستقيم الحبلة المتمغطة المتلوية كالأفعوان وتنشد حين تصل إلى الحد الأقصى لتمغطها. فقوة الجاذبية يمكن أن تكون حادة تماماً بحيث تجعل الدم يندفع إلى الرأس وهو ما قد يسبب نزيفاً في العين أو يؤدي حتى إلى انفصال الشبكية. على أن هذه المشاكل لا تواجه الغواصين الجويين لأن زوال التسارع لدى فتحهم لمظلاتهم لا يكون سريعاً جداً والأمر الأكثر أهمية هو أن الرأس يكون نحو الأعلى.

يواجه الإنسان قوة ـ ج السلبية على نحو أقل، لكنها هي الأخرى مزعجة أيضاً. إنها تسحب الدم إلى الرأس، مما يجعل أوعية الدم الدقيقة هناك تنتج وتنفجر بفعل الإجهاد، مؤدية إلى حالة تعرف باسم «الأحمر ـ خارجاً» تصيب أحياناً قافزي البنجي (نوع من الرياضة نشرحها لاحقاً).

الإقـــلاع

تتفاوت قوة الجاذبية التي يواجهها رجل الفضاء خلال الانطلاق، إذ يتحكم بها قانون نيوتن في الحركة الذي ينص على أن القوة = الكتلة × التسارع. وهكذا غالباً ما يكون الانطلاق من الأرض لطيفاً تماماً لأن اندفاعة الصاروخ لا تتغلب إلاّ بالكاد على ثقل المركبة الفضائية. أمّا قوى الجاذبية

العظمى فتحدث حين تدخل المركبة مدارها إذ تصبح أخف بكثير (لأن معظم الوقود يكون قد نفد) فيما تكون الصواريخ ما تزال بكامل اندفاعها.

لقد تحمل رواد الفضاء الأوائل قوى ـ جاذبية كبيرة. ففي أثناء إطلاق ميركيوري 7 سنة 1962 مثلاً، خضع جون غلين إلى ما يزيد عن + 6 ج مدة 90 ثانية، وخلال برهة وجيزة خضع لتسارع ارتفع حتى + 8 ج. كان غلين مستلقياً وظهره إلى الأرض، بحيث كان عامل الجاذبية يعمل في اتجاه صدر ـ ظهر، وذلك ولكي يتفادى الآثار الفظيعة التي يمكن أن يتركها عامل الجاذبية حين يعمل باتجاه الرأس ـ القدم، لكنه حتى والأمر كذلك، فقد علق أحد رواد الفضاء قائلاً «إنه ليبدو وكأنه فيل يجثم فوق صدرك». غير أنه من بين عوامل الجاذبية الأشد التي واجهها رجال الفضاء هو ذاك الذي واجههوه في أثناء إطلاق المركبة الفضائية سويوز في أيلول / سبتمبر 1983. وبسبب نشوب حريق تحت الصاروخ قبل تسعين ثانية من موعد إقلاعه، كان لا بد من إيقاف عملية الإطلاق. فقام جهاز النجاة الخاص بالطوارئ بإطلاق الكبسولة نحو كيلومتر في الجو، مخفضاً من فيها إلى عوامل جاذبية وصلت حتى + 17 ج. لقد اجتازوا المحنة دون أذى. ثم هبطوا بالمظلات على الأرض غير بعيد عن مكان الإطلاق. بيد أن عوامل الجاذبية التي يواجهها رواد الفضاء اليوم هي أخف بكثير. فرواد المكوك الفضائي أو المركبة سويوز التي تمد المحطة الفضائية «مير» لا تزيد عادة عن 3 مرات ونصف القوة الجاذبية للأرض خلال الإطلاق.

يتحمل الطيارون العسكريون عوامل جاذبية أكبر حتى من رواد الفضاء (هائلة تصل إلى + 25 ج) إذا ما اضطروا لأن يقوموا بانقذاف طارئ من طائرة تعطلت، مع أن هذه تواجه فترات من الزمن أقصر. إن سحب مقبض الإطلاق يفتح أولاً غطاء مقصورة الطيار ثم يطلق مدفع القذف المركب تحت المقعد فيطلق الطيار الذي يكون ما يزال مربوطاً إلى مقعده، في الجو. ومن الواضح، أنه بقدر ما تكون سرعة إطلاق الطيار أكبر، يكون أفضل. لكن إذا

ما كان عالياً جداً فإن التسارع يصيب العمود الفقري بالتلف، ونتيجة للتجربة والممارسة العملية، فقد تقرر أن لا تتجاوز ذروة التسارع + 25 ج فإذا تجاوزت هذا الرقم ازداد خطر إصابة العمود الفقري كثيراً. تضم المقاعد القاذفة الأكثر حداثة صواريخ تستمر في الاحتراق نحو نصف ثانية بعد الإطلاق، مما يتيح إمكانية بقاء عامل الجاذبية ضمن الذروة وبالتالي يخف خطر إصابة الظهر.

ثمة مشكلة أخرى يمكن مواجهتها أثناء عمليات الإطلاق الفضائية وهي الارتجاج الشديد. ذلك أن هز الجسم ورجّه ليس مزعجاً فقط، بل يمكنه أن يضعف القدرة على القيام بالمهام اليدوية، كما يعجل بالغثيان وقد يجعل الجسم يرد بصورة متزامنة مع الارتجاجات. ولأسباب ما تزال غير مفهومة تماماً، يمكن له أن يؤدي إلى فرط التهوية والانهيار الجسدي.

دعم الحياة

يتعين على المركبة الفضائية أن تحمي ملاحيها من الحدود النهائية التي يواجهونها في الفضاء، إذ إن عدد جزيئات الغاز، على ارتفاع سبعمئة كم فوق سطح الأرض، يكون صغيراً بشكل لا نهائي وبالتالي فإن الضغط يقارب ضغط الخواء التام، لذلك على مركبة الفضاء أن توفر كلاً من الجو القابل للتنفس والحماية من الضغط وهو على حافة الخطر. كما أن الفضاء بارد للغاية ـ 237° مئوية تقريباً، لكن الأشعة الشمسية تسخن الأشياء وهي تشق طريقها صعداً، من هنا يتعين على المركبة الفضائية أن يكون فيها جهاز تحكم حراري يستطيع التغلب على الحدود الخطرة للحر والقر. كذلك ثمة اهتمام دائم بالضرر الذي يمكن أن يتأتى عن النيزكيات وأنقاض الفضاء. بل حتى قشرة الدهان الصغيرة التي تنفصل عن تابع فضائي وترحل بسرعة عدة آلاف من الأميال في الساعة يمكن أن تلحق بالمركبة الفضائية ضرراً فاتكاً. لهذا السبب تبعج النيزكات وعلى نحو منتظم تماماً نوافذ المكوك الفضائي

بحيث ينبغي تجديدها كل بضع رحلات.

سنة 1998، ضربت مركبة إمداد فضائية المحطة «مير» محدثة فيها ثقباً أصغر من طابع البريد. وللتو بدأ الهواء يتسرب زاعقاً في الخواء، لكن لحسن الحظ كان الثقب صغيراً وكان معدل فقدان الهواء بطيئاً بحيث استطاع رواد الفضاء أن يحكموا إغلاق حجرة التسرب. غير أن حظ رواد سويوز 2 لم يكن حسناً هكذا. فلدى رجوعهم إلى الأرض، قامت كبسولة هبوطهم بنزول آلي تماماً على الأرض، لكن أصيب طاقم الاستعادة بالهلع حين اكتشفوا، لدى فتح الكبسولة، أن الرواد كانوا في الداخل ميتين. لقد تبين فيما بعد أن صمام موازنة الضغط كان قد انفتح عرضاً في المدار، بعد فترة وجيزة من انفصال كبسولة الهبوط عن المركبة المدارية. ونظراً لأن ركابها كانوا قد خلعوا بذلات الضغط الفضائية لكي يحشروا أنفسهم في كبسولة الهبوط الصغيرة فقد ماتوا خنقاً. يرتدي رواد الفضاء، اليوم، بذلات واقية خلال الإقلاع والهبوط لكي يحموا أنفسهم من إمكانية فقدان الضغط، لكن أثناء وجودهم على مدارهم حول الأرض يلبسون ملابس عادية تتيح لهم إمكانية التحرك هنا وهناك بسهولة أكثر.

كان رواد السفن الفضائية الأمريكية الأوائل يتنفسون أوكسجيناً نقياً بضغط يساوي ثلث الضغط الجوي، وكانت هذه الاستراتيجية تمكّنهم من أن يحملوا أوكسجيناً، كوزن مقابل الحجم، أكثر مما لو استخدموا الهواء ذا التركيب نفسه الموجود في جو الأرض (والذي يحوي 78 بالمئة آزوتاً). وعلى الرغم من أن الأوكسجين النقي سام إذا ما تنفسته أكثر من أربع وعشرين ساعة في ضغط جوي عادي (أنظر الفصل الثاني) إلاّ أنه مأمون تماماً بثلث الضغط الجوي. لقد ملئت السفينة الفضائية «عطارد»، وعلى متنها بعثة جميني، بالأوكسجين النقي وبضغط جوي واحد وهي ما تزال على منصة الإطلاق، ثم جرى تخفيض الضغط لدى وصولها إلى مدارها حول الأرض.

وقد تم تغيير هذا الإجراء لاحقاً نتيجة للحريق المفجع الذي شب في أثناء إطلاق أبوللو 1 النظامي المشابه وقتل فيه غوس غريسوم، إد وايت وروجر شافي. يعد الأوكسجين النقي، في الضغط الجوي العادي، خطراً يهدد بإشعال النار، وما حدث لأبوللو 1 على ما يبدو، هو أن شرارة شاردة أشعلت مادة قابلة للاشتعال في حجرة القيادة، وسرعان ما حوّل جو الأوكسجين تلك الحجرة إلى جحيم. عقب هذه الحادثة باتت سفن أبوللو كلها تستخدم الجو العادي للأرض خلال الإطلاق ثم يتحول إلى أوكسجين نقي لدى الوصول إلى المدار فقط. وعلى العكس، فإن السفن الفضائية السوفييتية كانت تضغط دائماً بما يعادل واحد ضغط جوي مستخدمة الهواء بتركيب مماثل لهواء الأرض: 78 بالمئة آزوت و21 بالمئة أوكسجين. لقد تم الآن تبني هذه الاستراتيجية من قبل الناسا أيضاً، وذلك جزئياً بسبب المشاكل الناجمة عن آثار تنفس الأوكسجين النقي، حتى وإن كان الضغط مخفضاً فترات طويلة من الزمن في الرحلات الفضائية ذات الأمد الطويل.

إن التنفس يزيد من تركيز ثاني أوكسيد الفحم في الهواء، مما يمكن أن يؤدي إلى الصداع، الدوار فالاختناق النهائي (أنظر الفصل الثاني). لذلك يجب طرحه، ويتم هذا في السفينة الفضائية بواسطة تفاعله الكيماوي مع هيدروكسيد الليثيوم (الذي ينقلب إلى فحمات الليثيوم بعد التفاعل) لقد سلطت الأضواء على عليبات هيدروكسيد الليثيوم والمخاطر التي يمكن أن تنجم عن تراكم ثاني أوكسيد الفحم في نيسان / أبريل 1970. إذ بعد يومين ونصف من بدء مهمة أبوللو 13، حدثت الكارثة، فقد تسبب عطل كهربائي في انفجار واحدة من خلايا الوقود الثلاث التي تزود مركبة القيادة بالطاقة. وبدوره، قطع الانفجار إمدادات الوقود من الخليتين الأخريين، حارماً السفينة الفضائية من كل طاقة، لقد أصبحت مركبة الإنزال القمرية «أكواريوس» طوق النجاة لرواد الفضاء وذلك بتزويدها إياهم بالأوكسجين والماء والطاقة الكهربائية. لكن، لسوء الحظ، لم تكن مزودة إلاّ بعليبات من أوكسيد

الليثيوم تكفي لتنظيف الجو من ثاني أوكسيد الفحم لرجلين اثنين مدة يومين، في حين كان الأمر سيستغرق أكثر من ثلاثة أيام لإعادتهم إلى الأرض، وكان هنالك ثلاثة رواد فضاء. وهكذا سرعان ما قدمت نشرات الأخبار في العالم كله إلى الناس مخاطر ثاني أوكسيد الفحم الزائد. والحقيقة أنه كان هناك وفرة من عليبات هيدروكسيد الليثيوم في مركبة القيادة إلاَّ أنه لم يكن بالمستطاع استخدامها من قبل جهاز تنقية الهواء في «الأكواريوس» بسبب شكلها الخطأ، لكن، إثر عمل على مدار الساعة، استطاع فريق من المهندسين على الأرض أن يطور طريقة لإعداد منقي هواء، كبديل مؤقت وذلك باستخدام العليبات ذات الشكل الخطأ ومزيج كهربائي من لوح، حقائب بلاستيكية، شريط لاصق وجوارب قديمة. لقد كان برنامجي التلفزيوني المفضل، كطفلة نشأت في بريطانيا، هو «بيتر الأزرق» الذي كان يريك كيف تصنع نماذج من أواني اللبن والشرائط المطاطية. ولم يكن منقي الهواء البديل في أبوللو 13 إلاَّ نوعاً من اختراعات «بيتر الأزرق»، ولحسن الحظ فقد اشتغل.

كذلك، ينجم عن التنفس بخار الماء. كما يتضح لكل من يجلس في سيارة، نوافذها مغلقة والجو بارد. إن البخار الذي يتجمع على السطح الداخلي للنافذة يعود، إلى حد كبير للماء الخارج من رئتيك. على أنه لا بد من ضبط مقدار بخار الماء في جو السفينة الفضائية ضبطاً دقيقاً لأن الكثير منه يسبب التكاثف في حين أن القليل منه يؤدي إلى تجفف العيون والأغشية المخاطية في البلعوم، ولكي يتم التوصل إلى جو مقبول، يعاد تدوير الهواء في السفينة الفضائية باستمرار بحيث يصفى ثاني أوكسيد الفحم وذرات الغبار خارجاً وتعدل الرطوبة وتركيز الأوكسجين حسب الحاجة.

تكون درجة الحرارة، داخل سفينة فضائية، ما بين 18 ـ 27° مئوية وهي الحرارة المريحة للإنسان التي يتم الحفاظ عليها. والتحكم بدرجة الحرارة مسألة حاسمة، نظراً لأن السفينة الفضائية تشويها الشمس من جانب

ويجمدها برد الفضاء من الجانب الآخر. ولقد كانت المحطة الفضائية «مير»، حين فقدت كل طاقتها تبرد حتى درجة التجلد حين تختفي الشمس خلف الأرض ثم تصبح حارة إلى درجة لا تحتمل حين تعاود الظهور. وللحفاظ على درجة حرارة ثابتة خلال الرحلة من الأرض إلى القمر والعودة. فقد صممت السفن الفضائية أبوللو بحيث تدور ببطء، وهي الحركة التي باتت تعرف وعلى نحو غير مفاجئ، باسم «سيخ الشواء». أمّا في مكوك الفضاء، فيتحقق فقدان الحرارة بواسطة «مشعات فضائية» على الجوانب الداخلية من أبواب مركبة الحمولة الرئيسية التي تفتح ما إن يصل المكوك إلى مداره.

السقوط الحر

على الرغم من أننا نأخذ معظم بيئتنا معنا إلى الفضاء، إلاَّ أن الجاذبية تظل مسألة أخرى. إذ ليس من ضرورة لتطوير جاذبية اصطناعية، وذلك جزئياً، لأن أحد أهداف الأبحاث الفضائية هو التخلص من جاذبية الأرض، وجزئياً لأن آثار الجاذبية الصغرى، في الرحلات القصيرة على الأقل، ليست مثبطة، مع ذلك، ينبغي عدم إهمال الضغط الفزيولوجي الناجم عن انعدام الوزن. إنه يسبب انتقالاً مباشراً لسوائل الجسم من الرجلين إلى الصدر والرأس، كما يخلخل جهاز التوازن وهو ما يمكن أن يعجل بالإصابة بمرض الفضاء. كذلك يحدث في الرحلات طويلة الأمد، نوع من الفقدان الزائد للكريات الحمراء، وارتشاح الكالسيوم من العظام والوهن العضلي بيد أن معظم هذه التغيرات تستقر خلال ستة أسابيع تقريباً. وحده فقدان الكلسيوم يستمر طوال الرحلة، دون أن تشاهد آلية تعديل له حتى في الرحلات التي تطول حتى السنة.

لا تختلف قوة الجاذبية في سفينة فضائية تدور حول الأرض اختلافاً كبيراً جداً عما هي عليه فوق سطح الأرض والسبب في أن رواد الفضاء يواجهون انعدام وزن هو أنهم في حالة سقوط حر مستمر. إننا، على

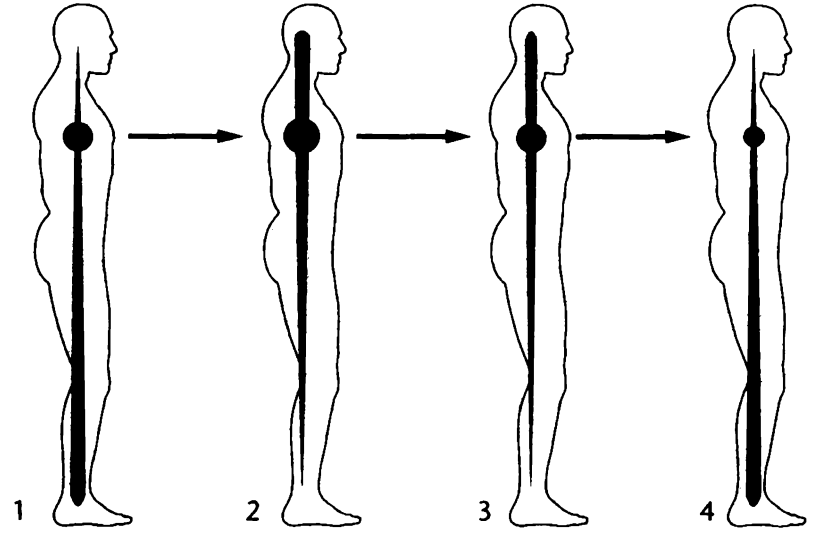
الأرض، نشعر بالوزن فقط لأن الأرض تحتنا تدفعنا أعلى مانعة إيانا من التسارع باتجاه مركز الأرض. وعندما يلغى رد الفعل هذا ـ مثلاً، عندما يقفز مظلي من طائرة أو عندما نقفز من أعلى جدار. ونكون الجزء من الثانية، في الهواء ـ فإننا نواجه انعدام الوزن. والواقع أن السفينة الفضائية، وهي في مدارها، تكون في حالة سقوط حر مستمر، لكن فيما هي تسقط باتجاه الأرض، تعمل سرعتها لحملها وجعلها تمضي قدماً، بحيث تستمر في الدوران. لذلك، وللدقة، يشار إلى رحلة في مدار حول الأرض بأنها ذات شروط جاذبية صفر لا جاذبية الصفر. إن أدنى المدارات هو 200 كم فوق سطح الأرض. وهو الارتفاع الذي تصبح فيه مقاومة الهواء غير ذات قيمة. في الارتفاعات التي هي أدنى من ذلك، يعمل جو الأرض على إبطاء السفينة الفضائية وسحبها بحيث يجعلها تنتقل أخيراً نحو الأسفل وتحترق في الطبقة الجوية الأدنى. لقد كانت المحطة الفضائية، «مير»، تدور على ارتفاع نحو 400 كم فوق سطح الأرض، لكن حتى على هذا الارتفاع، فإنها تحيد عن مدارها باستمرار ويتوجب إجراء تصحيحات كل بضعة أسابيع لكي تحافظ على مدارها الأصلي. إن الحد الأعلى للمدارات حول الأرض التي يدور عليها الإنسان إنما حددته الحاجة لتجنب أحزمة أشعة التأيين التي تسطع من الكوكب على ارتفاع نحو 400 كم فوق سطحه (أنظر لاحقاً).

انعدام الوزن

يؤثر انعدام الوزن تأثيراً ملحوظاً على توزع سوائل الجسم. فعلى الأرض، تتسبب الجاذبية في جعل الدم وسوائل النسيج تتجمع في الرجلين وأسفل الجسم، لكن ما إن تتخلص من جاذبية الأرض حتى تتحرك هذه السوائل نحو الأعلى، محدثة نوعاً من التغيرات الواضحة جداً أو غير المريحة جداً. فوجهك ينتفخ وأوعية وجهك وعنقك الدموية تنتفخ بصورة بارزة كما تشعر وكأن عينيك تنتآن إلى الخارج، فيما ينسد خيشوماك

وتتلاشى حاسة الشم والذوق لديك. أن شعورك أشبه ما يكون بحالة «زكام تام». ثمة نتيجةٌ أخرى أيضاً هي أن رجليك تنكمشان فاقدتين نحو عشر حجمهما، وقد سجل نقصان في محيط بطة الساق بلغ نحو 30 بالمئة منه. يشد رواد الفضاء أحياناً أحزمة مطاطية حول أعلى سيقانهم كي يحدوا من تدفق سوائل الجسم من الساقين (ذلك أن ضغط الدم في الشرايين أكبر مما هو في الأوردة، كما يزول كل عائق أمام تدفق الدم إلى الساقين).

يحرض انتقال السائل أجهزة الإحساس بالضغط الموجودة في الرأس والصدر، فيقوم الجسم، خلال بضعة أيام، بالتكيف مع آثار انعدام الوزن



تحرك سوائل الجسم أثناء انعدام الوزن: على الأرض، يتراكم السائل في النصف الأسفل من الجسم بسبب الجاذبية[1]. خلال بضع دقائق من الوصول إلى وضع انعدام الوزن، ينتقل نحو ليترين من سوائل الجسم إلى الصدر والرأس[2]. بعدئذ تؤدي الآليات التعويضية إلى إعادة توزيع تدريجي للسائل في أنحاء الجسم كلها[3]. ولدى العودة إلى الأرض، تمارس الجاذبية مرة أخرى تأثيرها لكن بسبب عمليات إعادة التكييف التي تجري في الفضاء، فإن مقداراً من الدم، أكبر نسبياً من المعتاد يتجمع في الساقين[4]. الأمر الذي يجعل من الصعوبة بمكان على رائد الفضاء العائد إلى الأرض أن يقف على قدميه دون أن يصاب بالإغماء.

وذلك بإنقاص حجم الدم وسوائل الجسم عن طريق زيادة التبول وإنقاص ما يتناوله من سائل. لهذا يكتشف رواد الفضاء أنهم يفقدون وزناً خلال الأيام القليلة الأولى لهم في الفضاء، وذلك، إلى حد كبير بسبب هذا الفقدان لماء الجسم. أمّا الدافع للتبول أكثر فقد يكون مزعجاً كثيراً، خاصة إذا كان رائد الفضاء، كما هي الحال في رحلات الفضاء الأولى، يرتدي بذلة فضاء، لكن ليس ثمة دليل على أن تحرك سوائل الجسم نحو الرأس أو الآليات التعويضية التي تحدث نتيجة لذلك، يضعف الوظيفة الوعائية القلبية في الفضاء. لكن تصبح المسألة مختلفة للغاية لدى العودة إلى الأرض، كما سنناقش ذلك لاحقاً.

يعود رائد الفضاء، بعد تحرره من ضغط الجاذبية، فيصبح أطول وذلك لزوال الضغط عن الأقراص الغضروفية التي تفصل عظام العمود الفقري. يزداد معظم الناس طولاً بمقدار سنتيمتر أو اثنين، لكن بعض الأفراد قد يطولون أكثر بكثير، كما كانت حالة جون غلين في رحلته الفضائية الثانية، وهو في سن السابعة والسبعين، إذ تبين أنه ازداد طولاً بمقدر 6 سم، لهذا يتعين على المهندسين أن يأخذوا هذه التغيرات في حسبانهم. لقد نسي مصممو الكرسي التجريبي المستخدم لقياس ردود فعل رائد الفضاء، في إحدى رحلات المكوك الفضائي الهادف للبحث في آثار انعدام الوزن على الجهاز العصبي، أن يتيحوا مجالاً للتمدد، فشكا رائد الفضاء من أن الكرسي ضاق عليه كثيراً. كذلك، فإن الرئتين، القلب، الكبد والأعضاء الأخرى لا تعود ذات وزن بعد، بل تعوم هنا وهناك في جوف الجسد. وكما ذكر أحد رواد الفضاء واصفاً ما ظل في ذاكرته: «إنك تشعر وكأن أحشائك تطفو إلى الأعلى».

يتناقص، في الجاذبية الصغرى، إنتاج الكريات الحمراء في الدم تناقصاً ملحوظاً. وبما أن عمر هذه الكريات قصير (120 يوماً فقط) فإن نقصاً كهذا في إنتاجها يؤدي إلى هبوط في عدد الكريات الحمراء في الجهاز الدوراني.

يبدأ هذا الهبوط خلال أربعة أيام من التعرض لانعدام الوزن ثم يستقر بعد نحو 40 إلى 60 يوماً. لقد انخفض عدد الكريات الحمراء، خلال رحلة فضائية مدتها عشرة أيام، بنسبة نحو 10 بالمئة، لكن سجلت نسبة نقصان أكبر في الرحلات الأطول.

يتحكم هرمون الأريثروبويتين، كما شرحنا في الفصل الأول، بإنتاج الكريات الحمراء في الدم، وهو الهرمون الذي يبت في إفرازه مستوى الأوكسجين في النسج، إذ بقدر ما ترتفع نسبة الأوكسجين، يقل إطلاق الأرثيروبوتيين وبالتالي يقل إنتاج الكريات الحمراء. لهذا، ذهب الظن، في البداية، إلى أن إنتاج الكريات الحمراء تهبط لأن جو القمرات الفضائية الأولى كان عالي الأوكسجين، لكن اضطروا فيما بعد إلى إعادة النظر بهذه الفكرة حين تبين أن عدد الكريات الحمراء استمر بالانخفاض في الرحلات الفضائية اللاحقة، حيث كان يستخدم ضغط الأوكسجين المألوف على الأرض.

الآن يذهب الظن إلى أن فقدان الكريات الحمراء إنما هو نتيجة للتغيرات في حجم الدم التي تحدثها الجاذبية الصغرى إذ يعتقد أن انتقال الدم إلى الصدر، ذاك الذي يحدث لدى التعرض لانعدام الوزن، يوهم الجسم بأن لديه الكثير من الدم ويدفعه إلى تخفيض إنتاج الكريات الحمراء. وهذا يحدث بفعل الانخفاض الملحوظ في مستويات الأريثروبويتين. لكن، وبكل بساطة، ليس نقص الإنتاج كافياً لتعليل النقصان المثير للدهشة في كتلة الكريات الحمراء. لدى التعرض لحالة انعدام الوزن، إضافة إلى ذلك، فإن الكريات الحمراء التي تكون على وشك الانطلاق من نقي العظام تدمر عملياً أيضاً.

النوم

غالباً ما يشكو رواد الفضاء من أنهم يجدون صعوبة في النوم في الفضاء، بعض هذه الصعوبة يعود ولا شك لحدة الطيران الفضائي وحداثته.

الأكثر من ذلك أن المركبة الفضائية قد تكون شديدة الضجيج كما أن زملاء المرء، وكلهم في حالة انتظار، قد لا يلوذون بالصمت. لكن من المحتمل على ما يبدو، أن السبب الرئيسي لعدم النوم هو تحطم النظام الدوراني العادي للجسم (ساعته البيولوجية)، إذ إن كثيراً من العمليات الفيزيولوجية، ومن بينها النوم، يتحكم بها نظام الإيقاع الدوراني الذي تنظمه، بدوره، دورة الليل والنهار. فمن المعروف جيداً أن الناس في خطوط العرض الشمالية ينامون أقل كثيراً خلال الصيف القطبي، أي عندما لا تغيب الشمس البتة، مما يفعلون خلال الشتاء القطبي والظلمة مستمرة. ونظراً لأن الشمس تشرق وتغرب مرة واحدة كل تسعين دقيقة فيما المكوك الفضائي يدور حول الأرض، فإن دورة الليل والنهار المعتادة لدى رائد الفضاء تتأثر تأثراً كبيراً.

كذلك، تنشأ عن النوم في حالة الجاذبية الصغرى مشكلات أخرى، فلكي يضمن عدم تحركهم هنا وهناك في المركبة الفضائية أثناء نومهم، يتعين على رواد الفضاء أن يغلقوا على أنفسهم أكياس النوم المثبتة إلى جدران المركبة. ينام معظم الناس بصورة أفضل حين يشعرون بالأمان. لكن في الجاذبية الصغرى، يكون هناك شيء من الإحساس بالضغط بحيث لا تشعر بأنك مستلق في سريرك. لذا يجد بعض الرواد أن من الأسهل عليهم أن يناموا إذا ما وضعوا شريطاً حول جبهتهم بحيث يشعرون وكأنهم يريحون رؤوسهم على وسادة كما يمكنهم أن يستخدموا شرائط مماثلة على ركبهم بحيث تساعدهم في التكور. كذلك يتعين عليهم أن يكونوا حذرين من أن يضعوا أنفسهم في مجرى هواء دائم، بحيث يتحرك ثاني أوكسيد الفحم الذي يزفرونه بعيداً عنهم ولا يتراكم حول وجوههم وأعناقهم. إن حركة الهواء، على الأرض، وتيارات الحمل الحراري تكفل دوراناً مستمراً للهواء. لكن في الجاذبية الصغرى، لا يكون ثمة تيار ولا حمل لينقل ثاني أوكسيد الفحم الناتج عن الزفير. والهواء الساخن لا يرتفع (فالهواء الساخن هنا لا يعود أخف من الهواء البارد في الفضاء نظراً لأنهما بلا وزن).

العدوى

كل منا عبارة عن مضيف لملايين المتعضيات الصغيرة التي تصحبنا أينما حللنا أو رحلنا، حتى في الفضاء. بل يقدر أن لدى المرء السليم أكثر من ألف بليون (10^{12}) جرثومة على جلده وملايين كثيرة أخرى في أحشائه. فيما يطرح منها ما يبلغ العشرة ملايين مع ما يطرحه الجلد من تغلسات كل يوم. إن القول الشائع «السعال والعطاس ينثران الأمراض» هو أكثر قابلية للتطبيق في الفضاء. فعلى سطح الأرض، سرعان ما تستقر قطرات الماء المليئة بالجراثيم على الأرض حيث تؤذي قليلاً، لكنها، مع انعدام الجاذبية، تطفو في الجو مشكلة طبقة هوائية رقيقة يمكن أن يتنفسها رواد الفضاء الآخرون. ولقد نكب أفراد البعثات الفضائية الأولى بأمراض صغرى ـ ما يربو على 50 بالمئة عن طواقمها عانوا من أمراض الجلد أو جهاز التنفس أو الهضم ـ لكن عزل الرواد في رحلات أبوللو الأولى قبل الرحلة وكذلك التعقيم المتشدد للمركبة الفضائية، سواء قبل الرحلة أو خلالها، خفض تخفيضاً ملحوظاً من الإصابة بالعدوى.

العيش في الجاذبية

يستمتع معظم الناس ويبتهجون في الجاذبية الصغرى. واصفينها على أنها الحرية المطلقة. إذ من الممكن العوم تحت الطاولة، التمدد على السقف (رغم أن مُصطلح «سقف» و«أرض» يكفان عن أن يكون لهما أي معنى). كما يمكن للمرء أن يعلق نفسه في المركز من عالم يدور أو يطير بصورة ساحرة هنا وهناك من القمرة. كما تصبح الحركات البهلوانية، مثل القلب رأساً على عقب والفتل والبرم كلها سهلة حتى بالنسبة لأولئك الذين لم يتلقوا أي تدريب جمبازي. إذ يمكنهم أن يتحركوا في الأبعاد الثلاثة لتبدو القمرة الضيقة وقد صارت شاسعة واسعة بغتة.

بيد أن التحرك في الجاذبية الصغرى ليس بسيطاً. فأن تتحرّك لا بد من أن تدفع بيدك جدار القمرة، تماماً مثل سباح يستخدم الجدار لكي ينعطف عند نهاية المسبح، لكن إذا ما دفعت الجدار بشدة ستجد نفسك تتحرك بسرعة وتصطدم بالجدار المقابل. ولقد أصيب الرواد الجدد بالكثير من الكدمات قبل أن يتعلموا استخدام أطراف أصابعهم لدفع أنفسهم دفعاً لطيفاً.

تتحرّك الأشياء المرمية في الفضاء، لدى تحررها من الجاذبية، وفق خط مستقيم، وليس وفق فتحة السقوط الذي تسير عليه فوق الأرض.

لقد وصفت هيلين شارمان، في مفكرتها، شربتها الأولى للماء في الفضاء، وذلك ليس باستخدامها أداة الشرب الخاصة التي زودت بها، بل بالتقاطها بفمها فقاعة ماء متهادية وامضة أطلقها من خزان ماء مضغوط زميلها المكشر ضاحكاً: «لقد أطبقت فمي عليها فكوفئت بانفجار لذيذ لماء بارد».

توضح الجاذبية الصغرى توضيحاً جميلاً الفارق بين الكتلة والوزن. فالكتلة هي مقاومة الشيء للحركة، في حين أن الوزن هو تأثير الجاذبية على الكتلة. في الفضاء يختفي الوزن، لكن تبقى الكتلة وهذا ما يفسر لماذا يمكنك أن توازن رجلاً أو فأراً على إصبعك الصغيرة بالسهولة نفسها في كلتا الحالتين، مع ذلك إذا حاولت أن تدفع أحدهما من جانب من القمرة إلى الجانب الآخر، ستجد أن تحريك الفأر يتطلب جهداً أقل من الرجل.

يقول قانون الحركة الثالث للسير إسحق نيوتن «لكل فعل رد فعل مساو لكنه مضاد». هذا الأمر لا يكون واضحاً دائماً على الأرض، فعندما نرفع شيئاً أو ندفع أحداً بعيداً عنا، نبقى ثابتين لأن الكوكب الذي نقف عليه ذو كتلة هائلة ويقاوم الحركة. على أن الوضع يختلف تماماً في الفضاء. فإذا ما دفع رائد الفضاء شيئاً ذا حجم مساو لحجمه، فإنهما كليهما يتحركان، لكن في اتجاهين متعاكسين. وإن حاول أن يدير عزقة بمفتاح، تظل العزقة ثابتة في مكانها، بينما ينفتل هو نفسه حولها، لذا، يتعين على رائد الفضاء أن يثبت قدميه على سطح ثابت لا يتحرك. كما تستخدم مثبتات أقدام لإبقاء قدميه في مكانهما وهي غاية في الأهمية بالنسبة إلى العمل خارج المركبة الفضائية وذلك لمنع رائد الفضاء من الانجراف بعيداً عن المركبة والغوص خارجاً في الفضاء.

ثمة بعض الأنشطة من الصعب كثيراً ممارستها في الجاذبية الصغرى. فالغسيل مشكلة، نظراً لأن قطيرات الماء تتناثر مالئة الفضاء، مشكلة كرات متلألئة مترجرجة تعوم في القمرة ويصعب التخلص منها. إنها تنزلق عبر الأصابع وتتحلل إلى أعداد هائلة من الكريات الصغرى، وعلى رائد الفضاء أن يتعامل معها بإسفنج الحمام.

يمكن أن يكون الماء لعبة تلعب بها، لكن تنظيف السوائل الأخرى يمكن أن يكون أكثر إزعاجاً. إذ إن أحد التحديات الكبرى التي كان على المهندسين أن يواجهوها إنما هو تصميم مراحيض فضائية مقبولة وفعالة. فالبعثات الأولى كانت تعتمد على عدة مجمعة داخل البذلة لكن هذه استبدلت ليحل محلها مرحاض فضائي يعمل بطريقة مشابهة كثيراً للطريقة التي يعمل بها على الأرض، ما عدا أنه يستخدم المص ليسحب قطيرات البول إلى داخله، ثم تطلق بعدئذ في الفضاء حيث تتجمد في الحال لتشكل سحابة من بلورات جليدية لامعة. فعندما سئل عن أجمل مشهد رآه في الفضاء، أجاب أحد رواد أبوللو قائلاً: «بول يطرح عند غروب الشمس».

كذلك يتعين طرح البراز في إناء هوائي ثم يخزن ويعاد إلى الأرض ليتم التخلص النهائي منه. أمّا الحلاقة، حتى بآلة كهربائية، فإنها تملأ الهواء بالشعيرات، لذا فإن معجون حلاقة (لتجميعها معاً) أو منظفاً خوائياً، هو رفيق أساسي في رحلة كهذه، وعلى الرغم من أنه لم يعد ثمة حاجة لأن تضع عدستك على الطاولة كي تصور، لأنها ستسبح بسعادة في الجو من حولك، فإن أي شيء تتركه دون رباط سيتحرك بعيداً لدى أخف لمسة، لهذا يتوجب ربطه بشرائط «فيلكرو» أو شرائط مطاطية.

تعد العناية بالقمرة وصيانتها كابوساً في الفضاء، ذلك أن الغبار لا يسقط بل يعلق في الجو. لقد كانت المحطة الفضائية، «مير» حسنة التهوية والهواء الدوار فيها يخضع للتصفية، لكنها ظلت محشوة بدقائق الغبار المتشكلة من تغلسات الجلد، الشعيرات الشاردة ودقائق الطعام التي لا ترى بالعين. يطرح الإنسان نحو 10 بلايين من التغلسات الجلدية كل يوم. تساهم هذه، على الأرض، بتشكيل الغبار الأبيض الذي يتجمع على السطوح المكشوفة في حمامك، لكنها، في الفضاء، تبقى طافية في الهواء الذي تتنفسه. نتيجة لذلك، يغلب على رواد الفضاء، أن يعطسوا كثيراً، بمعدل يصل أحياناً إلى الثلاثين مرة في الساعة. كما أن حكاك العين بسبب تلوث الهواء الداخلي من الشكاوى الشائعة.

لكن، لعل الأمر الأكثر غرابة هو الغبار الأسود الدقيق، كالشحار، الذي يغطي سطح القمر. لقد كانت الصعوبة الرئيسية التي واجهت رواد أبوللو، لأنهم، وبشكل لا مناص منه، حملوه بأحذيتهم إلى داخل قمرة الإنزال. فعلى القمر، حيث الجاذبية سدس جاذبية الأرض، كان يتساقط ببطء دون أن يلاحظه أحد، لكن ما إن صاروا في الفضاء حتى بدأ يعمل عمله في كل شيء جاعلاً بذلاتهم الفضائية سوداء. والغريب أن رائحته كانت أشبه برائحة البارود. على أن الغبار القمري لم يكن مشكلة جمالية فقط، فالدقائق الناعمة كانت تتجمع معاً لتمنع سحابات البذلات الفضائية من الحركة، والمفاتيح من الدوران، والأجهزة الإلكترونية من العمل بصورة سليمة وأخيراً لتشكل نوعاً من الطبقة على السطح الداخلي لرئات أولئك الرواد. وهناك مسألة أخرى: ربما كان يحوي جراثيم يمكن أن تلوث الأرض.

دوار الفضاء

لدى دخول الرائد إلى الفضاء، تغدو حركته غير متناسقة، ويجد من الصعب عليه أن يمسك الأشياء بدقة (إذ يغلب عليه أن «يخطئ» هدفه). كما يسجل الكثيرون منهم أحاسيس تعثر أو انقلاب (ينقلبون رأساً على عقب، وكأنهم يعانون من دوار)، لكن الأكثر خطورة أن ثلثي رواد الفضاء يصابون بدوار الفضاء، بعضه إصابات حادة تماماً. تتضمن أعراض هذا المرض الصداع، الغثيان، الدوخة، فقدان الشهية، افتقاد الحافز، النعاس وسرعة التهيج والغضب. كما يمكن للتقيؤ أن يحدث بشكل مفاجئ للغاية، دون إنذار مسبق غالباً، وباندفاعات متباعدة عادة يشعر المصاب في الأوقات الفاصلة بينها أنه عادي تقريباً. يمكن أن يشكل دوار الفضاء عائقاً حقيقياً لرواد الفضاء، مانعاً إياهم من أداء عملهم، ومن المحتمل أن يكون مميتاً إذا كان رائد الفضاء يرتدي بزة الفضاء. وما يشكل أهمية خاصة أن معظم الأفراد الذين هم عرضة له يصابون به خلال الساعة الأولى من التعرض للجاذبية الصغرى. أي خلال المراحل الأولى الحاسمة للمهمة. لكن لحسن الحظ أن معظم الرواد يشفون بعد يومين أو ثلاثة من وجودهم في الفضاء.

من الشائع كثيراً أن ما يعجل بدوار الفضاء هو إمالة الرأس إلى الأمام

أو الخلف على الرغم من أنه يمكن في بعض الحالات أن يكون مشهد فقدان التوجه بصرياً غير كافٍ. إنك إذا ما أصبت بدوار البحر، تكتشف مباشرة أنك ستكون، أفضل حالاً على متن السفينة حيث يمكنك أن تثبت عينيك على الأفق. غير أن مشكلة رواد الفضاء أكثر صعوبة نظراً لأن كل النقاط المرجعية البصرية هي افتراضية. إذ ليس هناك «فوق» أو «تحت» في الفضاء. إنه عالم منقلب رأساً على عقب، حيث النقاط المرجعية فيه تفتل باستمرار، وبالطريقة ذاتها التي تدور بها حين تتطلع إلى مفارقة ويتغنستاين الشهيرة، البطة ـ الأرنب. وفي حين أن بعض الرواد يكتشفون فقدان الاتجاه هذا، منذ البداية، إلاَّ أن آخرين يتكيفون بسرعة. لقد علق جون غلين قائلاً: «قبل الرحلة تكهن بعض الأطباء أنني قد أصاب بغثيان أو دوار لا يمكن التحكم به، حين تكون السوائل في أذني الداخلية حرة وتتحرك بصورة اعتباطية خلال انعدام الوزن، لكنني لم أواجه مشاكل كهذه... بل وجدت انعدام الوزن شيئاً ساراً للغاية». لكن جون غلين كان موثقاً إلى مقعده طوال رحلته القصيرة. وبالعكس، فإن رواد الفضاء اليوم يظلون أحراراً في التحرك، هنا وهناك، والأتعس حظاً هو الذي يصاب بدوار الفضاء حين يرى زميله يسبح عالياً ـ سافلاً أو حين يقوم بحركات بهلوانية.

ما يزال سبب هذا المرض غير معروف بالضبط، لكن يعتقد أنه قد ينجم عن تضاد الإشارات المتعلقة بوضع الجسم إننا نستمد إحساسنا بالتوجه من تكامل المعلومات الآتية من المستقبلات العضلية والمفصلية التي تشير إلى وضع الأطراف جنباً إلى جنب مع الأدلة البصرية. لكن، في الفضاء، تتوقف كثير من هذه المستقبلات عن تلقي منبهاتها المعتادة: فالأدلة البصرية، بصورة خاصة، تفقد معناها المعهود. مثال على ذلك، يطير مكوك الفضاء وعاليه سافله بالنسبة إلى الأرض، فيما زعنفة ذيله تتوجه باتجاه الكوكب. يحاول الرواد فيه أن يحافظوا على التوجه الأرضي المألوف في قمرتهم خلال الأيام القليلة الأولى في الفضاء (أي أنهم يطيرون عملياً

وعاليهم سافلهم) علّ ذلك يساعدهم في تعديل آثار فقدان الاتجاه الناجمة عن انعدام الوزن، لكن فيما بعد، وحين يألفون وضعهم الجديد أكثر يوجهون أنفسهم عشوائياً.

دفع الثمن

تتضمن النتائج طويلة الأمد للجاذبية الصغرى؛ الخسارة العظمية والتلف العضلي، وكلاهما قد يكون كبيراً في رحلات الفضاء طويلة الأمد، لكن على الرغم من أن هذا قد لا يؤثر بشكل ملحوظ على الأداء أثناء الرحلة، إلاّ أنه قد يكون ذا نتائج خطيرة عند العودة إلى الأرض. إذ يمكن أن يستغرق وقتاً طويلاً قبل أن يعيد رائد الفضاء الكتلة العضلية والعظمية إلى وضعها ما قبل الرحلة ـ وذلك بصورة تتناسب مباشرة مع طول الرحلة الفضائية نفسها ـ وليس معروفاً ما إذا كانوا يستعيدون عافيتهم تماماً بعد رحلات فضائية طويلة جداً، كالرحلة إلى المريخ.

إن العظم هو عبارة عن نسيج حي يتكون ويعاد تكونه باستمرار طوال حياتنا. وبقدر ما يقع ضغط أكبر عليه، يصبح أكثر سماكة، والعكس صحيح، إذ حين يخف الحمل عليه ـ كما هي الحال عندما يخلص المرء من قوة جاذبية الأرض ـ فإن العظم يرق ويصبح هشاً، وذلك يفسر لماذا يكون الفاقد العظمي المصاحب للرحلات الفضائية الطويلة منحصراً في العظام حاملة الثقل فقط. ذلك أن الكالسيوم يرتشح خارجاً من العظم، وهو يرق، مما يؤدي إلى مضاعفات ثانوية تنجم عن ارتفاع الكالسيوم في البول، الأمر الذي يعزز خطر الإصابة بالحصى الكلوي. كما أن تناقص المعدن يؤدي إلى وجود العظام الهشة (ترقق العظام) ويزيد من خطر التكسر لدى العودة إلى الأرض. يمكن للفاقد العظمي أن يكون كبيراً تماماً في رحلة فضائية طويلة، إذ يفقد رائد الفضاء نحو 1 بالمئة من كتلته العظمية كل شهر، وعشرة أشهر من التعرض للجاذبية الصغرى يمكن أن تؤدي إلى نقصان في الكثافة المعدنية

العظمية يعادل ما يحدث بين سن الثلاثين وسن الخامسة والسبعين عا الأرض.

نقاط التوازن

لدينا عضوان للتوازن. كل منهما يقع على جانب من جانبي الرأس إنهما يعرفان باسم الجهاز الدهليزي ويوجدان في الأذن الداخلية. يتألف كل منهما من عضوين حصويين وثلاث قنوات شبه دائرية، ويقدم المعلومات المتعلقة بحركة الجسم ووضعه.

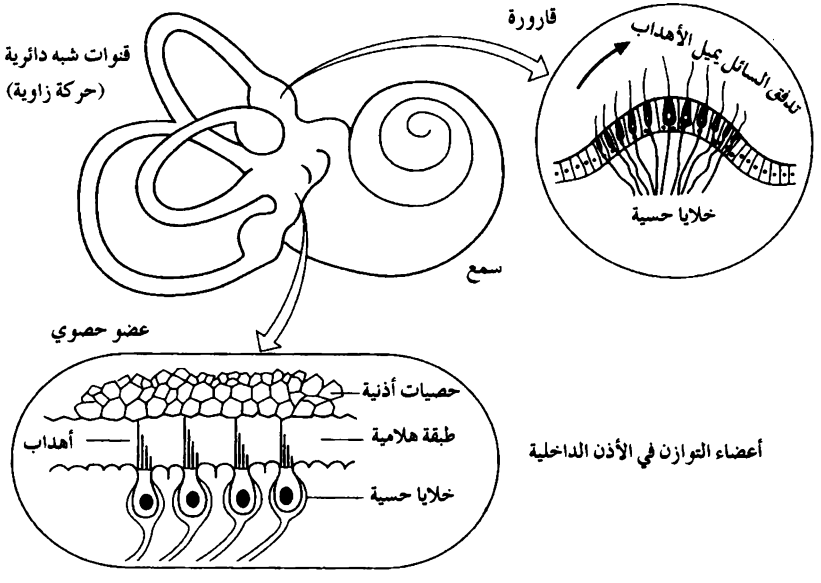
أمّا العضوان الحصويان فعبارة عن كيسين مليئين بالسائل مع أعضاء حس تتوضع في جدرانهما، وتتكون من مجموعات من الخلايا فيها عدد كبير من الشعيرات الحسية الدقيقة على سطوحها العلوية تعرف باسم الأهداب التي تبرز داخل طبقة من المادة الهلامية تغطي سطح الخلية، حيث يقع في أعلاها بلورات دقيقة من فحمات الكالسيوم تعرف باسم الحصيات الأذنية وهي بحجم ذرات الغبار وتعمل ككاشفات جاذبية.

فعندما يكون الرأس منتصباً إلى الأعلى، تقف الأهداب منتصبة تدعمها طبقة الهلام التي تغطي سطح الخلية، لكن إذا ما مال الرأس جانباً فإن الجاذبية تجعل البلورات تنزلق جانباً ساحبة معها الشعيرات الحسية ومحرضة إياها. كذلك، تكون الحصيات الأذنية حساسة تجاه العوامل الشاقولية: فهي ترفع الشعيرات الحسية حين يهبط بك المصعد نازلاً إلى الأسفل وتثير الإحساس بأنك تترك معدتك خلفك.

في الفضاء، تكف الجاذبية عن إرغام الحصيات الأذنية عن أن ترتاح على الخلايا الحسية، وبذلك يتلقى الدماغ معلومات متضاربة عن وضع الجسم في الفضاء سواء من الأعضاء الحصوية أو العينين. ومن المعتقد أن هذا التضارب يسهم في إحداث دوار الفضاء. تكشف القنوات شبه الدائرية التسارع الزاوي وهناك ثلاث منها كل قناة موجهة بزاوية قائمة مع كل قناة أخرى على طول المحاور X، وY، وZ، مما يمكّننا من تبين الحركة في مستوياتها المختلفة الثلاثة، المترافقة مع الإيماء بالرأس (درجة الميل)، الإمالة إلى أحد الجانبين (الالتفاف) وهَزِّه من جانب إلى جانب (الانعراج).

أمّا القناة شبه الدائرية فهي عبارة عن أنبوبة جوفاء ملأى بالسائل ذات انتفاخ في نهايتها (قارورة) تتوضع في داخلها خلايا حسية تحمل على سطحها كثيراً من الأهداب التي تبرز وسط القناة. فإذا تحرك السائل الذي يملأ القناة بالنسبة إلى جدار القناة، يتغير وضع الأهداب مما يحرض الخلايا الحسية.

عندما تبدأ بتدوير رأسك تتحرك الجمجمة، غير أن السائل في القنوات شبه الدائرية يظل في الخلف بسبب العطالة. نتيجة لذلك، يسحب السائل الأهداب حانياً إياها، مما يحرض الخلايا الحسية ويحدث الإحساس بالحركة، فإذا تابعت تدوير الرأس، ستلحق الحركة بالسائل ليتحرك بمعدل حركة الجمجمة نفسها. عند هذه النقطة، لن يعتورك بعد الإحساس بالدوران. مما يعني أن القنوات شبه الدائرية تكشف التغيرات في السرعة الزاوية لكنها تفقد الحساسية تجاه الدوران المستمر. فالطيار في طائرة تدور، مثلاً، يتوقف عن الإحساس بأنه يدور خلال خمس عشرة إلى ثلاثين ثانية، ولا بد له من الاعتماد على أجهزة ومفاتيح بصرية تقدر له وضعه.



عندما تتوقف عن الدوران، يكون السائل في قنواتك شبه الدائرية قد شكل زخم حركة ويتابع الدوران حيناً من الزمن مما يجعلك تشعر بأنك ما تزال تتحرك. وهذا ما يفسر لماذا يسيطر على الطيار الخارج من هبوط لولبي الإحساس بأنه يدور في الاتجاه المعاكس. ثمة أمر مشابه يمكن ملاحظته إذا ما درت في مكانك عدة ثوان ثم توقفت. على الأرض، وحين تهز رأسك إلى الأعلى والأسفل أو تميله من جانب إلى جانب، تحرص على العمل كل من كاشفات الجاذبية والتسارع الزاوي. أمّا في حالة الجاذبية الصغرى، فإن مستقبلات الجاذبية تتوقف عن الاستجابة فيما يظل التسارع الزاوي موضع كشف. لهذا يتلقى الدماغ إشارة مختلفة عن تلك التي كان يتوقع، ولعل هذا ما يفسر لماذا يبدأ دوار الفضاء غالباً بحركات من الرأس. لكن مع الزمن، يتكيف الدماغ مع الإشارات المتضاربة مما يجعل مرض الفضاء يختفي.

تنسق المعلومات الآتية من الجهاز الدهليزي مع حركات العين بحيث تضمن أن يظهر العالم وكأنه ما يزال ثابتاً حين يدور الرأس. وهكذا عندما تدير رأسك يميناً، يدير المنعكس التعويضي عينيك يساراً بالسرعة نفسها، بحيث ترى صورة ثابتة للعالم من حولك. إن الترابط بين الجهاز الدهليزي وحركة العين هو ما يفسر لماذا يبدو العالم من حولك وكأنه يدور حين تكف أنت عن الدوران، إذ بدلاً من دوران العالم، يكون نظرك متحركاً في الاتجاه المعاكس.

لقد ذكر رواد الفضاء أنهم عندما يحركون رؤوسهم خلال رحلة فضائية يبدو العالم من حولهم وكأنه هو الذي يتحرك وليس رؤوسهم مما يدل على أن الترابط بين الجهاز الدهليزي وحركة العين قد تأثر.

ثمة عاقبة خطيرة أخرى للجاذبية الصغرى المطولة ألا وهي ضم
عضلات حاملة الثقل وذلك بسبب قلة الاستخدام. إنها تتقلص حجماً وق
تصبح أكثر عرضة للتلف الناجم عن ممارسة الرياضة. كذلك تضعف النس
واصلة. تشاهد هذه الآثار أولاً في الساقين فيما تبدو عضلات الذراعين أ
أثراً ربما لأن الذراعين وحدهما تستخدمان للعمل في الفضاء. ولضم
ضلات الساقين دلالات خطيرة إذ إنها يمكن أن توهن المقدرة لدى طا
مركبة على إخلاء المركبة دون مساعدة، إثر هبوط طارئ على الأرض
كذلك تنخفض طاقة القلب على العمل في الجاذبية الصغرى، وذلك لسبب

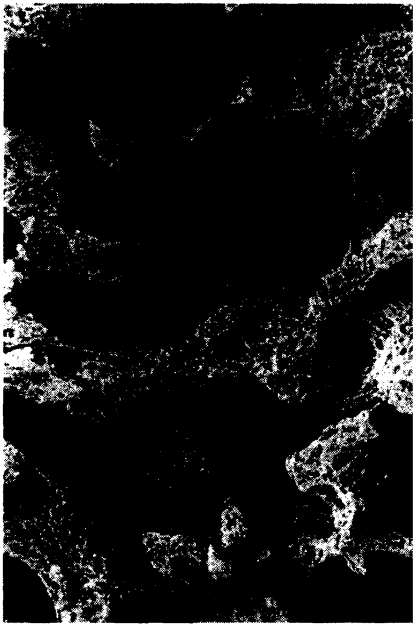
اثنين: الأول انخفاض حجم الدم، والثاني عدم اضطرار القلب لأن يضخ الدم بصورة معاكسة لقوة الجاذبية الأرضية. نتيجة لذلك، يتراجع مقدار العضلة القلبية ويكون هنالك نقصان يمكن قياسه في حجم القلب بعد الرحلات الطويلة.

يتعين على رواد الفضاء جميعاً، كي يخففوا من الفاقد العظمي والعضلي، أن يقضوا ثلاث أو أربع ساعات على الأقل يومياً في ممارسة التمارين الرياضية. وليس ذلك بالأمر اليسير، إذ إن ممارسة الرياضة في الجاذبية الصغرى تمثل تحديات غير مألوفة، فلكي يستخدم دولاب المدوسة، يجب على رائد الفضاء أن يثبت برباط على السطح يمنعه من العودة رجوعاً إلى الوراء حين يحاول تدويره. لذلك يلبسون عادة عدة مرنة من حبال مطاطية تثبتهم إلى السطح، كما تستخدم تمارين الدراجات وآلات التجديف بنجاح في الفضاء. هذه الرياضات يمكن ممارستها مع بعض التعديلات الفريدة. فآلة التجديف، مثلاً، ليست بحاجة لمقعد كي يسند ثقل رائد الفضاء. كذلك تستخدم التمارين متساوية القياس التي تتيح للعضلة إمكانية الحمل دون أن تتحرك. مثال على ذلك: الشريط المطاطي، موسع الصدر الذي يستخدم على الأرض. وبالطبع ليس رفع الأثقال بالخيار المطروح. يلبس رجل الفضاء أيضاً «بدلة البطريق» عدة ساعات يومياً. وهي عبارة عن حلة ممغطة تشد على العضلات وتعوض جزئياً فقدان الجاذبية.

لكن لسوء الحظ، لم يثبت حتى اليوم أن بالإمكان ممارسة ما يكفي من الرياضة للحفاظ على الدرجة نفسها من اللياقة البدنية على الأرض، ولا لتفادي الفاقد من الكتلة العظمية تماماً. مع ذلك، وفي أية رحلة فضائية طويلة ـ كالرحلة إلى المريخ مثلاً ـ يجب على رواد الفضاء أن يضمنوا تطبيقهم لبرنامج رياضي منظم، ذلك أن ممارسة الرياضة بالغة الفعالية في حيلولتها دون ضمور العضلات.

يمكننا، بالاستلقاء أرضاً والرأس أوطأ من الجسد أن نحصل على آثار

ماثل بعض الآثار طويلة الأمد التي تتركها الرحلة الفضائية على الجسم. المتطوعون الذين استلقوا هكذا مدة سنة يعانون من فاقد عظمي وضمور ضلي. كما أن قلوبهم تعمل بفاعلية أقل. لذلك يحدث الفاقد العظمي مع تقدم في السن، ربما لأننا نكف عن الاندفاع هنا وهناك أو لأننا نمارس ياضة أقل. وجلوسي وراء كومبيوتري وأنا أكتب هذا الكتاب لا يوفر محرض نفسه لعظامي مثلما يوفره لعب التنس (أو حتى نكش الحديقة).



ى اليسار، عظم عادي. إلى اليمين عظم خرّبه ترقق العظام. العظم هنا ينكسر باستمرار ويعا ناؤه. هذه العمليات تحدث عادة، بمعدلات متساوية، لكن في الجاذبية الصغرى، تصبح الدورة غير توازنة مع ترقق الهيكل العظمي. ثمة مشكلة تواجه الناس في سن متأخرة من الحياة. وتكو ثر على نحو خاص لدى النساء بعد سن اليأس. فالخلايا التي تدعى بخلايا التعظم تصنع العظا جديدة. والخلايا التي تدعى بناقضة العظم تحطم العظام القديمة. وعلى ما يبدو، فإن نشاط خلا عظم، في الجاذبية الصغرى، يخف. هذا يحدث أيضاً لدى الكثير من النساء بعد سن اليأس، نتيج نص هرمون الإستروجين الأنثوي، فإذا لم يعوض علاجياً، يمكن للمرأة أن تفقد ثلاثة بالمئة م تلتها العظمية سنوياً.

رائد الفضاء ميشيل فوال مستخدماً دولاب المدوسة خلال مهمة س.ت.س. 45. أمّا عدة التثبيت فتمنعه من العوم بعيداً.

الإشعاع الكوني

ثمة مشكلة تواجه رواد الفضاء هي الإشعاع فوق الأرضي. فعلى الأرض، يعمل الجو والحقل المغناطيسي الأرضي عمل الدرع، بحيث لا يصل إلى الأرض، باستثناء الموجات اللاسلكية والضوئية غير المرئية، إلاّ القليل من الإشعاع. لكن في الفضاء، يكون الرواد عرضة لآثاره الضارة. هناك ثلاثة مصادر للإشعاع فوق الأرضي (الكوني) هي: أشعة المجرة، الأشعة الشمسية، والأشعة الحزامية المحتجزة.

منشأ أشعة المجرة هو خارج منظومتنا الشمسية، لتنصب باستمرار على جو الأرض. فهي قد تنشأ من انفجارات حديثة أو تقذفها نجوم أخرى داخل المجرة وتتألف بصورة مبدئية من بروتونات (نويات هدروجينية) جنباً إلى

جنب مع بعض دقائق ألفا (نويات هليوم) وهي مشحونة بالطاقة إلى درجة عالية. عندما تضرب هذه الجزيئات الأولية الجو العلوي للأرض، تتصادم مع نوى ذرات غازية لتشكل زخة من جزيئات ثانوية من بينها البروتون، النيوترون، الإلكترون، الميون، البيون، والنيوترينو. لذلك لا تتغلغل أشعة المجرة الأولية في جو الأرض، بل إن جزءاً صغيراً فقط من الجزيئات الثانوية التي تولدها يمكن أن يصل إلى الأرض ذات يوم. لكن، في الفضاء، لا بد من توفير هذه الحماية الدرعية إن كان علينا أن نمنع أشعة المجرة من الوصول إلى رائد الفضاء.

تبعث الشمس باستمرار تياراً كبيراً من الجزيئات المؤينة ذات الشحنة العالية التي تتكون بصورة رئيسية من البروتونات والإلكترونات التي تدور بصورة نصف قطرية خارجة من مصدرها بسرعة 450 كم في الثانية تقريباً. وفي شروط جوية هادئة. تصل هذه الريح إلى الأرض محتوية، بصورة نموذجية، على خمسة جزيئات تقريباً في كل سنتمتر مكعب. لكن، في بعض الأحيان، تنشطر اندفاعة كبيرة انشطاراً عنيفاً من سطح الشمس قاذفة مقادير ضخمة من المواد في الفضاء الواقع بين الكواكب. تكون لهذه الاندفاعات قوة تعادل مليار انفجار نووي حراري بقوة 1 ميغا طن ويمكن أن تقذف من الجزيئات والدقائق خلال بضع ثوان ما يساوي 10 مليارات طن، يزداد، خلال عواصف شمسية لكن، بمقدار الإشعاع الواصل إلى الأرض ازدياداً كبيراً. ومن الصعب كثيراً، مثلما هي الحال مع طقس الأرض، التنبؤ بدقة متى يمكن أن تحدث العاصفة الشمسية. مع ذلك، فإن نشاط الاندفاعة الشمسية يتفاوت طبقاً لدورة تقريبية مدتها إحدى عشرة سنة وقد كانت في ذروتها سنة 2001.

إننا نعيش، على الأرض، في بيئة محمية، فالحقل المغناطيسي الأرضي يقينا من الأشعة الكونية وذلك باحتجازه الدقائق المشحونة على شكل سحابة تلف الكوكب. تتركز أعداد هائلة من هذه الدقائق، وغالبيتها

من البروتونات والإلكترونات عالية الطاقة، في نطاقين متميزين يحيطان بالأرض ويعرفان باسم نطاق الإشعاع الداخلي ونطاق الإشعاع الخارجي، وقد اكتشفهما جيمس ڤان آلن وطلابه سنة 1958. كل نطاق يشبه نوعاً ما شكل الكعكة المحلاة المقلية بالدهن (اسمه التقني القرص الحلقي) ويحيط بالأرض فيما محوره المركزي يحاذي خط الاستواء، أقرب نقطة يدنو فيها النطاق الداخلي من سطح الأرض هي نحو 300 كم فيما يمكن للنطاق الخارجي أن يمتد في الفضاء حتى 45000 كم، أي نحو سدس المسافة إلى القمر.

لكي نفهم لماذا تحتجز الدقائق المحشونة في نطاقي ڤان آلن، من المفيد أن نتصور الأرض على شكل قضيب مغناطيسي، طرفه الأول في القطب الشمالي والثاني في القطب الجنوبي. وخطوط القوة تتدفق من طرف المغناطيس إلى طرفه الآخر. وعلى الرغم من أن هذه غير مرئية بالنسبة إلينا، إلاّ أنه يمكن تصورها باستخدام برادة الحديد. غير أن بعض الجراثيم والحيوانات التي تمتلك جزيئات مغناطيسية يمكن أن تكتشفها أيضاً. فعندنا يضرب شعاع كوني خطوط الحقل المغناطيسي للأرض، تقف الدقائق المشحونة عاجزة عن عبوره، وبدلاً من ذلك تنجذب إلى القطبين، مدومة دائرة وهي ماضية. عند القطبين، تفلت بعض الدقائق وتنزلق داخلة إلى جو الأرض لكن أغلبيتها ترتد راجعة القهقرى وعلى الطريق نفسه الذي قطعته من قبل، لكن معكوساً. رقصة البروتونات اللانهائية هذه هي التي تشكل نطاقات ڤان آلن.

تثير نطاقات ڤان آلن أمام رواد الفضاء والتوابع الفضائية مشكلة جدية، إذ يمكن أن يصل الإشعاع إلى 200 مليسيڤرت بالساعة، وهي تحدد المدارات بالنسبة للرحلات الفضائية بحدود الـ 400 كم، ذلك أن الجرعات الإشعاعية، في هذه المدارات الواطئة تكون ضئيلة باستثناء مكان واحد فوق جنوب الأطلسي. يمر المدار النموذجي الذي يستخدمه مكوك الفضاء عبر

عواصف واندفاعات شمسية لا تؤثر فقط على رواد الفضاء والأقمار الاصطناعية بل يمك
أن يكون لها آثار هائلة على الأرض. فعندما تصل الدقائق المشحونة المنبعثة من الاندفاعا
الشمسية إلى القطبين، تثير الذرات الغازية الموجودة في الجو، صانعة بذلك التوهج المدهش
للضوء المعروف باسم أورورا بوريالیس» أو الأنوار الشمالية. تكون هذه الستائر المتراعشة م
النور اللطيف عادة صفراء مائلة إلى الخضرة. لكن يمكن أن تظهر أحياناً أرجوانية زاهية أ
بنفسجية أو زرقاء. إذ تحدّد الألوان الذرات التي تصطدم بها الدقائق الشمسية: فإثارة الأوكسجي
تنتج ضوءاً أخضر فيما ينبعث اللون الأحمر من الآزوت والأنوار الشمالية تكون أكثر ما تكو
إدهاشاً في القطبين لأن الحقل المغناطيسي للأرض يكون قد كنَّس الدقائق الشمسية إلى هنا ث
وجهها إلى الجو وفق خطوط الساحة التي تدخل إلى الأرض أو تغادرها عند القطبي
المغناطيسيين. وإذا كنت تتساءل هل هناك أي أنوار جنوبية نقول هناك. لكن الاهتمام بها أقل لأ
قلة من الناس تتواجد هنا لتراها.

هذا المكان الأطلسي الجنوبي الشاذ نحو 6 مرات في اليوم، ويتلقى طاق
المكوك خلال هذا المرور معظم الجرعة الإشعاعية التي يتلقاها في الفضاء
أمّا في المدارات التسعة الأخرى، فلا يمر المكوك عبر ذلك المكان الشا
جنوب الأطلسي، وبالتالي فإن أي نشاط خارج المركبة ينحصر في هذ
المدارات.

على الرغم من أن مستويات الإشعاع في الفضاء تكون منخفضة عاد

فإن من الممكن أن يسبب التعرض طويل الأمد تلفاً للمادة المورثة (الـ د.ن.أ) وبالتالي تزيد من خطر نمو السرطان. وإذا ما تأثر الـ د.ن.آ داخل الخلايا التناسلية (النطف والبويضات) فقد يسبب العقم أو التشوهات الوراثية لدى أطفال الرواد. تسبب الأشعة عالية الكثافة التي تختص بها الاندفاعات الشمسية خطراً مباشراً أكثر، إذ تقتل الخلايا في الحال: وقد تحدث الوفاة خلال بضع ساعات نتيجة التلف الذي يصيب الجهاز العصبي المركزي. أو خلال بضعة أيام نتيجة تدمير الكريات البيضاء أو الخلايا سريعة الانقسام التي تبطن جدار القناة الهضمية. وإذا اضطر رائد الفضاء لأن يتعرض لاندفاعة شمسية بقوتها الكاملة فإنه سيموت بمرض الإشعاع الحاد خلال ساعات، الأكثر من ذلك، إن تأثير الجرعات ذات الكثافة الأدنى إذا ما تراكمت، نظراً لأن اندفاعات الدقائق الشمسية قد تستمر ساعات عديدة أو حتى أياماً، قد يكون كبيراً أيضاً. لكن لحسن الحظ إن الاندفاعات الشمسية هي حوادث نادرة نسبياً.

هناك عادة، حاجة ماسة لمعدات متخصصة لكشف الأشعة الكونية، مع ذلك وفي بعض المناسبات يمكن رؤية تلك الأشعة مباشرة وبالعين المجردة. لقد وصف بوز آلدرين ونيل آلدرين روايتهما للمعات بيضاء غريبة كلمع النجوم خلال رحلتهما إلى القمر والعودة منه في المركبة القمرية «النسر». كما شوهدت شرارات لامعة مماثلة وخطوط قصيرة من الضوء في رحلات إلى القمر من قبل رواد فضاء في بعثات أبوللو اللاحقة، وذلك، عادة، حين تكون عيونهم مغمضة. إذ يحدث هذا الومض بوتيرة ومضة أو ومضتين بالدقيقة. ويعتقد أنها ناجمة عن أشعة مجرة تنفذ من جدران القمرة وتدخل أعين الرواد، ذلك أن ومضات ضوء مماثلة شوهدت من قبل متطوعين تعرضوا لأشعة من دقائق وجزيئات من صنع الإنسان. كذلك ذكر بعض أفراد طاقم المكوك أنهم رأوا ومضات ضوء وكانت بوتيرة عالية. على نحو خاص في ذلك المكان الشاذ من جنوب الأطلسي وفي الأماكن الأقرب

للقطبين. ومن المفترض أنها ناجمة عن أشعة النطاق المحتجزة. على أنه من الصعب حتى الآن أن نحدّد بدقة أي جزء من الجهاز البصري تحرضه الأشعة المؤينة فهو ما يزال لغزاً، لكن وجهة النظر العامة هي أن الدقيقات المشحونة تشبه الشبكية مباشرة.

إن أشعة المجرة والدقيقات الشمسية هي ذات طاقة عالية بحيث يصعب توفير حماية كافية في مركبة فضائية. فلكي يكون المرء آمناً من اندفاعة شمسية ذات كثافة تامة لا بد له من واق من الألومنيوم مقداره 15 غ/سم^2 على الأقل ـ والمقدار يكبر أكثر إذا كان التعرض أطول. لكن انطلاقاً من ضرورة تحديد الوزن في رحلة فضائية، يغدو غير عملي البتة أن يقوم هذا القدر من الدرع الواقي في الحالة العادية، لذلك، فإن طواقم الفضاء سيظلون عرضة لا محالة للإشعاع الذي يتلقونه. وحتى تاريخه لايزال هذا ضمن الحدود المقبولة. على الرغم من أن الرواد الذين قضوا فترة طويلة في الفضاء ربما تلقوا جرعات كبيرة. فرواد بعثات أبوللو، مثلاً، الذين قضوا أقل من أسبوعين في الفضاء تلقوا 6 غ أشعة فقط في حين أن طاقم القمرة الفضائية 4 الذين قضوا 84 يوماً في الفضاء تعرضوا إلى مقدار من الأشعة يصل إلى 77 غ. كما أن بعض الرواد الروس الذين قضوا فترات أطول في الفضاء تلقوا نسبياً جرعات إشعاعية أعلى، وبالتالي ظهر لدى عدد منهم السرطان، رغم أنه من غير المعروف ما إذا كان ذلك نتيجة التعرض للإشعاع أم لا. ونظراً لآثار الإشعاع الكوني الخطرة، يفضل أن يقوم رائد الفضاء برحلته الفضائية الطويلة في سن متقدمة من العمر عندما تصبح فرصة ظهور السرطان قبل الموت لأسباب أخرى أقل. وهذا هو أحد المبررات لإرسال رواد فضاء إلى المريخ أكبر سناً.

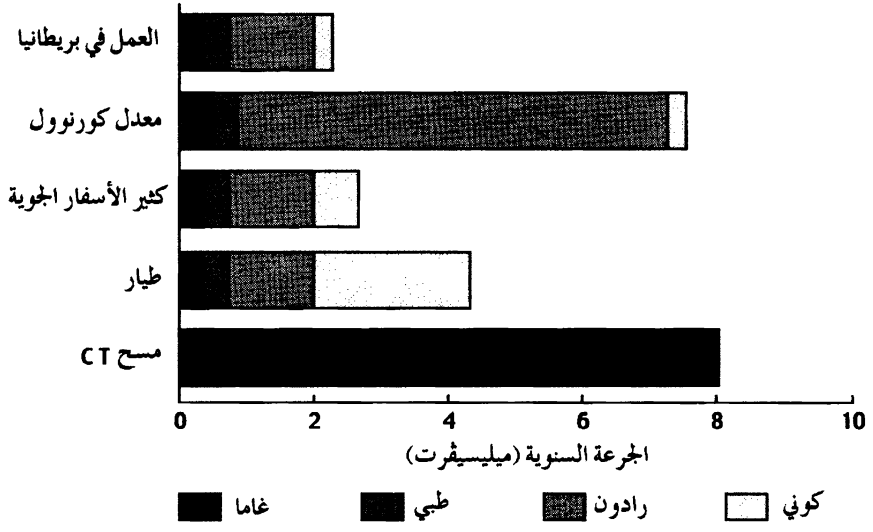
تطير الطائرات فوق الصوتية، كالكونكورد مثلاً، قريباً جداً من الحافة العلوية لجو الأرض، بحيث لا تكون محمية من الأشعة الكونية وبذلك يتلقى الركاب والطاقم جرعة إشعاعية بمعدل نحو 10 ميكروسيڤرت بالساعة

تقريباً. لذا يمكن، خلال رحلة تقوم بها من لندن إلى نيويورك، أن يتراكم لديك ما مقداره 35 ميكروسيڤرت من الأشعة. إن الجرعة الإشعاعية السنوية التي تعتبر مقبولة كحد أقصى بالنسبة إلى الناس عامة هي 1 ميليسيڤرت (1000 ميكروسيڤرت)، مما يعني إمكانية القيام بأربع عشرة رحلة ذهاباً وإياباً بين لندن ونيويورك لتجاوز هذه النسبة. ومن الجلي أن كلاً من الركب الطائر وكثيري الأسفار جواً قد يتجاوزون هذه النسبة بسهولة. غير أن الحد الأعظمي الموصى به كجرعة مهنية هو أعلى: 20 م.س.ڤ. في السنة أو ما يعادل أكثر من خمس رحلات ذهاباً وإياباً أسبوعياً إلى نيويورك، وهو ما لا يمكن تجاوزه بسهولة. والحقيقة أن ملاحي الكونكورد الذين يطيرون الحد الأقصى لعدد الساعات لا يتلقون إلاّ 7 ميليسيڤرات / بالسنة.

مع ذلك، يمكن أحياناً لعاصفة شمسية استثنائية أن تسبب زيادة كبيرة وعاجلة في الإشعاع تصل إلى مستويات عالية تبلغ الـ 25 ميليسيڤرت / سا. ولكي تتفادى واقعة كهذه، تحمل الكونكورد جهازاً للإنذار الإشعاعي قادراً على كشف كل من النيوترونات والأشعة المؤينة (البروتونات وما شابه)، مركباً في مقصورة الركاب ومتصلاً بجهاز عرض في حجرة القيادة، مع تعليمات لدى الطاقم تقضي، إذا زادت نسبة الإشعاع عن 0,5 مليسيڤرت، بأن يهبطوا إلى ارتفاعات أدنى حيث يحمي الدائرة من الأشعة الغلاف الجوي نفسه. لكن لم يضطر أحد لاتخاذ هذا الإجراء مرة واحدة على الرغم من أن الكونكورد تطير منذ أكثر من عشرين سنة.

إن نسبة الإشعاع الكوني على ارتفاع 10400 م. وهو الارتفاع الذي تطير عليه معظم طائرات الركاب، هي نحو نصف النسبة التي تواجهها الكونكورد والطائرات العسكرية فوق الصوتية. مع ذلك فإن إجمالي التعرض للأشعة هو نفسه تقريباً. نظراً لأنها تستغرق زمناً أطول للوصول إلى هدفها. هذا يعني أن جرعة الإشعاع المأخوذة متماثلة، سواء كنت محظوظاً كفاية لأن تسافر بطائرة كونكورد أم لا. لكن المثير في الأمر أن الطائرة العادية لا

تحمل أجهزة مراقبة إشعاع وذلك لأسباب تاريخية جزئياً وجزئياً لأن الخطر ضئيل جداً. الأكثر من ذلك أن التنبؤ بالاندفاعات الشمسية هذه الأيام، تقدم كفاية بحيث يمكن توفير إنذار مناسب للطائرة كي تحط على الأرض قبل أن تصل الاندفاعة بقوتها الكاملة إليها. (تستغرق رحلة الدقائق الشمسية للوصول إلى الأرض نحو يومين) إن الصعوبة الرئيسية في التنبؤ بالعواصف الشمسية



مصادر جرعات الإشعاع السنوية لسكان بريطانيا. الجرعة الإشعاعية العالية التي يتلقاها سكان كورنوول إنما هي بسبب الصخور الغرانيتية الموجودة في هذه المنطقة والتي تطلق غاز الرادون مما يؤدي إلى ارتفاع نسبة الرادون داخل المنازل. فاللندني الذي يقضي أسبوعاً في كورنوول يتلقى عملياً أشعة أكثر مما يتلقى خلال رحلة جوية إلى نيويورك. كذلك يمكن الكشف عن نسب رادون هامة في مناطق أخرى من بريطانيا.

هي أن من المتعذر التكهن بمسارها كما أنها كثيراً ما تنجرف عن الأرض، لذا، يواجه متنبؤ الجو الفضائيون مشكلة لا مناص من مواجهتها وهي ما إذا كان عليهم أن يوجهوا الإنذار أم لا ومتى يوجهونه.

لا جدل في أن رجال الفضاء، الملاحين الجويين وكثيري الأسفار الجوية هم بشكل عادي عرضة للإشعاع الكوني أكثر من الناس العاديين.

لكن إذا كان هذا يؤدي إلى تزايد خطر السرطان أم لا، فمسألة لاتزال حالياً قيد البحث والتقصي. بيد أن من الواضح مسبقاً أن الخطر يجب أن يكون ضئيلاً جداً كما يجب وضعه مقابل الفوائد الكثيرة للسفر جواً. كذلك يجب النظر إليه ضمن سياقه. فالمليون نسمة الذين يقطنون لاباز، في بوليڤيا (وهي على ارتفاع 3900 م) يتلقون جرعة سنوية تقدر بـ 2 مليسيڤرت من الإشعاع الكوني، أي نحو النسبة نفسها التي يتلقاها ملاحو الرحلات الجوية الدولية طويلة المدى. والناس الذين يعيشون في طرف بريطانيا الجنوبي الغربي يراكمون جرعات أكبر حتى، أي نحو 7 ميليسيڤرت كل سنة وذلك بسبب الإشعاع الطبيعي الصادر عن الصخور. ومما يجدر التأمل فيه أن النساء الحوامل القاطنات في كورنوول يتعرضن لا محالة للأشعة، بينما تحدد ساعات الطيران للنساء الحوامل من الطواقم الجوية هذه خوفاً على أجنتهن.

المغامرة في الخواء

إن الإنسان الأول الذي غامر في الفضاء نفسه، وليس عليه سوى بذلة تحميه، إنما هو ألكسي أرخيپوڤيتش ليونوف من الاتحاد السوڤييتي. لقد قضى اثنتي عشرة دقيقة خارج مركبته وذلك في 18 آذار / مارس 1965. أمّا أول من سار في الفضاء، فهو الأمريكي إدوارد وايت الثاني، وقد حدث ذلك بعد بضعة أشهر. اليوم، هناك رواد فضاء من جنسيات كثيرة قضوا آلافاً من الساعات سواء في الفضاء نفسه، أو على القمر. وكلهم يتفقون على أن السير في الفضاء تجربة مذهلة وأنه ما من شيء يمكن مقارنته بالطيران في الخواء، حيث الظلام الدامس، فيما قوس الأرض اللامع يدور تحتك دورانه البطيء، بل ما من أحد يقول إن الكلمات قادرة على وصف ذلك الشعور الوصف المناسب. غير أن جين جيرنان قال إن القصيدة التالية التي كتبت قبل زمن طويل من الوقت الذي صار فيه الطيران في الفضاء ممكناً، هي أقرب ما تكون للتعبير عن جوهر ذلك الشعور:

أوه!! قد تخلصت من قيود الأرض الفظة
ورقصت في الفضاء على أجنحة فضية الضحكات
باتجاه الشمس صعدت. . . أشياء كثيرة فعلت
مما لم تحلم به قط ـ درت وحوّمت وفتلت
عالياً في سكون الضياء
ثم، بذهن هادئ مرتقٍ، وطأت
ما لم يطأ أحد هناك عالياً في الفضاء
حيث مددت يدي فلمست وجه الإله[4].

يمكن للسير في الفضاء، أن يكون خطراً، إذ إن أقل لمسة تجعلك تدور بعيداً في الفضاء. نتيجة لذلك، غالباً ما يربط رائد الفضاء بحبال كحبال السرة إلى السفينة، الأم وتكون لبذلته الفضائية مطلقات صواريخ صغيرة تسمح له بالمناورة في الخواء.

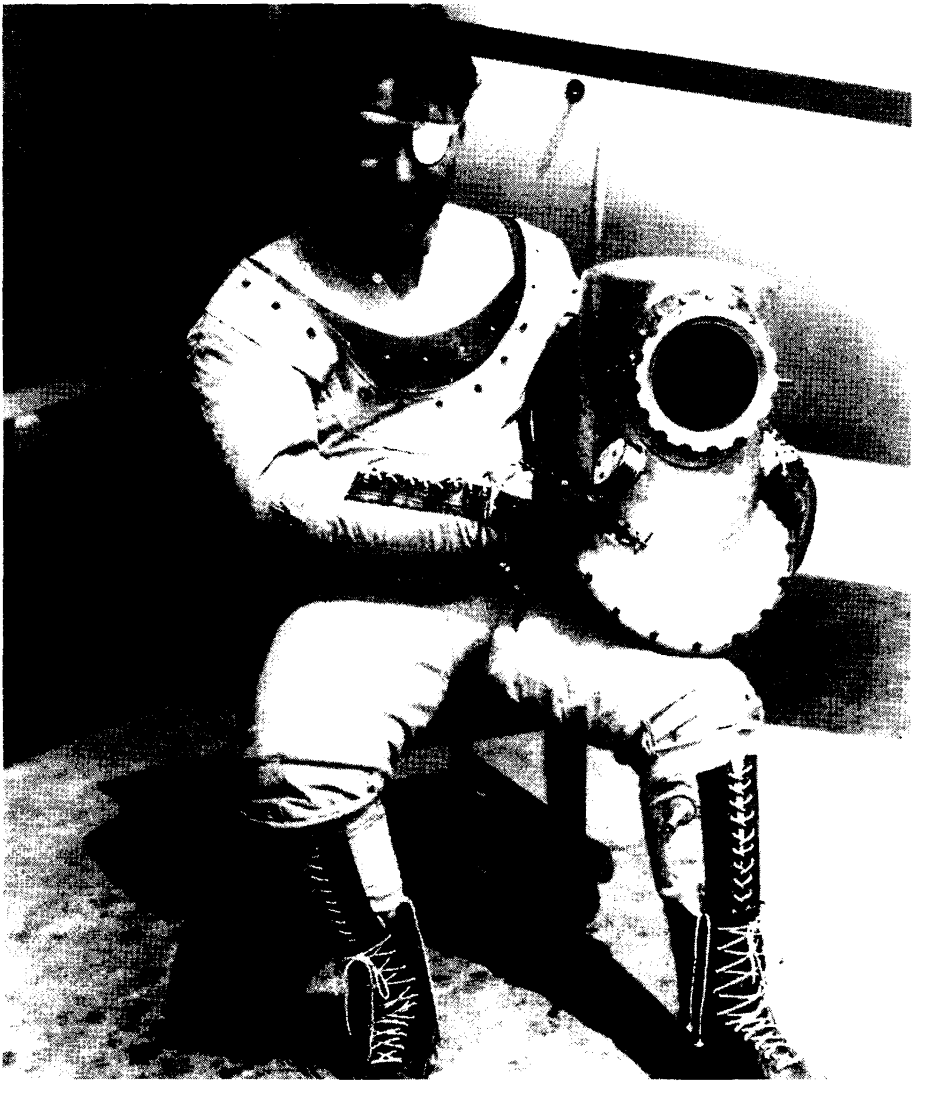
---

(1) المطلوب للوصول إلى المدار هو سرعة نحو 40000 كم بالساعة. وهو الرقم بالضبط الذي يتوقف على ما إذا كان سيصل إلى مدار منخفض أم مرتفع.

(2) سرعتك هي 1670 كم/سا عند خط الاستواء. في بريطانيا، هي فقط 1075 كم/سا، وذلك لأن محيط الأرض هناك أصغر، أمّا في القطب الشمالي فهي لا شيء تقريباً.

(3) في الماضي، كان الإشعاع الآتي من مصادر طبيعية يستثنى من التشريع (فهو، بعد كل شيء طبيعي) والنسب هي استشارية فقط. لكن التشريع الحديث الذي سيطبق في الاتحاد الأوروبي فإنه من الإشعاع الكوني الذي يتلقاه ركب طائر باعتباره تعرضاً بسبب المهنة ولسوف يفرض إجراءات مختلفة للوقاية (كلها تقريباً حققها الطيران البريطاني). إن خطر السرطان القاتل بجريمة إشعاع تعادل 1 ميلسيڤرت «م.س.ڤ» (وهو الحد السنوي الحالي الموصى به لعامة الناس) هو 1 في كل 20000. أمّا الناس الذين يختاون العمل في مهن تترافق بخطر الإشعاع، فالحد الموصى به هو 20 م.س.ڤ. وهو المعادل لخطر الموت سنوياً بسبب الإشعاع 1 بالألف.

(4) «الطيران العالي» بقلم جون جليسپي ماجي، وماجي هذا هو طيار في القوات الجوية الملكية الكندية خلال الحرب العالمية الثانية. بدأ هذه السونيتة وهو طائر على ارتفاع 9000 م وأنهاها إثر نزوله على الأرض مباشرة. ثم قضى نحبه بعد ذلك بفترة وجيزة، وعمره سبع عشرة سنة فقط.



الطيار اللامع ويلي پوست 1899 ـ 1935، صمم واستخدم بنجاح أول بذلة في العالم مضغوطة للطيران. لقد استخدمها للقيام بالرحلة الجوية التاريخية بين كاليفورنيا وكليفلاند في 15 آذار / مارس 1935، مستفيداً من التيار النفاث على ارتفاع عال كي تزيد سرعته إلى ما معدله 277 ميلاً في الساعة. تتكون بذلته المضغوطة هذه من ثلاث طبقات من المواد، مجهزة بخوذة وإمدادات أوكسجين. لقد وجد پوست أنه من الصعب عليه كثيراً أن يتحرك حين تنفخ البذلة، فتوصل أخيراً إلى تسوية وهي صنع بذلة في وضع الجلوس تقريباً، مما سمح ليديه وقدميه بحرية الحركة. ولم يكن پوست غريباً على طيرانات التحدي، فقد قام بأول رحلة لطيار منفرد حول العالم سنة 1933، وهي الرحلة التي استغرقت سبعة أيام وتسع عشرة ساعة.

لقد تطورت بذلات الفضاء من بذلات الضغط تلك التي استخدمها الطيارون الرواد، كالأمريكي ويلي پوست مثلاً، كي تساعدهم في تسجيل أرقام قياسية في الارتفاع. لم تكن حجرة القيادة، في أيام الطيران الأولى، مضغوطة. والفرصة الوحيدة للطيار الذي يرغب في المغامرة بارتقاء الارتفاعات العالية هي أن يرتدي بذلة ضغط. نتيجة لذلك، طورت هذه البذلات الأولى من قبل الطيران العسكري إلى بذلات ضغط كاملة كي تستخدم في الطائرات النفاثة التي تطير على ارتفاعات تزيد عن 12000 م. وقد كان رواد الفضاء الأوائل جميعاً يرتدون بذلات مضغوطة طوال رحلاتهم الفضائية. بالمقابل، فإن رواد الفضاء اليوم يرتدون ملابس عادية، وهم في مدارهم حول الأرض، لكنهم يرتدون بذلات ضغط جزئي أثناء الانطلاق والهبوط، ولا يرتدون بذلات ضغط كاملة إلاَّ عندما يغامرون بالخروج إلى خواء الفضاء نفسه.

تقوم بذلة الفضاء بدور سفينة فضائية شخصية مصغرة بحيث توفر الحماية للجسم، المحافظة على الضغط، الهواء واستقرار الحرارة ـ وإذا كانت تستخدم فترة زمنية طويلة ـ الطعام أيضاً والماء، وطرح الفضلات. كذلك يتعين على بذلة الفضاء أن تكون لديه، متينة، شديدة المقاومة للأشعة الشمسية والنيزكات ولكي يزداد الأمر صعوبة على مصمميها، يتعين أن تكون بذلة الفضاء خفيفة نظراً لأن هناك حدوداً للوزن تفرضها الطاقة المطلوبة لبلوغ المدار. والبذلات الأولى، كتلك التي استخدمها رواد جميني، كانت تزود بالأوكسجين بواسطة حبل سري يصل الرائد بسفينة الفضاء الرئيسية. لكن بالنسبة إلى السير على القمر في رحلات أبوللو، فقد كان من الضروري وجود جهاز دعم للحياة داخل البذلة. أمّا اليوم فإن البذلات التي يلبسها أفراد «الناسا» خارج المركبة الفضائية، معقد غاية التعقيد وتعرف باسم وحدات الحركة خارج المركبة (إيمو). إذ، لها أربع عشرة طبقة من المواد تحمي رائد الفضاء من أحوال الفضاء وكذلك جعبة ظهرية كبيرة تحوي جهاز

دعم الحياة وخزانات غازية تحوي ما يكفي من الأوكسجين للسير في الفضاء من تسع إلى عشر ساعات. هذه البذلة تزن على الأرض ما يبلغ الـ 113 كغ، لكنها، في الفضاء، بلا وزن على الإطلاق بالطبع.

يحافظ على ضغط القمرة في المكوك الفضائي والمركبة «مير» بحيث يكون مماثلاً للضغط على الأرض، كما يتنفس الطاقم في جو مماثل لجو الأرض أي 21 بالمئة أوكسجين و78 بالمئة آزوت. لكن تزود وحدة الحركة خارج المركبة بأوكسجين مئة بالمئة وبضغط يعادل ثلث ضغط الجو الأرضي. إن حمل الأوكسجين النقي (بدلاً من مزيج الأوكسجين / الآزوت) يزيد الزمن الذي يمكن لرائد الفضاء أن يقضيه في الخارج لكن يعني أيضاً أنه ينبغي تخفيض الضغط لمنع سمية الأوكسجين (أنظر الفصل الثاني). يصفى هواء الزفير من ثاني أوكسيد الفحم بواسطة هيدروكسيد الليثيوم، فيما الفحم النشط يزيل الملوثات الضئيلة الأخرى بينما يتم التخلص من الماء بنوع من مزيلات الرطوبة. بعدئذ يضاف الأوكسجين حسب الحاجة، ثم يعاد تحريك الغاز إلى البذلة.

يمكن لرائد الفضاء الذي ارتدى بذلة بكل بساطة وخرج مباشرة إلى الفضاء أن يعاني من مرض إزالة الضغط، ذلك أنه يتم الحفاظ على ضغط الإيمو، بما يعادل ثلث ضغط الجو. وقد وصفنا أعراض هذا المرض، المعروف عموماً باسم «الالتواء»، وصفاً مفصلاً في الفصل الثاني المتعلق بالغوص. إنه ينجم عن تشكل فقاعات من غاز الآزوت في مجرى الدم وأنسجة الجسم. إحدى الطرق للقضاء على هذا المرض هي تخلص الجسم من كل ما فيه من الآزوت وإبداله بالأوكسجين، نظراً لأن النسج تستخدم الأوكسجين المنحل بسرعة أكبر من السرعة التي يمكن أن يشكل بها فقاعات. لهذا السبب، كان رواد مكوك الفضاء، قبل القيام بأي نشاط خارج المركبة، يلبسون أقنعة وجه ويتنفسون أوكسجيناً نقياً. مع ذلك، من الصعوبة بمكان كبير على رائد الفضاء أن يلبس بذلته «الإيمو» وهو مستمر في تنفس

رائد الفضاء بروس ماك كاندليس الثاني، يمشي في الفضاء بلا حبل سري، وذلك في اله الأولى التي استخدمت فيها وحدة المناورة بواسطة الإنسان المندفعة بالآزوت والتحكم بها فيما تنعكس على قناع صورة المكوك الفضائي تشالنجر.

ما قبل الأوكسجين. إذ إن الآزوت سرعان ما يشبع النسج من جديد، كما أن عدة أنفاس من الآزوت تكفي لإبدال الأوكسجين الذي يستغرق وقتاً طويلاً للتراكم، ويتعين على رائد الفضاء أن يحبس أنفاسه حين يستبدل جهاز ما قبل التنفس بجهاز دعم الحياة في بذلة الفضاء ويطرد الآزوت كله من الجهاز. وهو أمر ليس باليسير دائماً، لذا فإن الممارسة العامة التي تجري هي تخفيض ضغط القمرة وزيادة نسبة الأوكسجين في جو المكوك قبل مرحلة ما قبل التنفس. وهو ما ينقص إلى حد كبير خطر امتصاص الآزوت من جديد. إنه يقصر أيضاً المدة المطلوبة لما قبل التنفس: وتعتبر فترة ثلاثين دقيقة فقط لما قبل التنفس آمنة إذا تمت إزالة ضغط المقصورة بالكامل قبل أربع وعشرين ساعة من السير في الفضاء، بينما يجب أن تدوم فترة ما قبل التنفس في حالة عدم إزالة ضغط القمرة أربع ساعات على الأقل.

ينبغي على بذلة الفضاء، شأنها شأن المركبة الفضائية، أن تعمل بالشروط القصوى لدرجة الحرارة، إذ يمكن أن ترتفع هذه الدرجة إلى ما يزيد عن 120° مئوية في الجانب المعرض للشمس، وتنخفض في الجانب المعتم إلى ما دون الـ ـ 100° مئوية (وهذا أشبه بالجلوس أمام نار هادرة في غرفة متجلدة). الأكثر من ذلك، فإن حرارة الجسم وتعرقه لا يمكنهما أن يمرا عبر جلد البذلة. لذلك من المحتمل أن يصبح داخلها حاراً جداً خاصة إذا كان رائد الفضاء يقوم بتمارين ما. والحقيقة أن الحرارة الزائدة كانت إحدى المشاكل التي واجهها رواد جميني الذي ساروا في الفضاء. فيما بعد، توفرت بذلات فضاء مزودة بلباس داخلي مبرد بالماء. فيما تتفرع في البطانة الداخلية للبذلة شبكة من الأنابيب الدقيقة يمر الماء عبرها باستمرار من خزان يحمله رائد الفضاء، على ظهره هناك جهاز مماثل يعمل في بذلات الإيمو يستخدمه طاقم المكوك اليوم.

كذلك يتعين أن تسمح بذلة الفضاء بالحركة والعمل هنا وهناك في الفضاء. وهي مسألة ليست بالبسيطة بالنسبة إلى المهندس المصمم. فالرواد

العاملون في الفضاء بحاجة لأن يكون بمقدورهم ثني أذرعهم لكن على بذلة الفضاء أن تكون مقواة بدعائم سلكية تقاوم الخواء الخارجي[5]. وبذلك فإن البذلة المضغوطة تقاوم الانثناء. لهذا السبب، يكون لبذلة الفضاء مفاصل داخلية في الأماكن المناسبة تعمل على نحو أشبه بعمل الهيكل العظمي الخارجي للحشرة. فالقسم الأسفل من البذلة، مثلاً، يتمفصل عند الخصر، الورك، الركبة والكاحل تماماً مثل تمفصل الغلاف القاسي للخنفساء في أماكن رئيسية. على أن العمل بالبذلة حتى والحال هكذا، أمر صعب ومتعب للغاية، لذا يعد التدريب القاسي عليه ضرورياً. ثمة عقدة أخرى على أي حال وهي أن جسم الإنسان في الجاذبية الصغرى يزداد ارتفاعاً إذ يتمدد الصدر والرأس ويتقلص الفخذان، نظراً لأن سوائل الجسم تتحرك صعوداً من الرجلين إلى الصدر. وعلى مصممي البذلات الفضائية أن يأخذوا بالحسبان هذه التغيرات في الشكل. ولقد مر عدة رواد أوائل بتجارب غير مريحة لأن بذلاتهم أصبحت شديدة الضيق.

الدخول من جديد

لعل أخطر ما في الرحلة الفضائية هو الدخول ثانية إلى جو الأرض والهبوط. لهذا ليس من باب المصادفة أن خطاب كينيدي الشهير لم يقل بإنزال إنسان على القمر فقط، بل «بإعادته بسلام إلى الأرض» أيضاً. ذلك أن هناك مشاكل جسدية وفيزيولوجية على السواء تحيط برائد الفضاء العائد. أهم هذه المشاكل هي الحرارة الشديدة الناجمة عن احتكاك المركبة الفضائية بجو الأرض، فالسرعة التي تتحرك بها المركبة الفضائية في جو الأرض تجرد الذرات في الهواء من الإلكترونات، صانعة بذلك غازات مؤيّنة حمراء ـ برتقالية حول المركبة، كما يمكن أن ترتفع درجة الحرارة إلى مستوى حارق

(5) تعمل أطر السيارات بطريقة مماثلة. إذ تتم تقويتها بأسلاك لمنعها من الانفجار، ذلك أن الضغط داخل الإطار يمكن أن يكون ستة أضعاف الهواء الخارجي.

وهي 1650 درجة مئوية، لذا لا بد من واق حراري لمنع المركبة من الاحتراق ورواد الفضاء من أن يُقتلوا داخلها. العقدة الأخرى هي أن الطبقات العليا من الجو ليست ملساء بل بدلاً من ذلك هي متجعدة، مثل الأمواج، بحيث يمكن أن تحدث اهتزازات حادة بانتقال المركبة من جرف إلى جرف وهي تقفز في جو الأرض.

يكون الدخول ثانية خطراً على نحو خاص بالنسبة إلى رائد قضى زمناً طويلاً في الفضاء، وذلك بسبب تزايد عامل الجاذبية المصحوب بتناقص التسارع والمركبة الفضائية تدخل جو الأرض. ولقد كان هذا العامل في الرحلات الفضائية الأولى، يبلغ مستويات عالية جداً (+ 6 ج) غير أن رجال المكوك اليوم يتعرضون لعامل جاذبية يعادل 1,2 فقط من جاذبية الأرض. لكن حتى هذا يؤثر على جسم رائد الفضاء. ذلك أن هذا الرائد بسبب وضع المكوك وهو يدخل جو الأرض، يواجه عامل الجاذبية بزاوية تجعل من الصعب أكثر على القلب أن يعيد ضخ الدم من القدمين، وقد يستمر هذا مدة تصل إلى الثلاثين دقيقة. إنها مشكلة خاصة تواجه الرواد الذين قضوا فترة طويلة في الفضاء وتكيفت أجسامهم مع الجاذبية الصغرى. إذ يمكن أن يهبط ضغط دمهم هبوطاً شديداً مما يجعلهم يصابون بالدوار والإغماء في مرحلة الهبوط الحرجة. لقد ربط الرائد البريطاني ميشيل فول. الذي كان قد قضى نحو خمسة أشهر في المحطة الفضائية «مير»، بإحكام وبصورة أفقية إلى المكوك لدى دخوله ثانية جو الأرض، بحيث يكون عمل الجاذبية من الصدر إلى الظهر. كما تستخدم أحياناً البناطيل المضادة للجاذبية، كتلك التي يلبسها الطيارون العسكريون، لفرض ضغط خارجي، وهو ما يساعد في إعادة الدم إلى القلب.

النزول على الأرض

ثمة مشكلة عامة تواجه رواد الفضاء لدى عودتهم إلى الأرض وهي

أنهم لا يستطيعون الوقوف دون أن يصابوا بالإغماء. تنشأ هذه الحالة، التي تعرف باسم عدم احتمال السكون العمودي، نظراً لأن انعدام الوزن يسبب تغيرات هامة في الجهاز الوعائي الدموي. فسوائل الجسم، حين تتحرر من ضغط الجاذبية، تتحرك صعوداً، مطلقة الإشارة لآليات تعويضية تخفض حجم السائل وتحسن إعادة توزيعه. تستمر هذه التغيرات بعض الوقت إثر العودة إلى الأرض، وعلى الرغم من أنها ليست ذات تأثير ملحوظ والرائد مستلق، إلاّ أنه ما إن يحاول الوقوف حتى ينخفض الإمداد بالدم الصاعد إلى الرأس والدماغ مما يؤدي إلى فقدان الوعي. لقد واجه رواد سويوز 21، على سبيل المثال صعوبة كبرى في الوقوف، دون إغماء، عدة ساعات بعد نزولهم على الأرض. يتناقص التحمل السكوني العمودي بعد رحلات تدوم حتى فترات ضئيلة لا تتجاوز الساعات الخمس وهو يرجع إلى مستوياته السابقة خلال ثلاثة إلى أربعة عشر يوماً بعد رحلة قصيرة لكن الشفاء منه إثر المهمات الجوية الأطول يتطلب وقتاً أطول.

إن أحد الأسباب لعدم التحمل السكوني العمودي عند الإنزال هو أن حجم الدم لدى رائد الفضاء يتناقص والأوعية الدموية في الرجلين لا تنقبض كثيراً كعادتها، وبذلك يتجمع قدر أكبر من الدم في الرجلين بشروط الجاذبية المعتادة. إضافة إلى ذلك، يضعف، على ما يبدو، التحكم العصبي بضغط الدم، كما يجد الأشخاص ذوو الضغط المنخفض، مثلي، حين يقفون بسرعة أنهم يرون نقاطاً سوداء أو ستارة رمادية أمام أعينهم ويشعرون بالدوخة ثواني عدة.

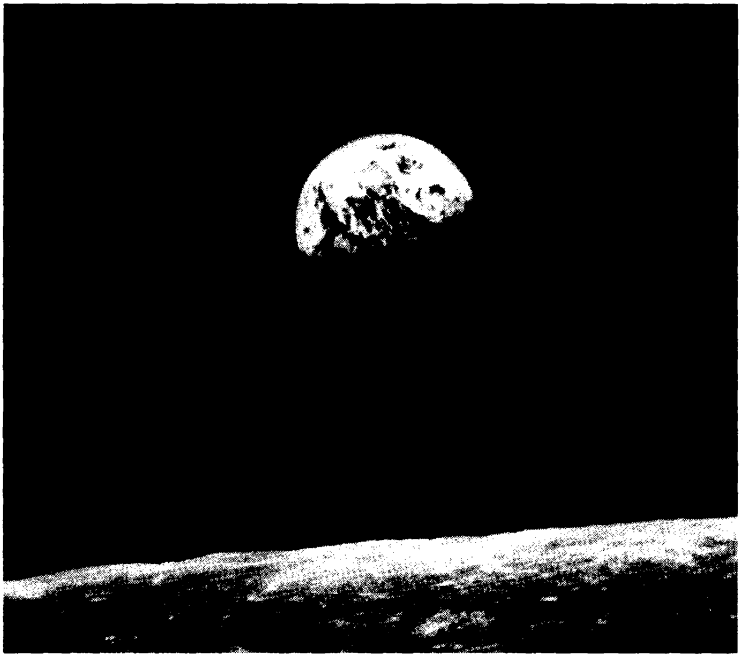
كان السوفييت أول من أدخل الإجراءات لمواجهة التغيرات في توزيع سوائل الجسم. إذ راح رجال الفضاء يستخدمون سراويل خوائية على فترات خلال رحلتهم الجوية، بحيث تقوم بعملية مص خارجي يعاد فيها الدم إلى أسفل الجسم، ويشربون نحو ليتر من ماء مالح قليلاً قبل تركهم مدارهم

تماماً لكي يزيدوا حجم السوائل في الجسم[6]. فلم يواجه الرواد الذين طبقوا هذه الإجراءات حالة حادة من عدم التحمل السكوني العمودي لدى عودتهم إلى الأرض. الاستثناء الوحيد هو طاقم سويوز 21 الذين تجاوزوا برنامج السكون العمودي لأن أحدهم ظهر لديه صداع مستمر وحاد مما اضطرهم للعودة سريعاً إلى الأرض بعد تسعة وأربعين يوماً قضوها في الفضاء. فلم يستطع واحد منهم الوقوف طوال عدة ساعات من نزولهم دون أن يصاب بالإغماء. لقد أثبتت التجارب التي أجريت على رواد المكوك الآثار المفيدة لشرب الماء المالح قبل مغادرة المدار، كما أن الرواد الروس والأمريكيين على حد سواء يستهلكون نحو ليتر من الماء (أو العصير) لكل منهم مع ثماني أقراص ملحية تماماً قبل عودتهم. هذه الإجراءات فعالة للغاية حيال عدم التحمل السكوني العموي الذي ينتج عن الرحلات الفضائية القصيرة لكنه لسوء الحظ لا يحمي، على ما يبدو، الرواد الذين يقضون فترات طويلة في الفضاء.

إن الضمور العضلي هو السبب الآخر الذي يفسر لماذا يجد الرواد الذين قضوا وقتاً طويلاً في الفضاء أنفسهم عاجزين عن المشي عندما ينزلون على الأرض. فالرحلة الفضائية تجعل العضلات أكثر تعرضاً للأذى. وقد كشفت التجارب التي أجريت على الحيوانات أن الجاذبية الصغرى نفسها لا تؤذي العضلات، بل ممارسة الحركة لدى العودة إلى الأرض. تشفى العضلة، عادة، بسرعة، بحيث يغدو بالإمكان المشي خلال بضعة أيام كما تستعاد الكتلة العضلية خلال بضعة أسابيع، بالمقابل، قد يستغرق تعويض الفاقد العظمي أشهراً كثيرة، ويتوقف ذلك على مدة الرحلة الفضائية.

(6) تتناقص سوائل الجسم بمقدار 0,8 ليتر تقريباً في الفضاء، لذا ينبغي استعادة هذا المقدار لاستعادة حجم السوائل نفسها على الأرض والمحلول الملحي الذي يشربه رواد الفضاء يشبه المحاليل التي تؤخذ بالفم لمكافحة التجفف تلك التي تعطى للأفراد على الأرض الذين فقدوا سوائلهم نتيجة التقيؤ أو الزهار.

إنك ستكتشف، إذا ما قضيت فترة من الزمن في البحر وأنت بقارب صغير، أنك سرعان ما تتكيف مع حركة الأمواج، لكن ما إن تخطو على البر حتى تشعر أن الأرض تحتك غير ثابتة وأنه يصعب عليك المشي. عدم ثبات كهذا يصيب رائد الفضاء لدى عودته إلى الأرض، إذ يعاني نحو 10 بالمئة من طاقم المكوك من «مرض الأرض» لدى نزولهم. ويجدون من



شروق الأرض فوق القمر، إحدى الصور الفوتوغرافية الأخاذة والأكثر جمالاً، التقطها بيل أندرز سنة 1968 ومركبته تدور حول القمر. وكما لاحظ آندرز فيما بعد «لقد قطعنا تلك المسافة كلها كي نكتشف القمر، والشيء الأهم أننا اكتشفنا الأرض.

الصعوبة بمكان أن يحافظوا على توازنهم أو يبقوا منتصبين وعيونهم مغمضة كما يشكون من الدوار والغثيان. فيما يجد رواد آخرون كثر أن أي حركة للرأس بعد النزول مباشرة تؤدي إلى التوهم بأن العالم وليس الرأس، هو الذي يتحرك، الأمر الذي يدل على أن الإشارات الآتية من المستقبلات في القنوات شبه الدائرية والتي تستجيب للتسارع الخطي، أعادت التفسير خلال

التكيف مع الجاذبية الصغرى وأنه لا بد من إعادة برمجتها مرة أخرى لدى العودة إلى الأرض. كذلك نجد الكثير من الرواد، في الليلتين الأوليين بعد الإنزال، أنهم حين يستلقون بشكل مستو على السرير، يشعرون عملياً وكأن رؤوسهم أدنى بنحو 30 درجة من أقدامهم. ينتهي دوار الأرض خلال بضع ساعات أو بضعة أيام، لكن قد تستغرق استعادة التوازن والتنسيق العادي أسبوعاً أو أسبوعين. ومن المثير أن للجاذبية القمرية ـ وهي سدس الجاذبية الأرضية ـ تأثيراً أقل. إذ إن ثلاثة فقط من الرجال الاثني عشر الذين ساروا على القمر ذكروا ظهور أعراض لديهم، وقد كانت أعراضاً خفيفة إلى درجة يمكن بكل بساطة أن تكون نتيجة الإثارة.

بعد ذلك إلى أين؟

عندما غادرت المركبة القمرية «فالكون»، التي قامت بمهمة أبوللو 15، القمر، خلف الطاقم وراءه لوحة صغيرة نقشت عليها أسماء أربعة عشر من رواد الفضاء ورجاله الذين قضوا نحبهم والإنسان يحاول الوصول إلى القمر، إضافة إلى تمثال صغير يعرف الآن باسم «رائد الفضاء الذي سقط»[7]. فالفضاء، بلا شك، هو أشد البيئات عداوة للإنسان، مع ذلك، ما من أحد من هؤلاء الرجال مات في الفضاء. لقد قتلوا حين شبت النار في قمرتهم وهم على منصة الإطلاق، أو حين انفجر صاروخهم أثناء الإطلاق، أو أثناء الدخول ثانية إلى الجو والعودة إلى الأرض. فأشد لحظات الرحلة الفضائية حرجاً، شأنها شأن السفر بالجو، هو على ما يبدو لحظات الإقلاع والهبوط.

إن السؤال الحتمي الذي يطرح بشأن الرحلات الفضائية المأهولة بالإنسان إنما هو: أيستحق الأمر ذلك؟ لكن عندما يطرح معظم الناس هذا السؤال فإنهم لا يقصدون الكلفة في حياة البشر البتة. إن الرحلة الفضائية

(7) لقد تركوا التذكار خفية ولم يناقشوا المسألة إلى أن عادوا إلى الأرض.

مكلفة للغاية مادياً، لقد كلفت مهمات أبوللو إلى القمر الولايات المتحدة ما مقداره 4,5 بالمئة من ميزانيتها السنوية. على أن البرنامج الذي كانوا يشعرون أنه ضروري خلال الحرب الباردة، سرعان ما خبا بريقه وقد انتهى دافعه السياسي، فانتهت مهمات أبوللو قبل أوانها. فبعد فترة وجيزة من مغادرتهما القمر والحط على السفينة. الأم، أصيب رائدا فضاء أبوللو 17 جين جيرنان وجاك شميدت، وهما آخر رجلين حطا على القمر (حتى الآن)، بما يشبه الرعب، حين علما من بيان الرئيس نيكسون، أن «هذه قد تكون آخر مرة في هذا القرن يمشي فيها رجال على القمر».

لقد كان لكلماته سمة النبوءة: إذ ما من أحد بعد ذلك عاد إلى القمر. والحلم الذي أصبح حقيقة بالنسبة لنا نحن الذين فوق الثلاثين من العمر، يعود مرة ثانية ليغدو مجرد حلم. فبرامجنا الفضائية، اليوم، هي أكثر تواضعاً بكثير. والإنسان الآلي، وليس البشر، هو من يدرج فوق سطح المريخ، وهناك تبرير ما لهذه الاستراتيجية، إذ إن الإنسان الآلي أرخص كما يتطلب دعماً أقل ولا يهدد حياة البشر بالخطر. مع ذلك ليس لدي شك في أن الروح نفسها التي حملت الإنسان إلى القمر ستشرع في النهاية بدفع البشر للتسابق إلى المريخ. وكلي أمل أن أظل على قيد الحياة كي أرى حدوث ذلك.

7

الحدود الخارجية

«الجرثوم ضئيل جداً إلى درجة
لا تستطيع تبيُّنه على الإطلاق»

هيلير بيلوك «الجرثوم»

لمدخّنة السوداء

أينما غامر الإنسان على سطح هذا الكوكب، سيجد أن متعضيات أخرى قد سبقته إلى هناك، إذ حتى الأجزاء غير المضافة من مناطق القطب، الصحارى، ذرى الجبال وأعماق المحيطات تم استيطانها. ثمة القلة النادرة من المناطق على الأرض تعتبر معادية بحيث لا توجد فيها متعضيات وحيدة الخلية، وحتى في البيئات المتطرفة إلى درجة لا يستطيع معها البشر أن يعيشوا دون مساعدة، ثمة حيوانات أخرى تعيش بغير مشقة. في هذا الفصل سنلقي نظرة على حدود الحياة حيث نقابل بين النطاق الضيق للبيئات التي يمكن للإنسان أن يتحملها والنطاق الأكبر بكثير الذي تستطيع المتعضيات الأخرى أن تتحمله، لنرى كيف يمكنها أن تعيش في أعماق الصخور، في القلويات القوية، الحمض أو البحيرات الملحية، في جذوع الأشجار، في أعماق المحيطات أو برك الحمأة التي تغلي وتفور.

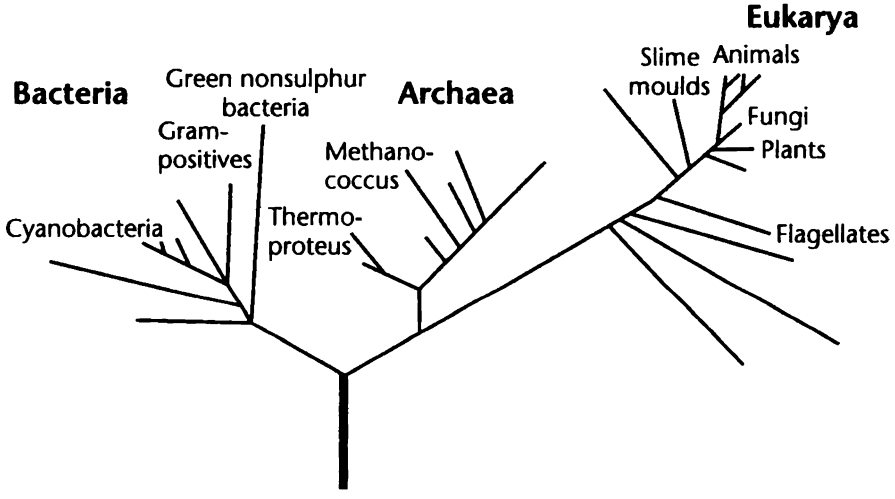
تحتاج الحيوانات، مثلنا، لكي تعيش، إلى الماء، الأوكسجين، والغذاء. على أن الجراثيم تستطيع العيش بغير أوكسجين ويمكن أن تكون مصادر غذائها متباينة غاية التباين عن غذائنا لكنها تظل بحاجة إلى الماء. كذلك هي تحتاج إلى عناصر مثل الفحم، الآزوت، الكبريت والفوسفور باعتبارها كتلاً بنائية للـ د.ن.أ والبروتينات. توجد هذه العناصر في معظم الأماكن على الأرض، بيد أن توافر الماء السائل أقل، ففي صحراء أتاكاما،

التي تشتهر بأنها أشد مناطق العالم جفافاً، قد تمر سنوات دون أن تسقط قطرة مطر واحدة. لا يعد الجليد بديلاً للماء، لذا فإن المجاهل المتجمدة من المناطق القطبية وقمم الجبال هي صحارى أيضاً. وعلى الرغم من أن بعض المتعضيات يمكن أن تتواجد بغير ماء فترات طويلة من الزمن وهي في حالة من الأحيائية المعلقة، إلاّ أنها تكون عاجزة عن النمو أو التكاثر. لذلك، الماء هو جوهر الحياة. و«ماء الحياة» الحقيقي هو الذي بحث عنه بكثير من الجد والدأب كيميائيو الأزمنة القديمة.

شجرة الحياة

لشجرة الحياة ثلاثة فروع رئيسية: ذوات النويات الخلوية، الجراثيم والبدائيات. تتكون ذوات النويات الخلوية، مثلنا نحن، من خلايا لها نوى تؤوي داخلها الـ د.ن.أ. تعد الحيوانات كلها والنباتات جميعاً وكثير من المتعضيات وحيدات الخلية ذوات نويات خلوية أمّا الجراثيم والبدائيات فهي متعضيات وحيدات الخلية تفتقر للنواة لكنها شديدة الاختلاف عن بعضها بعضاً مثلما هي شديدة الاختلاف عن ذوات النويات ولكل منها مجموعة خاصة بها من المورثات. والمفاجئ أن عالم التطور كارل ووز هو الذي ميز، في فترة حديثة فقط تعود لأواخر سبعينيات القرن العشرين، أن البدائيات تشكل فرعاً من فروع الحياة قائماً بذاته. بيد أن نظرته لم تقبل على نطاق واسع في البداية. فشعر ووز بالإحباط الشديد إلى درجة أنه صرف النظر عنها باعتبارها هراء أو تم تجاهلها ببساطة في وطنه، الولايات المتحدة. فالبدائيات، في نظر خصومه، هي مجرد فرع خاص من الجراثيم. لم تساعد طبيعة ووز الانعزالية في نشر رسالته لكن فكرته اليوم معترف بها تماماً. لقد جاء البرهان الحاسم على مصداقيتها حين تم، لأول مرة، الحصول في سنة 1998، على سلسلة المورثات الكاملة لأحد البدائيات (الميثانوكوكس)، فتبين أنها تختلف تماماً عن مورثات الجراثيم، مما يثبت

أن البدائيات فرع قائم بذاته بالحقيقة ويوضح أنها أقرب إلى ذوات النوى من الجراثيم. يشير اسمها «البدائيات» إلى أنها ذات أصول قديمة. إذ يظن أن من بين كل أشكال الحياة القائمة، تعد البدائيات هي الأكثر شبهاً بالخلايا الأولى.



إذن، البدائيات والجراثيم هي السيدات الحقيقية للأطراف القصوى للحياة. إنها تزدهر في الماء الغالي، في بحيرات الصودا القلوية في الحمض المركز، في الماء شديد الملوحة، في الضغوط الهائلة، وعميقاً وسط الصخور. بل يمكن لبعضها، كالداينوكوكس راديو دوران، مثلاً، أن يتحمل

نسباً عالية للغاية من النشاط الإشعاعي[1].

فيما يستطيع الكثير منا العيش من دون الأوكسجين أو ضوء الشمس، حاصلاً على طاقته من الكبريت، الهيدروجين، أو بتفتيت الصخور، كما أنه قادر على هضم أي شيء، تقريباً بما في ذلك الزيت، البلاستيك، المعادن والسموم. تقدم لنا هذه المتعضيات الصغرى، إمكانية هائلة للاستفادة منها في تنظيف البيئة، منع التلوث، إنتاج الطاقة وكثير من المجالات الأخرى. لذا. لا عجب أنها تثير اهتمام العلماء والصناعيين على حد سواء.

بعضهم يحبها ساخنة

تستطيع بعض البدائيات والجراثيم أن تتحمل درجات حرارة قريبة من درجة الغليان، على الرغم من أنه ما من حيوان أو نبات كثير الخلايا يعيش طويلاً فوق الدرجة 50 مئوية، وما من ذات نواة وحيدة الخلية تتحمل درجة حرارة فوق الستين مئوية. تعيش «محبات الحرارة في درجة حرارة 50 مئوية ومحبات الحرارة المفرطة فوق الدرجة 80 مئوية. إنها تكثر في المناطق ذات النشاط الجيوحراري العالي، كينابيع آيسلاند الحارة وحديقة يللوستون الوطنية والفوهات البركانية المعروفة باسم المدخنات السوداء في قاع المحيط. على أن أشد مقاوم للحرارة عرف حتى اليوم هو «البيرولوبس فوماريي» الذي يعيش في درجات حرارة تصل حتى 113 مئوية في جدران مداخن المدخنات السوداء ويكف عن النمو عندما تنخفض درجة الحرارة عن 90 مئوية لأنه يجد الجو شديد البرودة، لذا، لا أحد يعلم ما هو الحد الأعلى للحياة فعلاً لكن معظم العلماء يشكون بأنه في حدود 120° مئوية.

---

(1) يبدو أن الداينوكوكوس راديودوران قد طورت مقاومتها للنشاط الإشعاعي كأثر جانبي حسن الحظ لمقاومتها الجفاف، إنها قادرة على إعادة بناء صبغياتها حتى عندما يجعلها الإشعاع تتشظى إلى شظايا لا عد لها ولا حصر. كيف تحقق هذه المعجزة أمر ما يزال لغزاً.

أول مرة اكتشفت فيها المدخنات السوداء كان سنة 1977، وقد اكتشفها علماء من معهد وودز هول لعلم المحيطات، قريباً من شاطئ الإكوادور. لقد انزلقوا بمحاذاة قاع المحيط في السفينة القابلة للغطس «ألڤين» وعلى عمق نحو 2500 م، وصلوا إلى ريف صخري حيث حياهم مشهد خارق للعادة ليس له نظير.

إذ كانت تنطلق سحب من الدخان الأسود من غابة من المداخن تحت الماء وكان نبتون وڤولكان تعاونا على صنع مجمع صناعي قريب من المعامل الشيطانية تحت البحر. وخلافاً لأعماق المحيطات المأهولة هنا وهناك والتي بات العلماء يألفونها، فقد كانت هذه المنطقة واحة للحياة يأهلها الكثير من مختلف أنواع الكائنات الحية. على أن اكتشاف المدخنات السوداء كان محملاً بالأخطار «فعندما أدخل العلماء، لأول مرة، مقياساً حرارياً في الماء المنبعث من المداخن وجدوا أنه توقف فجأة عن العمل، لقد احترق خلال بضع ثوانٍ. وما إن عرف سبب المشكلة، حتى ذهب اهتمامهم مباشرة إلى سفينتهم الغاطسة نفسها، إذ إن نوافذها المصنوعة من «الزجاج الضفيري» يمكن، على ذلك العمق، أن تفقد تماسكها بدرجة حرارة 90 فقط. هذا الاهتمام لم يكن غير مبرر. إذ تعود السفن الغاطسة، أحياناً، من رحلة إلى المدخنات السوداء وقد صارت قوقعتها الخارجية المصنوعة من الزجاج الليفي سوداء كالفحم.

تشبه المدخنات السوداء ينابيع ماء حارة تحت الماء، تنفث ماء شديد الحرارة تتخلله معادن من الفوهات البركانية في قاع المحيط، وفي الأرياف الصخرية الواقعة وسط المحيط، تخرج العصارة الحارة من لب الأرض إلى السطح فاصلة بين الصفائح التكونية، متصلبة حين تبرد لتشكل قاع محيط جديداً، كما يتسرب ماء البحر البارد نازلاً عبر الشقوق الموجودة في سرير البحر لتسخنها، وهي تغوص إلى الأسفل. هذا الماء يصبح حاراً أكثر فأكثر

وهو ينزل لكنه لا يغلي وذلك بسبب الضغط الشديد هناك[2]. أخيراً، يعود هذا الماء فائق الحرارة فيندفع راجعاً إلى السطمح محملاً بالمعادن والأملاح المعدنية ثم ينبثق من الفوهات في قاع البحر بدرجة حرارة تربو على 350 مئوية. وحالما يصطدم بماء البحر البارد، تترسب المعادن والأملاح المنحلة فيه لتشكل ريشة دخانية سوداء بارتفاع 100 ـ 300 م فوق قاع المحيط، ومن ثم تتصلب على شكل مداخن صخرية بارتفاع يصل حتى الخمسة أمتار. أطول هذه المداخن، وهي بطول مؤثر يصل إلى 6,8 م، تعرف بالاسم المحبوب جوليات.

تقطن الماء المحيط بالمدخّنة السوداء بدائيات تعيش وتزدهر في الماء عالية الحرارة وتتغذى على خليط من مركبات الكبريت والمعادن (منغنيز، حديد، كبريتيد) المنبعثة من الفوهة. تحيط بالفوهة سحابة من هذه المتعضيات كيماوية التركيب لتبدو أشبه بالثلج وتعرف باسم «القطيع». إنها تدعم نظاماً بيئياً فريداً من نوعه. مستعمرات من الديدان الأنبوبية تحرك مجساتها الأشبه بالعشب في التيارات الحارة. بعضها له قواقع صفراء مبيضة دقيقة ضئيلة تحيط بها حواف، فيما يصل طول بعضها الآخر إلى الأربعة أمتار. كما أن دودة بومباي، وهي واحدة من أكثر متحملات الحرارة، تعيش في أنابيب إلى جانب المدخنات السوداء ذاتها. ورغم أن رأسها يظهر في ماء درجة حرارته مرضية نسبياً 20 مئوية، إلاّ أن ذيولها تتحمل درجة الحرارة الحارقة 80 مئوية.

هناك أيضاً مليارات من القريدس تتجمع حول الفوهات راقصة رقصة شد الحبل الحرارية: تقترب كثيراً من المدخنة تغلي وهي حية، تبتعد كثيراً تتجمد أو تموت جوعاً. كذلك هناك شقائق النعمان البحرية، السرطان مغزلي القوائم، والبطلينوس العملاق (طويل القدم تقريباً) وكلها تزيّن سرير

(2) على عمق 3000 م، يكون الضغط كبيراً إلى درجة أن الماء يغلي بدرجة 400 مئوية.

البحر. كما تغطي الحصر الجرثومية سطح بلح البحر ويطوف السمك بحثاً عن الطعام بين المداخن، وهناك مخلوق برتقالي اللون جميل وغريب يجر خييطات طويلة يشبه أكثر ما يشبه هندباء برية ذاهبة للبذار، يمخر البحر عابراً ليس هو بالزهرة بل مستعمرة من الحيوانات تمت بصلة قربى للمحار وتشبه رجل الحرب البرتغالي.

لا يصل ضوء الشمس إلى هذه الأعماق، لذا تعتمد الحياة كلها اعتماداً نهائياً على قدرات التركيب الكيماوي لدى البدائيات والجراثيم. إنها تستخدم كبريتيد الهيدروجين كوقود مؤكسدة إياه مع الماء والكبريت. وفي حين أن بعض المخلوقات تتغذى مباشرة على سحب البدائيات تلك فإن مخلوقات أخرى تعيش من خلال تشكيلها علاقة أقرب حتى. إحدى هذه المخلوقات الخارقة للعادة هي الدودة الأنبوبية «ريفتيا پاشيبتيليا» ذات الجسم الأسطواني الأبيض الناعم الثخين كذراع طفل وله في كلا طرفيه لغد قرمزي. ليس لهذه الدودة قناة هضمية أو جهاز إطراح، لأنها لا تأكل بالمعنى التقليدي للكلمة، بل إنها تحصل على طاقتها من شراكة تكافلية تعايشية تقيمها مع جراثيم قادرة على التركيب الكيماوي. يمتلئ القسم الداخلي من جسم الدودة الأنبوبية بينية تعرف باسم التروفوسوم أو كيس التغذية حيث تعيش آلاف الجراثيم الكبريتية داخل كل خلية من خلايا هذا التروفوسوم. يستخلص ريش اللغد اللامع والأحمر كالدم في الدودة الأنبوبية، الأوكسجين وكبريتيد الهيدروجين من الماء المحيط، حيث يتحد هذان مع شكل خاص من الهيموغلوبين في الجهاز الدوراني للدم الذي ينقل إليها إلى المتكافلات ذوات التركيب الكيماوي التي تقطن في التجويف المركزي للدودة. تستخدم الجراثيم الأوكسجين كي تشطر كبريتيد الهدروجين الموجود في الماء والكبريت، وبهذه العملية تنطلق الطاقة، يتخلف، عن ذلك، الكبريت ليشكل راسباً أصفر صلباً يتراكم شيئاً فشيئاً في جسم الدودة خلال حياتها. أمّا الطاقة فتستخدم لتحويل المركبات اللاعضوية إلى عناصر مغذية كالحمض الأميني

والكربوهيدرات التي تتقاسمها الجراثيم حينذاك مع مضيفتها.

لم تكتشف المتعضيات الصغرى محبات الحرارة، أول مرة، في المدخنات السوداء، بل في مياه حديقة يللوستون الوطنية الواقعة في دايومنغ ذات الحرارة الباطنية الشديدة. ويللوستون عالم جميل خيالي من الماء والنار، حيث تطرز المشهد الطبيعي مئات الينابيع الحارة والبرك الفوارة، حواشيها حصر هلامية من المتعضيات الصغرى أرجوانية اللون قرمزية، فيما تنبثق إلى الجو أعمدة عملاقة من الماء بقوة ترتج لها الأرض. كما يضج البخار ويهدر منطلقاً من شقوق في الأرض كأنما تنبعث تنانين غاضبة، بينما تدمدم البرك الطينية المبقبقة وقدور الطين الانفجارية بهدوء نسبياً. أمّا الماء فيسقط على الصخور الملونة بألوان قوس قزح والمبقعة بالجراثيم والبدائيات التي تغلف سطحها. فيما الهواء كثيف له رائحة البيض العفن، هذا هو كبريتيد الهيدروجين، وهو غاز سام كريه الرائحة يحرق البلعوم ويجعل النفس صعباً. هذه البرك فائقة الحرارة حتى درجة اللفح لكنها أبعد من أن تكون مجدبة. اغمس قضيباً في الماء فيصبح مغلفاً بكتلة هلامية رقيقة سوداء رجراجة من البدائيات والجراثيم التي تحب الحرارة.

لقد كان توماس بروك وزوجته لويز أول من اكتشف حياة في هذه المياه المغلية. وكان ذلك في صيف 1965 حين كانا يقضيان إجازة عمل في يللوستون، وقاما بعزل المتعضيات محبات الحرارة الأولى في قناة متفرعة من بركة غنية بالكبريت حمضية وحارة. فكانت هذه المتعضية هي السولفولوبس آسيدوكالداريوس التي تفضل أن تكون الحرارة بين 60° و95° مئوية. أمّا المتعضية الأخرى التي اكتشفاها فهي الثيرموس أكواتيكوس التي قدر لها أن تصير نجمة صناعة التكنولوجيا الحيوية، إذ غدت مكتشفات بروك فاتحة دراسات محبات النهايات القصوى كما نشأت عنها سلالة جديدة من الرواد والمنقبين ـ صيادي الجراثيم ـ وأطلقت ما بات يعرف بصناعة المليون دولار. كذلك وفرت المبرر الكامل لبيولوجيي الجراثيم لأن يزوروا أكثر

بركة الكبريتية الحارة في حديقة يللوستون الوطنية

ناطق كوكبنا غرابة وبعداً، بحثاً عن المتعضيات الصغرى التي كان يجهلها لعلم سابقاً.

في الوقت الذي عزل فيه توماس بروك السولفولوبس، كان العلم يعتق ن ما من كائن حي يستطيع الحياة في درجة حرارة تزيد عن 50° مئوية لعل هذا ما يفسر لماذا لم يفكر أحد بالبحث عن الحياة في بيئة متطرف هذه من قبل. غير أنه مفتاح نجاح بروك هو أن استنبت الجراثيم التي جمعها في درجة حرارة مماثلة لتلك التي تعيش فيها عادة. ولو كان عالم قل ذكاء ودهاء، فربما كان أغراه أن يجرب درجة حرارة أدنى، انطلاقاً م لاعتقاد الخاطئ بأن الجراثيم ستنمو على نحو أفضل. ولم يكن ليكتشف نيئاً نظراً لأن السولفولوبس محبة للحرارة بالضرورة وعزل محبات التطرف لأولى. مثل الكثير من العلوم الابتكارية، إنما يتطلب الجمع بين دق لمشاهدة والرغبة في تأمل كل ما هو ابتداعي. والزعم الجدير بالتذكر الذي عمته الملكة البيضاء في كتاب «عبر الزجاجة الفاحصة» والذي يقول إنه

«تؤمن أحياناً بستة أشياء مستحيلة، قبل الإفطار» ليس بالنصيحة السيئة بالنسبة إلى عالم.

لا يمكن للحيوانات متعددة الخلايا أن تضاهي الجراثيم والبدائيات محبات الحرارة في تحملها للحرارة. إن دودة بومباي هي واحدة من متعددات الخلايا ضاربات الرقم القياسي، إنها الدودة التي تعيش في أنبوبة مثبتة إلى جدار المدخنة السوداء وتتحمل نطاقاً حرارياً متدرجاً يراوح بين 20 و80° مئوية من الرأس إلى الذيل. ثمة مخلوق آخر هو نملة الصحارى الفضية التي تستطيع أن تبحث عن طعامها ودرجة حرارة الهواء تقارب 55° مئوية، لكن فترات زمنية قصيرة فقط، قبل أن يتعين عليها الرجوع إلى تحت الأرض للتبرد.

لقد تطور تحمل الحرارة بحيث يتيح للمتعضية إمكانية استغلال عش بيئي لا تصل إليه المتعضيات الأخرى، بل يمكن أيضاً أن يستخدم كسلاح. فنحلة العسل اليابانية (أبيس سيرانا جاپونيكا) تستخدم حرارة جسدها كسلاح دفاعي ضد الدبور المفترس (فيسپا مندرينيا جاپونيكا) الأكثر حساسية تجاه الضغط الحراري إذ عندما يهاجم هذا الدبور خلية النحل، تتجمع مئات النحلات لمواجهة الغازي. وسرعان ما ترتفع درجة الحرارة في مركز الكتلة المتجمدة من النحل إلى أن تصل إلى 48° وهي قاتلة للدبور لكن ليس للنحل. أي ببساطة تامة، يطبخ الغازي حتى الموت.

تموت معظم الخلايا في درجات الحرارة التي تزيد على 50 مئوية نظراً لأن بروتيناتها لا تحب أن ترتفع حرارتها كثيراً. ذلك أنه يحدث اهتزازات جزيئية حين تتعرض البروتينات للحرارة بحيث تجعلها تتباعد وتنفصل، جاعلة البروتينات الناضجة تنحل، مانعة البروتينات الجديدة من الانطواء بشكل صحيح وهي قيد التكون. هذا التشويه للطبيعة خطر، إذ لا يعود باستطاعة البروتين أن يقوم بعد ذلك بوظيفته الخاصة. وبذلك تنحط

البروتينات البنائية وتخفق الخمائر في تحفيز التفاعلات الكيميحيوية. لقد أصبح واضحاً كل الوضوح ما لانطواء البروتين الصحيح من أهمية لدى الجمهور البريطاني في السنوات الأخيرة نظراً لأن مرض «جنون البقر» هو نتيجة لشكل خبيث من أشكال البروتين الذي ينطوي انطواء شاذاً ويكون قادراً على إغراء البروتينات الأخرى بسلوك طريقه ذاته. هذا الشكل من البروتين المنطوي انطواء غير سليم سام ويسبب موت الخلايا العصبية، وذلك لأسباب لاتزال غير مفهومة.

لا ينعكس بسهولة التلف الحراري الذي يصيب البروتينات. فبياض البيض الذي سلق يظل صلباً وأبيض ورجراجاً. لكنه لا يرتد إلى شكله الهلامي الشفاف الأصلي قبل السلق. وقطعة اللحم المطبوخة الباردة قد لا تكون مثيرة للشهية لكنها تظل وبكل وضوح قطعة لحم مطبوخة دمر الطبخ بنيتها العضلية بصورة لا رجعة عنها. مع ذلك فإن الخلايا تستطيع أن تصلح الأضرار الأقل حدة التي تلحق بها، وذلك باستخدام بروتينات صادة للحرارة. تستعيد هذه المصاحبات الجزيئية النظام بمساعدتها البروتينات على أن تعيد انطواءها بشكل صحيح. أمّا البروتينات التي خرجت بشكل غير قابل للإصلاح ولا أمل فيها بإعادة انطوائها فإنها تجر وتوجه إلى ممرات قادرة على حلها وتحطيمها ثم إعادة تدوير ما تحتويه من الحموض الأمينية بغية استخدامات أخرى. وهكذا، تعمل البروتينات الصادة للحرارة كنوع من فوج إطفاء كيميحيوي.

تتشكل البروتينات من خيط خطي من الحموض الأمينية لكنها ـ مثل عقد من الخرز سقط على الأرض ـ تنطوي وتتجمع بأشكال معقدة أكثر بكثير. إذ يمكن أحياناً أن تترابط سلسلتان أو أكثر من البروتينات لتشكل جزيئاً أكبر بكثير. مثال على ذلك: يتكون الأنسولين من وحدتين فرعيتين من البروتين، بينما يتكون الخضاب من أربع. إن الشكل ثلاثي الأبعاد للبروتين حاسم الأهمية فالجزيئات التي تصدر الإشارات يجب أن تتراصف تراصفاً

محكماً مريحاً مع مستقبلاتها المحددة، وعلى الخمائر أن تحتضن المواد الخاضعة لتأثيرها بالطريقة الصحيحة تماماً، كما ينبغي على البروتينات البنائية أن تنغلق على نفسها بوضع محكم جيداً تملي سلسلة البروتين الطريقة التي تتطور بها، لكن يعيق هذه العملية داخل الخلية التركيز العالي جداً للبروتينات الأخرى. مثل هذا التزاحم الجزيئي يعني أن البروتين قد يشكل، عرضاً، روابط مع بروتينات ملاصقة غير ذات صلة بدلاً من تشكيلها مع نفسه». لقد تطورت البروتينات المصاحبة لكي تضمن أن يقوم كل بروتين بصنع الارتباطات الصحيحة أي تشبه نوعاً ما نظيراتها الڤيكتورية من البشر. إنها تمد يد العون للبروتينات حتى في درجات الحرارة العادية لكن أعدادها تزداد زيادة هائلة في درجات الحرارة العالية. والواقع أن مشاهدة صنع البروتينات المصاحبة نتيجة تحريض الحرارة هي التي أدت إلى تسميتها باسم «صادات الحرارة». لكننا ما نزال إزاء لغز نهائي: ما الذي يضمن أن تتطوّر البروتينات صادة الحرارة بصورة صحيحة حين تصبح الأشياء حارة؟

مع ذلك لا يعزى التحمل الحراري لدى محبات الحرارة المفرطة إلى نشاط البروتينات المصاحبة فقط، فكثير من الخمائر الأخرى والبروتينات البنائية ـ حتى آلية تركيب البروتين نفسها ـ تبدي مقاومة عالية للحراة وعلى نحو غير معهود. وعلى الرغم من أنها ثابتة الحرارة كثيراً، تبين أن الكثير من الخمائر المحبة للحرارة المفرطة هي مشابهة كثيراً، على صعيد الحمض الأميني، لخمائرنا نحن. وهناك بضعة حموض أمينية حاسمة فقط هي التي تقف، على ما يبدو، وراء مقاومتها للحرارة، تلك المقاومة الخارقة للعادة.

رؤوس حمضية

ذات ليلة مظلمة، وأنا أحاول إبدال مبخرة سيارتي، ممسكة المصباح الكهربائي بيد والمفتاح باليد الأخرى، أوقعت على حين غفلة المفتاح، ليستقر بين القطبين الكهربائيين مقصراً الدارة، جاعلاً المبخرة تنفجر انفجاراً

مدهشاً ساكباً عليَّ زخة من الحمض. لقد لفحت النار وجهي ويدي فيما تآكلت بشرتي بفعل الحمض. كما تناثر الحمض على بنطالي، وأنا في غمرة الرعب والاندفاع لتنشيف ما حول عيني، دون أن ألاحظه، حتى اليوم التالي، عندما تثقب بنطالي، وأنا أتجول في المدينة، ثم تمزق إرباً إرباً.

يدمر الحمض، كما فعل بالخيوط القطنية لبنطالي، المركبات العضوية في خلايانا. وحمام من حمضٍ يجرد العظم من اللحم، لذا يستخدم لتجريد الهياكل العظمية من أجل غايات تشريحية. أمّا في الروايات البوليسية فيبدو وسيلة مغرية، وإن تكن غير مستحبة، للتخلص من جسد غير مرغوب به، لكنه لا يقتصر على القصص والروايات. فالقاتل سيِّئ السمعة بحمامات الحمض، جون هوغ الذي قتل ستة أشخاص على الأقل في بريطانيا خلال أربعينيات القرن العشرين، كان يستخدم حماماً من حمض الكبريت للتخلص من الجثث. ولم يطح به إلاَّ نتفة من دليل أثبتت جريمته، هي طقم أسنان اصطناعية مصنوعة من راتنج الأكريليك الذي لم يتحلل. كذلك تستخدم الحموض لأغراض أكثر إفادة. فالمبيض، كما تذكرنا الإعلانات، وهو شكل مخفف من حمض كلور الماء يقتل الكثير من مسببات الأمراض. فالحمض، بكل بساطة، ليس جيداً لمعظم المتعضيات.

ترتبط حمضية محلول أو تلويثه (PH) ارتباطاً وثيقاً بمقدار شوارد الهيدروجين التي يحتويها، إذ بقدر ما يكون فيه شوارد هيدروجين يكون أكثر حمضاً، وبالعكس كلما قلت شوارد الهيدروجين، ازداد المحلول قلوية. تعرف الـ (PH) هذه بأنها اللوغاريتم السلبي لتركيز شوارد الهيدروجين. هذا يعني أن المحلول الحمضي الذي يكون تركيزه من شوارد الهيدروجين عالياً تكون الـ (HP) فيه واطئة والعكس بالعكس، إذ تكون للمحلول القلوي شوارد هدروجين قليلة لكن الـ (PH) عالية. هذه العلاقة العكسية ربما كانت بشكل من الأشكال محيرة مربكة في البداية، لكن في السنين الأخيرة أصبح الـ PH مصطلحاً منزلياً. فالصابون والشامبو ـ بل حتى بعض المشروبات الخفيفة ـ

تزعم أنها «ذات PH متوازنة». كما على الجنائنيين أن يعرفوا إن كانت تربتهم قلوية أم حمضية، نظراً لأن النباتات التي تحب الحمض، كالجلخ والأضاليا، لا تستطيع تحمل التربة الكلية القلوية، في حين أن القرنفل يحب التربة الكلسية، ويموت حين يزرع في تربة حمضية. ومن الجدير بالذكر أيضاً أن الحموضة أو القلوية هي وظيفة لوغاريتمية، مما يعني أن تغير هذه النسبة وحدة واحدة يترافق مع اختلاف عشرة أضعاف في تركيز شوارد الهيدروجين. وهكذا فإن الخل (ونسبة حموضته 2) يحوي شوارد هيدروجين أكثر بمليار مرة تقريباً من النشادر (ونسبة قلويته 11).

تفضل معظم الخلايا وسطاً يكون قريباً لنسبة الحموضة المحايدة (7,0) حيث يكون تركيز الهيدروجين متوازناً مع تركيز مساو له من وحدات الهدروكسيل (إذ تجتمع شاردة هيدروجين وشاردة هدروكستل لتصنعا جزيء ماء). كما تكون الخلايا حساسة تجاه التغيرات الطفيفة في نسبة الحموضة أو القلوية وهو ما يفسر لماذا تكون هذه النسبة في دم الإنسان منتظمة تماماً. فقيمتها العادية هي نحو 7,4 وأي زيادة فوق 7,7 أو نقصان تحت 7,0 غير ملائم للحياة.

غير أن المدهش أن بعض البدائيات والجراثيم تفضل وسطاً شديد الحموضة أو شديد القلوية. فمحبات الحمض تحب أن تعيش تحت نسبة قلوية 5. إنها تقطن في الينابيع الحارة من مناطق الدفق الحراري الجيولوجي، حيث تنحل الغازات الكبريتية في الماء لتتبع حمض الكبريت. كما تعيش في المياه الحمضية التي تتسرب من أكوام البقايا التي تتناثر في مواقع مناجم الفحم القديمة، فيما تعيش أنواع أخرى في الخل وعصير الليمون، وهو ما يفسر لماذا تفسد هذه المحاليل مع الزمن. غير أن الثيوباسيلوس فيروكسيدانز أكثرها سحراً. إنها تستهلك ثاني أوكسيد الفحم، الأوكسجين، الكبريت، والحديد ومن أجل صنع الطاقة، وتنتج في العملية ذاتها حمض الكبريت وأملاح الحديد، مما يصبغ الجداول التي تصرف إليها مياه مناجم الفحم

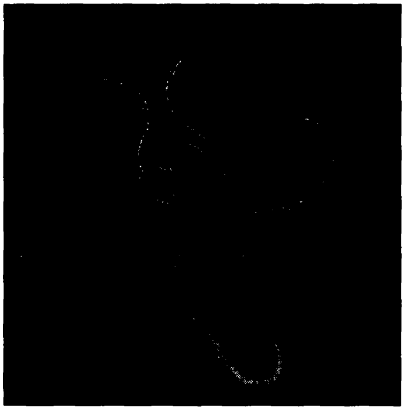
القديمة باللون البني المصفر اللامع ويجعل الماء شديد الحموضة (إذ تنخفض نسبة الـPH فيه إلى 2,0). يعد الحمض والأملاح المعدنية كلاهما ساماً بالنسبة إلى معظم أشكال ـ الحياة المائية، غير أن الـ ت. فيروكسيدانز مرعب أكثر بكثير، كما يشير إلى ذلك اسمه البديل، الـ ت. كونكرتيڤوران (ملتهم الإسمنت) ذلك أن له ولعاً خاصاً بالإسمنت من الدرجة الواطئة، الذي هو عالي الكبريت، لا سيما إذا كان الإسمنت مدعماً بقضبان من الحديد. يمكن لهذا الجرثوم، وعلى نحو يذهل المهندس، أن ينتج قدراً كبيراً من حمض الكبريت إلى حد تهترئ معه المادة الإسمنتية مما يؤدي بالجسور والمعابر الفوقية إلى الانهيار والكتل البرجية للتقوض. وقد كان لا بد من مرور بعض الوقت قبل أن يعرف المختصون أن اهتراء الإسمنت يعود إلى إصابة جرثومية، ذلك أن الكثافة الجرثومية تكون منخفضة للغاية إذ إن كل جرثوم واحد يحتاج إلى ما يعادل وزنه خمسين مرة من الحديد من أجل انقسام خلية واحدة من الـ ب هـ (PH).

البيلوري الهليكوبتري، الجرثوم الذي يسبب قرحة المعدة

حتى وقت قريب، ثمانينيات القرن الماضي، كان يعتقد بشكل عام أن قرحة المعدة، وهي العلامة الفارقة للمدراء الطموحين، تنجم عن إفراز مفرط للحمض نتيجة التوتر. لكن عالمين أستراليين هما روبن وارن وباري مارشال لم يكونا متأكدين كثيراً من ذلك الاعتقاد. لقد اكتشفا جراثيم ذات شكل مغزلي في غسالة معدة لدى مرضى مصابين بالقرحة أو الالتهاب المزمن في المعدة وكان السؤال الرئيسي هل هذه الجراثيم هي ملوثات أم أنها كانت تعيش في المعدة فعلاً؟

ونظراً لأنهما كانا متأكدين من أن منشأها المعدة، فقد اضطرا بعد ذلك لأن يثبتا أن جرثومة البيلوري الهليكوبترية هي بالحقيقة سبب الالتهاب المزمن والقرحة، أكثر مما هي مجرد جرثومة غير ضارة تتواجد عرضاً مع ذلك المرض. ولتبيان ذلك بالبرهان، قام متطوعان جسوران، أحدهما مارشال نفسه، بابتلاع شراب يحتوي الجرثومة، فأصيب كلاهما بالتهاب المعدة المزمن وكان الدليل القاطع.

لقد أدت تجارب وارن ومارشال إلى حدوث تغير جذري في التفكير الطبي بين عشية وضحاها. فالقرحة، كما بات واضحاً، ليست ببساطة نتيجة زيادة إفراز للحمض في المعدة بل سببها إصابة جرثومية. وقد افترض أن وجود هذا الجرثوم في جدار المعدة يسبب التهاباً يؤدي في النهاية إلى تدمير النسج والتقرح. نتيجة ذلك حدث ما يشبه الثورة في المعالجة الطبية، إذ بات واضحاً أن العقاقير التي تمنع تشكل الحمض توفر للمريض راحة مؤقتة فقط نظراً لأن الجرثومة نفسها تبقى. لكن تناول المضادات الحيوية فترة محددة من الزمن يقضي على هذه الجرثومة إلى الأبد. وهذا هو الفارق بين الشفاء والمعالجة، بين القضاء على المرض ومعالجة أعراضه فقط.



جرثومة البيلوري الهليكوبترية

لقد كان لاكتشافات وارن ومارشال مضامين هائلة بالنسبة إلى الصحة العامة. إذ يقدر أن نحو ثلث سكان العالم مصابون إصابة مزمنة بجرثومة البيلوري، برغم أن المرض الذي تسببه لا يظهر لدينا جميعاً، كما كان لهذه الاكتشافات آثار كبيرة على الصناعة الدوائية. فالزنتك، الذي يخفض إفراز الحمض في المعدة، صنع ثروة لشركة غلاكسو وما يزال واحداً من أكثر العقاقير مبيعاً في العالم. ولربما تصور بعض الناس أن العلاج الحديث بالمضادات الحيوية سيخفض من مبيع مانعات إفراز حمض كهذه تخفيضاً كبيراً، لكن لحسن حظ شركات الأدوية، لم تكن هذه هي الحال هنا. إذ تبين أن المضادات الحيوية تكون أكثر فاعلية إذا اجتمعت مع مخفضات إفراز الحمض (على الرغم من أنه لا حاجة فعلياً لعقاقير مضادة للحموضة غالية الثمن، فالبيزموث يؤدي الغرض تماماً).

وعلى الرغم من أنها تعيش في المعدة، حيث نسبة القلوية (PH) تنخفض حتى 2، فإن البيلوري ليست محبة للحمض. إنها تؤثر، عملياً، وسطاً محايداً، وعلى الرغم من أن باستطاعتها تحمل الحمض فترة قصيرة من الزمن، إلاّ أنها تموت في النهاية إذا طال أمد تعرضها له. وآليات التعديل السلوكية، لا الفيزيولوجية، تتيح لها إمكانية البقاء حية في المعدة. إذ تختبئ داخل الغشاء المخاطي الذي يغلف جدار المعدة ويحمي الخلايا التي تبطن المعدة من التآكل، وكعامل وقائي إضافي، تغلف نفسها بسحابة من نسبة حموضة أعلى وذلك بإفراز خميرة البولاز (خميرة تحلل البول).

لا تتحمل محبات الحموضة نسبة منخفضة من الـ ب هـ (PH) وحسب، بل هي تفضلها عملياً. فالسولفولوبس، مثلاً، تنمو على نحو أفضل بنسبة ب هـ 2. وهو من حسن الحظ نظراً لأنها تنتج حمض الكبريت كنتاج فضلات لعملية الاستقلاب لديها. ونسبة الـ ب هـ المفضلة لدى جراثيم أخرى هي أدنى حتى إن الرقم القياسي الراهن تضربه جراثيم البيركوفيلوس. وهو الجنس الذي يكون أسعد ما يكون في نسبة ب هـ 0,5 ويتوقف عن النمو عندما ترتفع هذه النسبة فوق الـ 3 ويتفكك تماماً في ب هـ 5. كذلك تتحمل بعض الفطور والأشياء الأوساط الحمضية، وتنمو في حمض الكبريت الخفيف.

تدمر الحموض الـ د ن. أ والبروتينات. وهو ما يثير السؤال: كيف تتدبر البدائيات والجراثيم محبة الحمض نفسها وتتحمل نسبة ب هـ منخفضة حتى 0,5. جواب هذا اللغز ليس مفهوماً حقيقة. لكن يذهب الظن إلى أنها ربما تبقى على قيد الحياة بإبقائها الحمض خارجاً وأنها بالسرعة التي تدخل بها شوارد الهيدروجين خلاياها، تعود فتضخها إلى الخارج أو تحولها إلى ماء بتوحيدها مع شوارد الهدروكسيل. بيد أن البروتينات الموجودة في غشاء الخلية، كتلك التي تعمل بمثابة مضخات حمض لا بد أنها قادرة على تحمل نسبة ب هـ بمقدار 0,5، نظراً لأن سطوحها الخارجية تكون معرضة لوسط حمض ما بين الخلوي. بذلك يرجع السؤال خطوة واحدة إلى الوراء، فقط،

لماذا لا يغير الحمض طبيعة هذه البروتينات؟ لكن لا أحد يعرف بعد، رغم أن الكثيرين يحاولون الآن معرفته.

حاجات أساسية

ثمة سلسلة من بحيرات الصودا القلوية تأخذ مسارها ملتفة بالتفاف وادي «الصدع» الكبير في شرقي أفريقيا. هذه البحيرات الجميلة، وإنما غير المضيافة، مشبعة بالصودا الكاوية إذ تتسرب كربونات الصوديوم من الصخور البركانية المحيطة محيلة الماء الذي يغذي البحيرة إلى قلوي وذلك بحرق شوارد الهيدروجين لإنتاج هيدوكسيد الصوديوم (الصودا الكاوية). وفي الشمس الاستوائية الحارة، يمكن أن يكون التبخر من سطح البحيرة شديداً ويزيد كثيراً من قلويتها. لذا فإن الماء في بعض بحيرات وادي الصدع هذا غير صالح للشرب، فيما نجد بحيرات أخرى مشبعة بالصودا إلى حد تتشكل معه تبلرات بيضاء لامعة عند حافة البحيرة، فيما يكون الهواء لافحاً إلى درجة يحرق معها البلعوم ويسفح العيون. بل ثمة شروط أقسى في أماكن أخرى، فبحيرات الصودا في جنوب أفريقيا والهضبة الآندية قد تجف تماماً، مخلفة وراءها رواسب بيضاء لامعة مدهشة. وفي التشكلات الجيولوجية في غور الأردن، يكون الماء الأرضي كاوياً (ب هـ 13) إلى درجة يحلل معها الأحذية المطاطية. مع ذلك، حتى هنا تزدهر الحياة.

تترعرع أجناس كثيرة من الطحالب، الجراثيم والبدائيات في بحيرات الصودا في وادي الصدع وتقتات عليها تجمعات مزدهرة من القريدس الملحية كما تتجمع الملايين من طيور النعام (طائر طويل العنق والساقين) على شواطئ البحيرة لتتغذى على هذا القريدس ضئيل الحجم وعلى جراثيم السيانو (غاز سام سريع الاشتعال) والطحالب الحمراء وكذلك اللافقاريات التي تعيش في المياه السطحية أو في الوحل المستقر في قاع البحيرة. تتجمع هذه الطيور الجميلة على شكل مجموعات كبيرة على طول شواطئ البحيرة،

بحيث تبدو المياه الزرقاء من الجو مطرزة الحواشي باللون القرمزي. فالخضاب الكاروتيني الذي تحتويه الطحالب الحمراء والقريدسات الملحمة التي تقتات بها تبقّع ريش طائر النعام هذا وتضفي عليه لونه المميز. يعد طائر النعام واحداً من الطيور القليلة التي يمكنها أن تتحمل الشروط الكاوية لبحيرات الصودا. لكنه هو أيضاً يمكن أن يقع في مشاكل.

إن منخفضات الصودا الواسعة لبحيرة النطرون في كينيا كاوية إلى درجة لا تجرؤ معها إلاّ القلة النادرة من الحيوانات على المغامرة بالتواجد هناك. يعشش النعام، آمناً من الافتراس بأعداد كبيرة خلال الفصل الأكثر برودة. عندما تصبح السبخات القلوية الضحلة الواسعة متقطعة مبعثرة في تلك المنخفضات. لكن البحيرات لا تدوم طويلاً، فمع تقدم الفصل الجاف واشتداد الحرارة يتبخر الماء وتصبح قلوية البحيرة أكثر تركيزاً. وعند نقطة معينة، يغدو الماء غير قادر على احتواء هيدروكسيد الصوديوم المنحل كله فيترسب خارج المحلول. ويتبلر على قوائم النعام مشكلاً ما يشبه الخلاخل الثقيلة التي تزيد الطائر وزناً. لذا يتعين على الطائر أن يهجر البحيرة قبل أن يحدث هذا. فإن تأخر كثيراً وجد الطائر نفسه مقيداً بسلسلة إلى البحيرة محكوماً عليه بأن يموت ميتة مؤلمة بسبب التجفف. لكن قلما يحدث هذا بالنسبة إلى الطيور البالغة لأنها تستطيع الطيران إلى حيث السلامة، غير أنه يتعين على الفراخ والطيور الفتية التي لم يكتمل ريش طيرانها بعد أن تمشي مشياً لكي تخرج من البحيرة المتقلصة المهلكة، وتوقيت الخروج، بالنسبة إليها، هو كل شيء.

تهرّئ القلويات، شأنها شأن الحموض، اللحم والألياف. اسكب، بصورة عرضية، بعض الصودا الكاوية (هيدروكسيد الصوديوم) على ملابسك أو جلدك تدرك آثارها المؤلمة. فالجير (أوكسيد الكالسيوم) هو صخر أبيض كاوٍ. ينتج عن تسخين الحجر الكلسي ثم مزجه بالماء لإنتاج هدروكسيد الكالسيوم الأكال للغاية. في القرون الوسطى، كانت الأحواض الكلسية

تستخدم لإزالة الشعر أو الفرو عن الجلود وكذلك لدفن ضحايا الوباء. وهي لا تزال تستخدم حتى اليوم عندما تقضي الزلازل أو الكوارث الطبيعية الأخرى على أعداد كبيرة من الناس بحيث تصبح جثثهم المتعفنة خطراً على الصحة.

تتلقى محبات القلويات الشروط الكاوية بنوع من الحصانة، مؤثرة المواطن التي تكون نسبة الـ ب هـ فيها فوق 9 وهذا يثير مشكلة نظراً لأن الحمض الريبي النووي ـ الرسول الجزيئي الذي ينقل المعلومات الوراثية من الـ د.ن.أ في النواة إلى مكان تصنيع البروتين في حشوة الخلية ـ يتحطم في ب هـ 9 تقريباً. نتيجة لذلك ما من محبة قلويات تتحمل أن تسمح لنسبة الـ ب هـ داخلها بالارتفاع عالياً جداً. إنها تعمل على إبقاء هذه النسبة داخل خلاياها منخفضة وذلك بأن تأخذ بنشاط شديد شوارد الهدروجين عن المحيط كي ترفع تركيزها في الخلية إلى ما يقرب المستوى العادي (تذكر أن الـ ب هـ وشوارد الهيدروجين ذو علاقة متناسبة عكسياً).

قصة ملحية

لا تستطيع معظم المتعضيات أن تتحمل الملح، وهو ما يفسر لماذا كان الملح يستخدم كمادة حافظة قبل زمن طويل من ظهور الثلاجات أو البرادات. مع ذلك، تزدهر محبات الملح في البحار شديدة الملوحة كالبحر الميت وبحيرة الملح الكبرى في أوتاه. تنشأ بحيرات الملح عندما يتبخر مقدار من الماء أكثر من مقدار ما يدخل البحيرة من الجداول المغذية لها. لذلك، قد تنشأ مثل هذه البحيرات، في البيئات الحارة، بشكل عابر خلال شهور الصيف. ونظراً لأن الماء الملحي ثقيل ويغرق إلى الأسفل، يغلب على بحيرات الملح أن تكون أكثر ملوحة في القاع وأكثر عذوبة في الأعلى. كذلك، تكون بعض البحيرات الملحية قلوية للغاية وعلى الأحياء فيها أن تتكيف مع ملحيتها العالية وقلويتها العالية على حد سواء.

يعد البحر الميت أشد البحار ملوحة، إذ يصل محتواه من الملح إلى 28 بالمئة، أي عشرة أضعاف نسبة الملوحة في المحيط. وهي تقريباً النسبة القصوى التي يستطيع الماء فيها إبقاء الملح فيه دون أن يترسب. هذه الكثافة في ملوحة البحر الميت عالية في الحقيقة إلى درجة يمكنك معها أن تجلس في الماء وتقرأ جريدة، كما يشهد على ذلك الكثير من البطاقات البريدية وصور العطل. يقع البحر الميت، الذي يوجد في أعماق وادٍ بري على سطح الأرض، على عمق 400 م تحت سطح البحر وذلك في غور الأردن، حيث تسبب الشمس الحادة فقداناً مائياً كبيراً بفعل التبخر، إلى درجة أن ملوحته لا تنقص على الرغم من أنه يتغذى من جداول ماء عذب. والبحر الميت اسم غير مناسب لهذا البحر على الإطلاق، إذ إنه أبعد من أن يكون ميتاً. فهناك جموع كبيرة من الأشنيات، الجراثيم والبدائيات تنمو وتترعرع في المياه المالحة. معظمها حكماً من محبات الملح ولا تستطيع أن تتحمل تركيزات ملحية أقل من 15 بالمئة. كما أن بعضها ذات ألوان جميلة مدهشة، كالجراثيم محبة الملح الحمراء التي تتكاثر في بعض الأحيان إلى درجة يغدو معها البحر نفسه بلون الدم.

تميل الطبيعة، إذا ما تركت وشأنها، لأن توازن بين الأشياء[3]. اسكب كأساً من ماء البحر في كأس من الماء العذب تحصل في النهاية على محلول متجانس. ونظراً لأن الأغشية الخلوية ليست كلها غير نفّاذة تجاه الماء، فإن الخلية التي توضع في محلول ملحي عال، تتقلص وتنكمش، بينما يترك الماء الخلية لكي يوازن التركيز ما بين المحلول الداخلي والمحلول الخارجي. نتيجة لذلك، تصاب الخلية بالتجفف وهي المشكلة التي تواجهها محبات الملح. وهي المشكلة التي تتغلب عليها الكثير من هذه المحبات

(3) إنه ينتقل من حالة عالية التنظيم إلى حالة من الاضطراب الكامل. هذا المبدأ يتضمن القانون الثاني للديناميكا الحرارية، وهو القانون الذي يصف، حسب عبارة كيركود العجيبة، «ميل الأطباق الوسخة للتجمع في البالوعة».

بزيادتها للتركيز الملحي داخل خلاياها بحيث تصل إلى التركيز نفسه للوسط المحيط. بعضها الآخر، كالهالو بكتريوم ساليناريوم، مثلاً، تركز كلور البوتاسيوم بنسب عالية جداً، أكثر من 200 ضعف ما هو موجود في خلايانا. فيما يتبنى بعضها الآخر أسلوباً مختلفاً وينتج محلولات عضوية تساعد في حفظ الماء داخل خلاياها. هذه الاستراتيجية تحل، طبعاً، مشكلة لتنشأ مشكلة أخرى، إذ يتعين على خمائرها حينذاك أن تتغلب على مستويات الملح العالية بين الخلايا. كيف تفعل ذلك؟ مسألة ما تزال قيد البحث.

ليست البدائيات والجراثيم هي القاطنات الوحيدات لبحيرات الملح. إذ يمكن لبعض الأشنيات أن تعيش هناك أيضاً. إنما تلوّن الماء بظلال لامعة من الأحمر، والأزرق والأخضر. وتفيد كطعام لقشري صغير وللقريدس الملحي «أرتيميا سالينا» الذي يتحمل أيضاً شروطاً شديدة الملوحة. يعد الأرتيميا واحداً من المخلوقات متعددة الخلايا القليلة التي تعيش في بحيرة الملح الكبرى في أوتاه. وفي أوقات معينة من السنة، تتبعثر بيوضه على سطح البحيرة بما يشكل طبقة من الجزيئات البنية الدقيقة التي تتطاير مع الريح. غير أن هذه البيوض قاسية بصورة خارقة للعادة، لكونها مقاومة للجفاف والملح ويمكنها البقاء في حالة أحيائية معلقة فترة لا بأس بها من الزمن إلى أن تنبعث للحياة من جديد بغمسها في الماء.

الحياة في الصخور

هناك، طبقاً للأساطير والحكايات، وفرة من الحياة والأحياء تحت الأرض: مسوخ تنقب عن معادن ثمينة، جن وعفاريت تعيش «تحت التل»، تنينات خرافية تحرس المغاور الملأى بالكنوز. هنا أيضاً تقع مواطن «المردة» ومساكن الجبارين. كما أن كثيراً من القدامى كانوا يعتقدون أن أرواح الموتى تعيش في جوف الأرض، وذلك منطقي تماماً، نظراً لأنه لا يوجد فراغ كاف لهم جميعاً فوق الأرض. وعندما ذهب أورفيوس يبحث عن حبيبته الميتة

يوريديت، اضطر لأن يدخل مغارة واسعة تحت الأرض حيث يبسط الإله هيدز سيطرته. كما أن مملكة إله ما بين النهرين، نيرغال، وأتباعه من الأبالسة والشياطين الذين كانوا باستمرار يدمرون بعضهم بعضاً، إنما توجد تحت الأرض أيضاً.

سنوات طويلة، ظل البيولوجيون يعتقدون أن الكلام عن حياة في أعماق الأرض لا يتعدى كلام أساطير، وأن المتعضيات الحية تتحجر على عمق بضعة أمتار تحت سطح الأرض. لكن ليس هناك مثل هذا الاعتقاد بعد، إذ يمكن للمتعضيات المجهرية، وعلى نحو لا يصدق، أن تعيش عميقاً في قلب الصخور تحت سطح الأرض، حيث لا أوكسجين أو ضوء، وحيث الضغط كبير. لقد اكتشفت، أول ما اكتشفت، في عشرينيات القرن العشرين في عينات مياه أرضية جمعت من حقول نفط تقع على عمق مئات الأمتار تحت سطح الأرض. وعلى الرغم من أن هذه التقارير نبذت في البداية باعتبارها زائفة، وعزيت إلى التلوث الناجم عن عملية الحفر ذاتها، إلاَّ أن مقدرة المتعضيات المجهرية على العيش في أعماق الصخور باتت حقيقة ثابتة الآن. ففي سنة 1992، كانت شركة تكساكو تنقب عن النفط والغاز في صخور رسوبية على عمق 2,8 كم تحت حوض تيلورسڤيل في ڤرجينيا، مما وفر للعلماء الفرصة للبحث عن الحياة تحت سطح الأرض. فتبين أن الجراثيم كانت موجودة، حتى مع استخدام شروط تعقيم نموذجية لمنع التلوث بالمتعضيات السطحية. الأكثر من ذلك، أنها كانت أجناساً متباينة سابقاً إلى حد كبير ولم تكن تحتاج للأوكسجين بل تستخدم بدلاً منه المنغنيز، الحديد والكبريت لأكسدة المادة العضوية القديمة في الصخور القريبة من أجل الطاقة. كذلك كانت تتحمل الحرارة. إذ إن درجة حرارة الصخور التي كانت تعشش فيها تزيد عن 60° مئوية. فسمي أحد هذه الأجناس باسم «باسيلوس إنفيرنوس» وذلك على اسم موطنه الجهنمي الحار تحت الأرض.

اليوم، تم اكتشاف المتعضيات المجهرية عميقاً جداً تحت الأرض وفي قاع المحيطات سواء في الصخور الرسوبية أو الصخور البركانية. لقد استقرت الصخور الرسوبية، بادئ ذي بدء، على سطح الأرض ومن ثم غاصت نحو الأسفل. لهذا يحتمل أن تكون المتعضيات المجهرية الموجودة بأنواعها في هذه الصخور من عمر الصخور ذاتها. وقد احتجزت هناك منذ أن تشكلت الصخور قبل ملايين السنين. هذا النوع من الصخور يكون منخرماً بمسام دقيقة، وبذلك تعيش المتعضيات المجهرية في كل مكان منها، لكن بكثافة منخفضة. إذ حين تستنبت في مختبر نجد أن أقل من عشرة جراثيم توجد في كل غرام من الصخر[4]. وذلك أقل بكثير من المليار جرثومة التي تعيش في كل غرام من تراب الحديقة. تتشكل الصخور البركانية، كالغرانيت والبازلت، من تصلب الحمم البركانية المنصهرة. ونظراً لأن هذه الصخور تندمج أثناء تصلبها، فإن معظم الجراثيم توجد داخل شقوق دقيقة، لكن في بعض الحالات، تصنع الجراثيم أنفاقاً لنفسها وذلك بحل الصخر ذاته. ولا بد أن المتعضيات المجهرية الموجودة داخل الصخور البركانية قد وصلت كلها في الفترة التي كانت الصخور فيها تبرد وقد حملتها إلى هناك المياه التي ظلت تتسرب ببطء، نازلة من سطح الأرض، على مدى آلاف السنين.

في المختبر، نمت الجراثيم المعزولة من عينات أخذت من حوض تيلورسفيل، نمواً بطيئاً للغاية. لقد قدر توليس أونستوت وزملاؤه من جامعة برينستون، بعد أن حسبوا أثراً لنفس الجرثومي مع الصخور التي تعيش داخلها، أن متوسط زمن التضاعف لتجمع جرثومي في بيئته الطبيعية كان بطيئاً للغاية (عدة آلاف من السنين). إذ يبدو أن الجراثيم، وهي في أعماق

(4) طبعاً، يمكن أن تكون شروط المختبر غير مثالية، مما يؤدي إلى الانخفاض في تقدير الأعداد الجرثومية.

«باسيلوس إنفيرنوس»، جرثوم من الجحيم، يعيش على عمق 2,7 كم تحت سطح الأرض حيث لا أوكسجين، ولا غذاء عضوي، والضغط عدة مئات من وحدات الضغط الجوي ودرجة الحرارة تربو على 60° مئوية.

الصخور، تعيش فقط أكثر مما تتكاثر. ونظراً لأن معدل التطور إنما يمليه معدل التكاثر، فربما ظلت هذه الأجناس الجرثومية دون تغير وإلى حد كبير ملايين السنين، مدفونة هناك، نظراً لأن الصخور ترصفت حيث هي منذ 80 مليون سنة على الأقل. ولهذا السبب بدت رؤية جول ڤيرن عن الأجناس البدائية التي ما تزال متعلقة بالوجود في أحشاء الأرض غير بعيدة كثيراً عن التحقيق. لعله كان على خطأ فقط في مسألة المقياس، لكن فكرته عن وجود مستحاثات حية في أعماق الأرض تنم عن بصيرة ثاقبة إلى درجة ملحوظة.

إن إحدى المعضلات التي تواجه الحياة تحت الأرض هي أن المادة العضوية نادرة للغاية، ففي لب الصخر المأخوذ من الصخور البازلتية في نهر كولومبيا، لا يوجد إلاّ القليل من المادة العضوية التي تدعم الحياة. مع ذلك ثمة وفرة مدهشة من الجراثيم. لقد تبين أن الجراثيم تتغذى على الصخور

ذاتها. فمع تجويف الصخرة، ينطلق الهيدروجين الذي تستخدمه الجراثيم لحل ثاني أوسيد الفحم وتحويله إلى كتلة حيوية، منتجة الميتان كفضلات. تعوى تجوية الصخور عادة إلى العمليات الكيماوية التي تحل ببطء الطبقات السطحية. مع ذلك، أشار بعض العلماء إلى أنه يمكن للمتعضيات المجهرية ذاتها أن تلعب دوراً هاماً في التجوية، قاضمة برفق وعلى مدى الدهور سطح الصخور، مستخلصة المعادن ومرسبة العناصر في قشرة الأرض.

تعد مناجم الذهب في جنوب أفريقيا الأعمق في الأرض إذ تقع على عمق 3,5 كم تحت سطح الأرض حيث يبلغ الضغط داخل الصخرة 400 وحدة جوية والحرارة 60° مئوية. مع ذلك ثمة أيضاً، بدائيات تنمو وتترعرع طبقاً لما وجده توليس أونستوت وتوم كيفت (من معهد نيومكسيكو للتعدين والتكنولوجيا) عندما زارا تلك المناجم سنة 1997. لا يتوقف العمق النهائي الذي يمكن أن توجد فيه الحياة على وزن الصخور في الأعلى، ذلك أن المتعضيات وحيدة الخلية يمكن أن تقاوم الضغوط العالية بحصانة نسبية، بل على درجة حرارة الصخور التي تعيش داخلها. ترتفع الحرارة كلما اتجهنا نحو مركز الأرض ـ بمقدار 11° مئوية كل كيلومتر واحد تقريباً ـ وذلك بسبب الحرارة المتولدة عن التفاعلات الإشعاعية في لب الكوكب، لهذا يتعين على المتعضيات قاطنة الأعماق أن تكون من محبات الحرارة المفرطة. وإذا افترضنا أن 120° مئوية هي الحد الأعلى للحياة، فسيقتصر وجود البدائيات على الخمسة كيلومترات العليا أو نحو ذلك من قشرة الأرض.

ساكنات الكهوف

لعل الجراثيم المحتبسة داخل الصخور ليست بالغريبة حتى، إذا ما قورنت بالمنظومات البيئية الفريدة من نوعها المعتمدة أساساً على الكبريت والموجودة في الكهوف. لقد تشكلت كهوف موڤيل في رومانيا قبل أكثر من 5,5 مليون سنة، ثم سدت الصخور المتساقطة بداخلها. وهكذا، بانعزالها

عن العالم الخارجي، وقد سدت مخارجها، سرعان ما استهلكت المتعضيات الموجودة داخلها كل ما كان فيها من أوكسجين تقريباً، لذا لا يوجد في الهواء المحتجز الآن داخل الكهف وفوق الماء إلاّ نسبة ضئيلة للغاية من الأوكسجين لكن عالية من الميتان، ثاني أوكسيد الفحم وكبريتيد الهيدروجين. على الرغم من أنه ما من مغذيات عضوية تدخل من الخارج إلى الكهف. وعلى الرغم من أن الماء البركاني المحتوي على كبريتيد الهيدروجين المنحل يتسرب عبر الكهف شاقاً طريقه إلى البحر الأسود، فإنه يأتي من خزان تحت الأرض تشكل قبل آلاف السنين (خلافاً للماء الأرضي في بقية أراضي رومانيا الذي لا يحتوي أي آثار لنشاط إشعاعي). مع ذلك، يحوي الكهف منظومة بيئية مزدهرة. هذا العالم الفريد من نوعه تدعمه طبقات جرثومية رقيقة تغطي جدران الكهف بمادة غروية لزجة وتشكل حصراً من الطفاوة على سطح الماء. تهضم الجراثيم الجدران الكلسية للكهف كي تحصل على ما تحتاجه من الفحم وتستمد طاقتها بأكسدة كبريتيد الهيدروجين. إنها تعمل ذلك التجمع الغريب من اللافقاريات كالعنكبوت الشاف مثلاً، ألفية الأقدام، حمار القبان، العلق ودود الأرض. تأكل القواقع ودود الأرض الحصر الميكروبية لتصبح، هي بدورها، طعاماً للعناكب والعلق.

يمكن الوصول إلى كهوف موثيل فقط بالغوص عبر ممرات مغمورة بالماء، لكن توجد في كل مكان منها منظومات بيئية تعتمد على الكبريت، أسهل منالاً ومماثلة. في جنوب المكسيك يقع كهف فيلا لوز، وهو متاهة من الممرات والكهوف التي تتخلل الصخور الكلسية، وتنبجس من أرضها الينابيع محملة بكبريتيد الهيدروجين والحجر الكلسي، صانعة بركاً كالحليب. يملأ كبريتيد الهيدروجين الهواء برائحة البيض العفن، كما يتكثف على جدران الكهف ليشكل حمض الكبريت الذي يحلّل الصخور ويحرق جلد الزائر غير اليقظ الذي يلامس الجدار. لكن برغم هذا الوسط المعادي

ظاهرياً، فإن الكهف يعج بالحياة. إذ تغطي المادة الجرثومية الغروية والمخاطية الصخور وتتساقط على شكل خيوط هلامية من السقف، مشكلة نوازل متمايلة حية تُنعت «بالخراطيم». في تلك البرك الحليبية الضحلة تتجمع الأسماك أسراباً أسراباً، كما تجثم العناكب فوق الصخور فيما تتراقص حشود من الذباب الصغير في الهواء. هذه المنظومة البيئية، شأنها شأن كهف موڤيل، تعتمد أساساً على الجراثيم ذات القدرة على التركيب الكيماوي التي تحتُّ جدران الكهف وتأكل منها.

الحياة من دون أوكسجين

تستطيع القلة القليلة من الحيوانات متعددة الخلايا أن تعيش من دون أوكسجين. لكن الكثير من البدائيات والجراثيم لا تكون قادرة على العيش من دون أوكسجين فحسب، بل هي تجده فعلياً ساماً إلى درجة لا تستطيع أن تتحمل أي تعرض لهذا الغاز ولو لفترة قصيرة، وهي مضطرة لأن تعيش في جو خال من الأوكسجين. مثل هذه البيئات اللاهوائية كثيرة، إذ يمكن أن توجد في راسب الطين الذي يغطي قيعان البحيرات والمحيطات، في جذوع الأشجار، في مناطق معالجة المجارير بل حتى في أحشاء الحيوانات. تستخدم بعض هذه المتعضيات الهيدروجين كمصدر للطاقة، وثاني أوكسيد الفحم كمصدر فحمي للنمو، ينتج عن العملية مقادير كبيرة من الميتان. نتيجة لذلك تعرف باسم مولدات الميتان. كثير منها بدائيات تعيش في الجو وتنتمي لعائلة الميتانوكوكس. ليست قدرة البقر على أكل العشب فطرية غريزية بل إنها تعتمد على وجود الميتانوكوكس الذي ينجم عن العملية فيسهم إسهاماً رئيسياً في تسخين كوكبنا، نظراً لأن، مثل ثاني أوكسيد الفحم، يعمل عمل غاز البيوت الزجاجية.

اليوم، يوجد الأوكسجين بوفرة في الجو، لكن لم تكن الحالة هكذا دائماً. لقد كان الجو في البدايات يحتوي قليلاً من الأوكسجين أو لا شيء

منه البتة، بل كان، بشكل رئيسي يتكون، من ثاني أوكسيد الفحم والآزوت. أمّا الأوكسجين فقد ينتج كفضلات عن عمليات التركيب الضوئي التي تقوم بها المتعضيات وحيدة الخلية، أو جراثيم السيانو التي تطورت قبل نحو ثلاثة ملايين سنة، أي في العصر الذي كانت الحياة قد تأسست فيه جيداً من قبل (إذ يذهب الظن إلى أن وحيدات الخلية الأولى قد نشأت قبل نحو 3,8 بلايين سنة). هذه الجراثيم السيانية كانت تستخدم الطاقة الشمسية لتحويل الماء وثاني أوكسيد الفحم إلى مائيات الفحم. لينجم عن هذه العملية الأوكسجين كناتج ثانوي وبذلك صنع جو الأرض اليوم. كذلك بدلت تركيب المحيط. ذلك أن البحار الأولى كانت تحوي كميات كبيرة من الحديد، والأوكسجين الناتج عن الجراثيم السيانية كان يستهلكه بصورة أولية من خلال أكسدة الحديد المنحل، مما جعل هذا يترسب خارجاً من المحلول ويشكل رقاقة من أوكسيد الحديد في قاع المحيط بدأت قبل نحو 2,8 بليوني سنة وتستخدم الآن لتأريخ نشوء الجراثيم السيانية. بعد نحو نصف بليون سنة، استنفد الموجود من الحديد وبدأ مستوى الأوكسجين في الجو بالتزايد، واصلاً إلى مستواه الحالي قبل 0,8 بليون سنة تقريباً. ومن المفيد أن نفكر أن متعضية وحيدة الخلية مسؤولة عما يعرف بالتلوث بأكبر مقياس.

كان الأوكسجين ساماً (وما يزال) لمعظم أشكال الحياة، بل إن الكثير من هذه الأشكال انقرضت مع الارتفاع التدريجي لنسبة الأوكسجين في الجو. أمّا تلك التي بقيت على قيد الحياة فقد طورت خططاً تحمي بها نفسها من شوارد الأوكسجين شديدة التفاعل. إنها لمفارقة، أن الأوكسجين، الذي يعد أساسياً ليس فقط لبقاء الإنسان على ظهر هذا الكوكب بل لكل ما عليه من حياة تقريباً، هو أيضاً سم قاتل. تستخدم المتعضيات الصغيرة ما بين الخلايا المعروفة بذوات الانقسام الفتيلي، الأوكسجين لصنع الطاقة الكيماوية التي تمد خلايانا بالقوة. مع ذلك، يمسك الأوكسجين أحياناً بإلكترون زائد ليصبح «ذا جذر حر». وذات الجذور الحرة هذه شديدة

التفاعل، تندفع هنا وهناك في الخلية مسببة الأذى والتعطيل، نظراً لأن إلكترونها الإضافي يحتاج إلى شريك ولسوف يقوم باختطاف واحد من أي جزيء قريب. وهكذا فإن الأغشية، البروتينات، الدهون، الـ د.ن.أ، كلها يمكن أن تكون ألعوبة بيد ذات الجذور الحرة هذه. ينتج عن ذلك تفاعل متسلسل، إذ رغم أن ذا الجذر الحر الأصلي، يستقر باختلاسه لإلكترون من سواه، إلاّ أنه يخلق واحداً جديداً في العملية. وقد تتلف كثير من الجزيئات بهذه الطريقة قبل أن تتمكن آليات الدفاع الخلوي بصورة نهائية من تدمير الجذريات الحرة الشاردة. والواقع أن الجذريات الحرة هي أحد الأسباب الرئيسية لموت الخلية. كذلك، تجعل الأكسدة ـ وهي قدرة الأوكسجين على اختطاف الإلكترونيات من جزيئات أخرى ـ الحديد يصدأ والنيران تشتعل والشحوم تفسد وتزنخ رائحتها.

إن جوزيف پريستلي (1733 ـ 1804) هو الذي اكتشف الأوكسجين حين كان يفحص الغاز المنطلق وهو يسخن أوكسيد الزئبق. لقد لاحظ أن «الشمعة كانت تحترق في هذا الجو بلهب شديد على نحو ملحوظ» كما اكتشف آثار ذلك الغاز على الفئران بوضعها في مطربان جرسي صغير مليء بغاز الأوكسجين فوجد أنه حينما يعرض الفأر لهواء عادي يموت خلال ربع ساعة، أمّا الفأر الذي يعرض «للهواء النقي»، كما دعاه، فإنه يظل حياً أكثر من نصف ساعة زيادة. راح پريستلي بسر اكتشافه إلى الكيميائي الفرنسي لافوازيه (1743 ـ 1794) وهو الذي سماه فيما بعد غاز الأوكسجين. إنه الاسم المأخوذ من الإغريقية ويعني «الحمض سابقاً»، ذلك أن لافوازيه كان يعتقد، خطأ كما تبين فيما بعد، أنه عنصر من عناصر كل حمض. ولسوء حظ العلم (وحظ لافوازيه نفسه) أنه لاقى حتفه باكراً على يد «السيدة المقصلة».

كان پريستلي ثاقب النظرة وكان السبّاق في استخدام الأوكسجين لدعم الحياة. كما كان يناقش بأن ذلك الغاز يمكن استخدامه «لكي يتم وبشكل

مقبول، تعديل جو غرفة فاسد حشر فيها عدد كبير من الناس... بحيث يصبح، بعد أن كان فاسداً وغير صحي، عليلاً مباشرة وصحياً». كذلك خمن پريستلي أن الأوكسجين يمكن أن يكون «مفيداً على نحو خاص للرئتين في حالات مرضية معينة، عندما لا يكون الهواء العادي كافياً لتنفس المرء». غالباً ما كان العلماء الأوائل يجربون الشيء بأنفسهم ولم يكن پريستلي الاستثناء. لقد وجد أن ليس لاستنشاق الأوكسجين آثار سلبية فتساءل في ما إذا كان «ذلك الهواء النقي يمكن أن يصبح مادة دارجة من مواد الترف». واليوم يباع الأوكسجين المعلب في شوارع طوكيو ليعطي إنعاشاً سريعاً لأولئك الذين غلبهم دخان المدينة السام.

مع ذلك، يمكن لتنفس الأوكسجين النقي بكميات، أن يكون خطراً. ففي خمسينيات القرن العشرين، أعطي أطفال ناقصو النضج أوكسجيناً نقياً كي يتنفسوا لاعتقاد الأطباء أنه قد يساعد في بقائهم على قيد الحياة. لكن لسوء الحظ، أن التركيز العالي للأوكسجين في الحاضنة يتسبب في تقلص الأوعية الدموية الدقيقة في العيون. وبالتالي، ظهر لدى هؤلاء الأطفال نسيج متليف خلف عيونهم وفقدوا البصر. لكن، لن يكون ثمة خطر إذا ما ظلت نسبة الأوكسجين دون الأربعين بالمئة. والأوكسجين النقي ما يزال يستخدم أحياناً من قبل الغواصين ورواد الفضاء. لكن لا بد في هذه الحالة من اتخاذ احتياطات خاصة كما سبق وذكرنا في الفصل الثاني والسادس.

كائنات باردة

يمكن لكثير من الحيوانات، بما في ذلك البشر، أن تتحمل، وخلافاً للحرارة، البرد القارس. لقد ألقينا نظرة على آليات تكيفها في الفصل الرابع. هنا سنلقي نظرة على محبات الحدود القصوى تلك العضويات التي تعيش في شروط قريبة من التجمد وتلك التي تستطيع أن تتحمل التجمد.

لا يتلف البرد بحد ذاته البروتينات. بل يبطئ فقط المعدل الذي تجري

فيه التفاعلات الكيماوية الحيوية. نتيجة ذلك، فإن معظم العضويات تتوقف عن التكاثر أو حتى النمو (بالمعنى الأدق للكلمة) في درجة حرارة أدنى قليلاً من الصفر المئوي. يستمر النشاط الاستقلابي لكن بمعدل منخفض، ولقد سجل نشاط استقلابي لأشنة في القطب الجنوبي بدرجة الحرارة ـ 27° مئوية، لكن ربما يتوقف النشاط الاستقلابي تماماً بدرجة الحرارة ـ 80° مئوية تقريباً، وحينذاك تكون المتعضية في حالة سبات. يمكن اختزان معظم الخلايا، بما في ذلك خلايا البشر، بدرجة حرارة الآزوت السائل (ـ 196° مئوية) أمّا أدنى درجة يمكن تبريد الخلايا بها وبقائها حية إذا دفئت من جديد فهي غير معروفة، لكن يحتمل أن تكون أدنى حتى. مع ذلك لا بد من العناية الشديدة إذا أردنا أن نبرد الحيوانات والخلايا إلى درجات حرارة أقل من الصفر المئوي، وذلك أن التجمد، على الرغم من أن البرد بحد ذاته لا يؤذي، هو مسألة مختلفة تماماً.

محبات البرد هي متعضيات تحب البرد وتعيش في المياه وشيكة التجمد. إنما تتواجد في أعماق المحيطات حيث درجة الحرارة ثابتة نسبياً، 1 ـ 3° مئوية وهي تعيش داخل وتحت العظاء الجليدي للقطب. بل، إنها تنمو بسعادة في الثلاجات المنزلية. تقطن تجمعات محبات البرد كلها في جليد القطب الجنوبي، عائشة في الطبقات الرقيقة، من الماء غير المتجمد داخل الجليد. إنها تتضمن وفرة من الجراثيم، البدائيات، الأشينات والأجناس ثنائية الذرات، كأشنة الثلج «كلاميدوموناس نيڤاليس» التي تكون حقول الثلج بظلال من اللون القرمزي الخفيف والأخضر اللامع، وكذلك الجرثوم «پولارومونـاس ڤاكيولاتا» الذي يتميز بإيثاره درجة الحرارة 4 مئوية ويكف عن التكاثر إذا زادت الحرارة عن 1,2 مئوية، لكن مثل هذه التجمعات ليست خالية من حياة متعددات الخلايا. لقد سجل شارل فيشر، وهو يتجول على طول قاع المحيط بسفينة غطاسة، وعلى أعماق تصل إلى نحو 550 م، وجود بنية أشبه بالفطر متعددة الألوان وغريبة، قطرها نحو

مترين وتنبثق من القاع. لقد كانت تزحف مع ديدان بطول بوصة واحدة. بعد التقصي تبين أن البنية تتكون من مزيج أشبه بالجليد من الماء والميتان (الغاز الذي تسرب خارجاً من فوهات في قاع المحيط) والتجمع المزدهر من الجراثيم والبدائيات التي تتغذى على الميتان توفر مادة العيش للديدان.

يقع كثير من البحيرات ذات المياه العذبة عميقاً تحت الغطاء الجليدي للقطب الجنوبي، وتمنع مياهها من التجمد بسبب التسخين الجيولوجي الحراري. أكبر هذه البحيرات بحيرة ڤستوك التي تقع تحت سطح الجليد بنحو 4 كم ويقدر طولها بـ 200 كم وعرضها بـ 50 كم وعمقها بـ 500 م أي تقريباً بحجم بحيرة أونتاريو وأعمق منها بنحو الضعف. قبل نحو 40 مليون سنة، بدأ الغطاء الجليدي بالانغلاق على القطب الجنوبي. لذا فإن أي حياة موجودة الآن في بحيرة ڤستوك ربما أحكم الإغلاق عليها منذ عدة ملايين من السنين، مما يجعل البحيرة وعاء زمنياً قد يحتوي متعضيات مجهرية فريدة من نوعها ولديها معلومات عن تاريخ هذا الكوكب. بيد أن توق العلماء الشديد لاستكشاف هذه البحيرات تحت الجليدية واجه صعوبة، وهي أن من المتعذر أخذ عينات من الماء دون أن يتلوث بحياة السطح. هذه المخاوف أوقفت برنامج حفر لب الجليد سنة 1966. تماماً قبل 150 متراً فقط من وصول المسبار إلى بحيرة ڤستوك. وما يزال الباحثون في الوقت الحاضر يناقشون ما هي أفضل الطرق لمعالجة تلك المعضلة.

يعد البرد حافظاً عظيماً لأن التفاعلات الكيماحيوية تتباطأ تباطؤاً شديداً. والهواء الجاف البارد للقطب الجنوبي يعني أن المواد التي تركها القبطان سكوت وفريقه في كوخهم سنة 1904 ما تزال سليمة تماماً لم تفسد. لقد وجدت ماموثات متجمدة عميقاً في القطب الشمالي، وقد حفظت أجسامها تماماً إلى درجة أن لحمها كان ما يزال صالحاً للأكل برغم مرور أكثر من ثلاثين ألف سنة على موتها. مثل هذه النسج المتجمدة تقدم وثيقة حيوية وتاريخية لا تقدر بثمن. السبب في بقائها على تلك الحالة هو أن

الجراثيم التي تفكّك اللحم والطعام وتفسدهما لا تستطيع، بكل بساطة، أن تنمو في درجات البرودة الشديدة نظراً لافتقاد الماء السائل.

الحياة في الثلاجة

إن التجمد، وكما يعرف كل جنائني، شيء مهلك بالنسبة إلى الكثير من النباتات. فصقيع أواخر الربيع يقضي على نمو البراعم في الأحواض كما أن أول صقيع قاس في الشتاء يمكن أن يحول أزهار الصيف إلى نوع من الهشيم. كذلك فإن معظم الحيوانات لا تستطيع تحمل التجمد.

إن للتقصي في آثار التجمد على الحياة تاريخاً طويلاً، فقد لاحظ هنري پاور، سنة 1663، أنه حينما وضع إناء خل يحوي «علقات دقيقة» في مزيج من الجليد والملح، فإن السائل تجمد والعلقات «تبلرت». لكن عندما سمح للخل المتجمد بأن يذوب من جديد، فإن العلقات عادت من جديد «تتراقص وتنط هنا وهناك حية كما كانت من قبل». كذلك فتن روبرت بويل بآثار التجمد وحاول أن يجمد الضفادع والسمك لكن بنجاح محدود. التجارب الأولى على الحشرات قام بها ريامور، وهو عالم فرنسي صنع أول موازين الحرارة، لذلك كان قادراً على توصيف ملاحظاته. لقد لاحظ أن هناك جنساً معروفاً من اليسروع (يرقانة الفراشة) بقي على قيد الحياة رغم تجميده بدرجة حرارة ـ 20 مئوية، في حين لم يتحمل نوع آخر، لا اسم له، إلاّ درجة الحرارة ـ 11 مئوية. كذلك اكتشف أن دمها يتجمد بدرجات حرارة مختلفة، مما يجعلها شبيهة بالبراندي ذات نسب الكحول المختلفة نظراً لأن الأقوى كحولاً يكون أقل قابلية للتجمد من الأضعف كحولاً. من هنا نشأت الفكرة الأولى بأن تحمل التجمد ربما يتوقف على خصائص كيميائية ـ نفسية محددة لدم الحشرة، مما مهد للدراسات الحديثة التي توصلت إلى تحديد هوية مضادات التجمد الطبيعية ذات العلاقة.

إن ظهور العصر الذهبي لاستكشاف الجبال والقطبين حمل معه الكثير

من الحكايات الأكثر خرافية عن التجمد والعودة إلى الحياة. إحدى تلك الحكايات الأكثر غرابة هي ما سجله تيرنر، سنة 1886، الذي وصف كيف أن الكلاب، التي أطعموها سمكاً أسود ألاسكياً أخرج من قلب الكتل الجليدية، عادت وتقيأت سمكاً حياً بعد فترة وجيزة من ذلك فدفء المعدة أنهى تجمد السمكة وأعادها من جديد إلى الحياة. وعلى الرغم من أنه قد يكون من الصعب تصديق هذه القصة، إلاّ أنه ما من أحد يضع موضع الشك مصداقية المكتشف البريطاني جون فرانكلين، الذي سجل، خلال رحلة إلى بحار القطب الشمالي، أن سمكة كارب كانت قد جمدت ستاً وثلاثين ساعة راحت تنط وتتواثب بعنف شديد حين دفئت من جديد. لكن، رغم قصص هؤلاء الرحالة، فإن التجمد يقتل معظم الخلايا.

يحدث التلف بسبب الصقيع لأن بلورات جليدية تتشكل داخل الخلايا وفيما بينها. وإبر الجليد الحادة كموسى الحلاقة تثقب الغشاء الرقيق الذي يحيط بكل خلية، مما يسمح لمحتويات الخلية بالتسرب خارجاً. كما أن الأغشية الخلوية الداخلية التي تقسم الخلية إلى حجيرات محددة تتمزق بحيث أن محتويات المتعضيات تختلط ببعضها بعضاً والتفاعلات الكيما ـ حيوية تتعطل. إن الجليد هو تبلر الماء النقي لكن المحاليل الحيوية تحوي الكثير من الأملاح، لذا، عندما يتشكل الجليد في محلول خارج الخلية يزداد تركيز الملح في المحلول الذي يبقى غير متجمد، مما يخلق قوة ارتشاح تسحب الماء من الخلايا إلى الخارج، الأمر الذي يجعلها تنكمش ويزيد من تركيز الملح داخلها. يزيد تشكل الجليد داخل الخلية من تركيز الملح في المحلول الموجود داخل الخلية مباشرة، مما يؤدي إلى التجفف الذي يتلف غشاء الخلية وبروتيناتها. كذلك يمكن للتجمد أن يمزق الرابط بين الخلايا ويتلف الشعريات التي تزودها بالدم مما يؤدي إلى الموت بسبب نقصان الأوكسجين والغذاء. وكما وصفنا في الفصل الرابع، يمكن لقضمة الصقيع أن تسبب ضرراً شديداً للإنسان. مع ذلك، ثمة بعض الحيوانات والنباتات

التي لا يؤذيها البرد حتى بدرجات التجمد.

تستخدم المتعضيات متحملة التجمد خطتين لمكافحة البرد. فبعضها تخفض درجة الحرارة التي تتشكل فيها البلورات الجليدية وذلك بتركيب مضادات تجمد طبيعية، فيما تتجمد أخريات بشكل تام، هكذا بكل بساطة وعلى نحو يثير الملاحظة.

يحوي دم الكثير من الحشرات والأسماك مواد طبيعية مانعة للتجمد تقوم بمنع تجمد سوائل الجسم بدرجات حرارة حتى دون الصفر (وهي الظاهرة المعروفة باسم التبرد الزائد). فالسمكة المفلطحة الشتوية «بسودوبلورونيكتيس أمريكانوس»، مثلاً، تقوم بتركيب سبعة بروتينات مانعة للتجمد على الأقل عندما تهبط درجة الحرارة إلى نحو 4 مئوية وسوسة الدقيق الصفراء المعروفة «تنبريو موليتور» التي تستخدم كطعم من قبل صيادي السمك تحتوي على مانع تجمد أقوى بكثير أيضاً. تخفض البروتينات مانعة التجمد درجة تجمد الماء بانضمامها إلى سطح البلورة الجليدية المتشكل والحيلولة دون نموها، لكن دون أن يكون لها تأثير على درجة ذوبان الجليد الذي تشكل من قبل. تستخدم بعض الحشرات، التي تتحمل درجات حرارة أدنى حتى، أنواعاً من الكحول ذات الوزن الجزئي المنخفض، كالغليسرول مثلاً، مانعات للتجمد. تعمل مانعات التجمد هذه وفق المبدأ نفسه الذي يعمل به غليكول الإثلين الذي يضاف إلى مشعات السيارات في الشتاء في أوروبا الشمالية لمنع الماء البارد من التجمد. كما أن نسبته قد تصل إلى 20 بالمئة من سوائل الجسم لدى عثة العفص (نوع من الدود) يمكن أن يكون الغليسرول الذي يتيح للحشرة إمكانية أن تتعرض للبرد حتى درجة الحرارة ـ 38 مئوية دون أن تتجمد.

مع ذلك، يمكن أن يكون التبرد الشديد هذا خطراً، إذ تتجمد الأنسجة في الحال، إذا ما انخفضت درجة الحرارة دون درجة تحملها الأمر الذي قد

يكون مميتاً. والتجمد الخاطف يمكن أن تعجل به البلورات الجليدية المتكاثرة عبر الجلد أو بالتماس مع العناصر المشكلة لنوى الجليد التي توفر قاعدة لتتشكل البلورة الجليدية عليها (كما قد يحدث إذا ما أصيب الجلد بالتلف). كذلك تحيط بعض ديدان العث والفراش أنفسها بشرانق حريرية واقية للحيلولة دون أن يصبح جلدها على تماس مباشر مع الجليد.

تتبنى حيوانات أخرى خطة بديلة وتتجمد تجمداً خالصاً في الشتاء. فيسروعة الدب الصوفية (جينايفورا غرونلانديكا) التي تعيش في أعالي القطب الشمالي تقضي القسم الأعظم من السنة ـ غالباً ما تصل إلى عشرة أشهر ـ وهي متجمدة بشكل خالص في درجة حرارة ـ 50 مئوية أو أدنى. والسمندل السيبري، «سلمندريلا كيسيرلنجيي»، مشهور بشيء مماثل أيضاً. إنه يعيش في أعالي الدائرة القطبية حيث كل شيء، ما عدا الأمتار القليلة العليا من التربة، متجمد دائماً كما أن الطبقات السطحية تتجمد في الشتاء أيضاً. يجري السمندل البالغ متجولاً هنا وهناك وبكل نشاط، في فصل الصيف القطبي القصير، كما يضع بيوضه في البرك ضحلة المياه والبرك الطينية التي تتبعثر هنا وهناك في سهوب التاندرا. لكن ما إن يحل الشتاء حتى يسبت في مراقد طحلية قريبة من البرك حيث يمكن أن تهبط درجة الحرارة إلى ـ 35 مئوية. لقد وجدت سمادل متجمدة كأي شيء متصلب في قلب الجليد وبعضه يصل إلى 14 متراً تحت سطح التاندرا. مع ذلك حين يجيء الربيع وتذوب ثلوج التاندرا، يصل الدفء إلى السمندل فينهض ويجري خارجاً. كذلك تتجمد أنواع كثيرة من الضفادع وأفعى الغارتر والسلاحف الملونة حديثة الفقس تجمداً خالصاً في الشتاء وعلى علماء الحيوان الذين يحاولون أن يفهموا كيف تفعل تلك الحيوانات ذلك أن يحفظوا ودائعهم المختارة في ثلاجة.

بغية تحمل التجمد، لا بد من إبقاء البلورات الجليدية صغيرة لضمان عدم ثقبها لأغشية الخلية. يقوم بهذا العمل بروتين متخصص يعمل كعنصر مشكل لنواة الجليد يتركب مع انخفاض درجة الحرارة في الخريف. تتناثر

هذه البروتينات في التشكلات البلورية الجليدية، صانعة آلافاً من البلورات الجليدية الدقيقة في السوائل خارج الخلايا. تنزع البلورات الصغيرة عادة لأن تتشكل في بلورات أكبر مع الزمن. كما يلاحظ ذلك في المثلجات، التي تجمد فترات طويلة من الزمن. ولمنع هذه التبلرات من جديد، تستخدم الحيوانات بروتينات أخرى مانعة للتجمد تثبت الجليدية الصغيرة، غير الضارة، على حالها، وتمنعها من أن تكبر. بذلك يكون التجمد عملية بطيئة قابلة للتحكم تتيح للخلية إمكانية التكيف تدريجياً مع التغيرات الطارئة.

غير أن هناك مشكلة جدية أخرى تواجه المخلوقات التي تتجمد بشكل خالص هي أن ماء الخلية يفقد، والخلية نفسها تنكمش وتتقلص عندما يتجمد السائل خارج الخلية، الأمر الذي قد يغير طبيعة غشاء الخلية ويتلف بروتيناتها. من هنا فإن تجمد أكثر من 65 بالمئة من ماء الجسم يكون مميتاً عادة. تمنع الحيوانات متحملة التجمد هذه التغيرات في حجم الخليّة بزيادتها لتركيز السكريات أو الحموض الأمينية داخل خلاياها. تخفض هذه المواد الواقية من البرد الشديد من تشكل الجليد وتنقص الفاقد المائي من الخلية وتثبت غشاء الخلية بحيث يكون قادراً على مقاومة المزيد من التقلص دون تلف. إنها تتضمن الغليسرول وسكريات مثل التريهالوز (لدى الحشرات) والغلوكوز (لدى الضفادع).

إن التذوب، شأنه شأن التجمد، عملية قابلة للتحكم. فعندما تتذوب الضفادع المتجمدة، مثلاً، يبدأ ذلك التذوب بالقلب أولاً مما يتيح الإمكانية لاستعادة الوظائف الحيوية وابتدائها في الحال ثم تسريع عملية التذوب بتسهيل دوران الدم الدافئ.

أحيائية معلقة

لقد أتاحت الإنجازات التكنولوجية الحديثة الإمكانية لأن تتبرد خلايا ونسج الثدييات إلى درجات حرارة منخفضة للغاية بسهولة نسبية. فانخفاض

درجة الحرارة يبطئ الاستقلاب الخلوي بحيث يؤدي إلى حالة من الأحيائية المعلقة ويتيح إمكانية الاحتفاظ بالخلايا فترات من الزمن أطول بكثير من عمرها الطبيعي. وبقدر ما تكون درجة الحرارة أخفض، يتباطأ معدل الاستقلاب أكثر، وبالتالي يمكن إعالة الخلايا ودعمها فترة أطول. ولكي نحد من التخفف أو تشكل البلورات الجليدية، لا بد من التحكم بدقة بمعدل التجمد والتذوب. كذلك لا بد من إضافة واقيات التجمد للمحلول الذي تتواجد فيه الخلايا. يستخدم الغليسرول عموماً كواق من التجمد نظراً لأن بإمكانه أن يمنع تحول الماء إلى جليد حتى في درجة حرارة الآزوت السائل.

تعد العلاجم (ضفادع الطين) حفارة جيدة وتقضي الشتاء تحت خط الصقيع ساكنة في جحورها. أمّا الضفادع العادية فلا تكون قادرة على الحفر، لذا تسبت سباتها الشتوي في طبقة الأوراق، المتوضعة على أرض الغابة حيث تهبط درجة الحرارة إلى ـ 8 مئوية. وضفدع الغابة الظاهر في الصورة يتجمد بشكل كلي ـ أي 65 بالمئة من مياه جسده جليد. أمّا البروتينات المتخصصة فتكفل إبقاء البلورات الجليدية صغيرة جداً بحيث لا تسبب أي أذى. تمنع الأعضاء الحيوية للضفدع من التجمد بسبب الكميات الكبيرة من الغلوكوز التي تنتجها الكبد صانعة محلولاً سكرياً عالي التركيز يتغلغل في النسج ويعمل كمانع للتجمد.

تتجمد النطفة بصورة نظامية في درجة حرارة الآزوت السائل، وهي درجة تقل عن ـ 196 مئوية، من أجل التلقيح الاصطناعي. هذه التقنية، التي طورت أصلاً من أجل الماشية، طبقت بنجاح أول مرة على النطفة البشرية سنة 1953. يمكن لعينات النطف المتجمدة أن تحتفظ بقوتها عقوداً من الزمن، وهناك نطفة بشرية اختزنت أكثر من خمس عشرة سنة أدت إلى الحمل. يختار كثير من الرجال أن يجمدوا نطفهم المنوية قبل أن تقطع القناة الدافقة لديهم أو يخضعوا لمعالجة كيماوية أو إشعاعية للسرطان، وهي المعروفة بإتلافها للنطف. فيما يقدم رجال آخرون عينات من نطفهم للأزواج العاقرين. الآن، يولد كل سنة آلاف الأطفال من عينات نطفية محفوظة من البرد، ويذهب الظن إلى أنه من غير المحتمل أن تؤدي النطفة التي تتجمد ثم تذوّب قبل التلقيح الاصطناعي، إلى ظهور عيوب خلقية أكثر من النطفة الطازجة.

كذلك يمكن حفظ الأجنة بتجميدها في درجات حرارة منخفضة، لقد طُوِّرت هذه التقنية في البداية للتعامل مع الحيوانات الأليفة، أمّا الآن فتستخدم بشكل نظامي كجزء من العملية العادية للإخصاب بطريقة «الحاضنة الزجاجية» لدى البشر. تؤخذ، عادة بيوض مضاعفة من المرأة في عملية مفردة، تخصب في حاضنة زجاجية ثم ينقل جنينان أو ثلاثة من الأجنة التي تتطور، من جديد إلى رحمها. أمّا الأجنة التي لا تستخدم فتجمد، خشية أن لا يؤدي الزرع الذي تم للأجنة الأولى إلى حمل. بهذه العملية تتجنب المرأة أن تعيش التوتر من جديد، وهم يأخذون منها بويضات مرة ثانية. كما أن هذا هو الجزء الأكثر كلفة من العملية كلها إضافة إلى أنه يخفض كلفة تجارب الإخصاب بالحاضنة الزجاجية التالية. يمكن اختزان الأجنة الاحتياطية هذه سنوات عدة، حتى إذا ما قرر الزوجان أن يرزقا بأولاد أكثر بتواريخ لاحقة أمكنهما ذلك، أو حين تضطر المرأة لمعالجة طبية قد تؤثر على خصوبتها، أو حتى للاستخدام من قبل نساء غير قادرات على إنتاج بويضات

بطيء الخطو (إلى اليسار) هو حيوان مجهري، طوله نحو مليمتر واحد يعيش في الرمل الرطب، في ثقالة قيعان البحيرات وأعماق البحار، والطبقة المائية الرقيقة التي تغلف أوراق الطحلب في سهوب الباندرا القطبية. ومن المثير للعجب أكثر أنه قد يتواجد في التوضعات الطحلبية الدقيقة التي تسد أحياناً مجاري مياه المطر في منزلك. إنها تلقب بدببة الماء وذلك بسبب أقدامها الغليظة ذات المخالب ومشيتها المتثاقلة، لكن سمتها الأشهر هي قدرتها على تحمل شروط الحد الأقصى للحياة وهي في حالة من الأحيائية المعلقة. فحين يأتي الوقت العصيب، يتكور بطيء الخطو على نفسه، تسحب قوائمه إلى الداخل وينتقل إلى طور راحة يعرف فيه باسم برميل الخمر (إلى اليمين)، وهو الطور الذي يتوقف فيه الاستقلاب تقريباً. فينخفض الفاقد المائي انخفاضاً شديداً، فيما يساعد تراكم التريهالوز والبروتينات، التي تشكل نواة الجليد، في حماية «برميل الخمر» هذا من آثار التجفّف والبرد الشديد. إن «برميل الخمر» هو الذي يبقى أخيراً على قيد الحياة. إذ يمكن أن يتحمل درجة برودة تصل إلى ـ 272 مئوية (أي درجة واحدة فقط فوق الصفر المطلق) أو درجة حر شديد تصل إلى 151 مئوية، أو جفاف شديد، أو تغطيس في سائل كحولي (تحفظ فيه كالمخلل معظم المخلوقات). كما يتحمل ضغوطاً تصل إلى نحو 6000 وحدة ضغط جوي (تقتل معظم المتعضيات، ومن بينها الجراثيم بضغوط تزيد عن 3000 وحدة جوية). لكن فقط أضف الماء ولسوف تجد «برميل الخمر» قد استعاد مائيته من جديد ليشكل بطيء الخطو الذي يبدو وكأنه غير معني مطلقاً بتجربته. بل لقد أعيد المخلوق إلى الحياة من عينات من الطحلب المجفف المختزن منذ 120 سنة في أحد المتاحف الإيطالية.

خاصة بهن. أول طفل ولد من جنين متجمد هو زوليلاند، ويعود تاريخ ولادته إلى فترة حديثة هي 28 آذار / مارس 1984 وذلك في ملبورن، أستراليا. أمّا اليوم فتتم حالات حمل ناجحة بأجنة تم تجميدها فترة من الزمن تصل إلى الخمس سنوات.

كذلك يمكن تجميد أنواع أخرى من الخلايا البشرية، أشهرها، ولا شك خلايا «هيلا» التي عزلت من ورم خبيث لدى مريضة تدعى هنرييتا لاكز (ومن هنا الاسم هيلا) ثم جمدت مباشرة في الآزوت السائل. بعد سنين كثيرة من وفاتها، صار بإمكانك أن تجد سلالة خلايا الورم الأصيلة في مختبرات البحث في كل أنحاء العالم، موفرة مصدراً ثميناً للبحث الطبي.

وعلى الرغم من أنه بالإمكان تجميد خلايا الثدييات ثم تذويبها بحصانة نسبية، إلاّ أن هذه ليست حال الحيوان ككل، مع ذلك هناك، في الولايات المتحدة اليوم، شركات تجمد أجسام (أو رؤوس) ناس ماتوا حديثاً وذلك على أمل أن يصبح بإمكان أجيال المستقبل إعادتهم إلى الحياة، أو أن تشفى أمراضهم، أو تستبدل الأعضاء التالفة من أجسامهم، وبذلك يضمنون فترة أخرى من الحياة المفيدة. توجد معظم هذه الشركات في كاليفورنيا حيث القانون متساهل كثيراً إزاء الحفظ بالتبريد. لكن المحزن أن أحلام زبائنها تواجه صعوبات جمة، نظراً لأن أنسجة الجسم سرعان ما تتلف بعد الموت بسبب افتقارها لجريان الدم.

مع ذلك، ثمة معنى واحد يمكن به للتجمد أن يحفظ الإنسان. وهو الحفاظ على تكوينه الوراثي الفردي ـ أي مورثاته ـ لكن لتحقيق هذا الغرض، لا يحتاج الإنسان إلاّ إلى بضع خلايا، يمكن أن توفرها عينة بسيطة من الدم على الرغم من أنه ليس للكريات الحمراء نوى، وبالتالي ليس هناك من معلومات وراثية (د.ن.أ)، إلاّ أن هناك ما يكفي من الكريات البيضاء، لتوفير كل ما هو مطلوب من الـ (د.ن.أ). وذات يوم، سيكون بالإمكان

إنتاج إنسان من كرية بيضاء وحيدة وذلك باستخدام التكنولوجية ذاتها التي أنتجت بالاستنساخ النعجة الشهيرة دوللي. لكن إذا كنا نريد أن نفعل هذا أم لا، فتلك مسألة مختلفة. غير أنه يجدر بنا أن نتذكر أنه حتى لو صار بالإمكان استنساخ خلية من خلاياك، فإن المستنسخ عنك لن يستهلك أكثر من مورثك فأنت أكثر بكثير من مورثاتك فقط.

صنع الملايين من الجراثيم

محبات الحدود القصوى في طريقها لأن تصبح صناعة كبيرة. هذه الصناعة تقوم أساساً على الخمائر المعزولة من المتعضيات التي تستطيع تحمل الحدود القصوى للبرد، الحر، الملح، الحمض، الضغط والمعادن الثقيلة، التي يصعب أن نسمي إلاَّ القلة منها وهناك شركات بحث صغيرة في التكنولوجيا الحيوية ترسل مستخدميها إلى أطراف الأرض لإيجاد محبات حدود قصوى جديدة قد يكون لها مورثات غير معروفة سابقاً، تم تسابق لابتكار ما لم يبتكر من قبل. إن المنافسة شديدة نظراً لأن المكافآت المحتملة عالية.

يستغل آلاف من بيولوجيي الجزيئات قدرة محبات الحرارة المفرطة في أبحاثهم كل يوم. إذ تستخدم الخمائر محبة الحرارة في صنع نسخ كثيرة من جزء مختار من الـ د.ن.أ في عملية تعرف باسم التفاعل المتسلسل المتبلمر (PCR). وكما يدل اسمها عليها، فإن هذه العملية تشتمل على حلقات تفاعل متتالية، في أولاها، يجب تسخين الـ د.ن.أ لتحطيم الجديلتين الاثنتين اللتين يتكون منهما. بعدئذ يتم تبريده وتستخرج نسخة مطابقة لكل جديلة بمساعدة خميرة من الخمائر. ثم تكرر هاتان المرحلتان مرات عدة، مما يؤدي إلى تزايد أسي في عدد جزيئات الـ د.ن.أ. تعتمد تقنية التفاعل المتسلسل المتبلمر على الخميرة المضاعفة ـ للـ د.ن.أ التي لا تنفصم في درجات الحرارة العالية (95 مئوية) ولا بد منها لفصل جديلتي الـ د.ن.أ.

ولحسن الحظ أن الخمائر محبة الحرارة كالخميرة المتبلمرة «تاك» مثلاً، قد تطورت لتفعل ذلك تماماً. لا تقتصر هذه الطريقة (PCR) على مختبرات الأبحاث بل تستخدم على نطاق واسع في الطب: مثال على ذلك التعرف على هوية جدائل جرثومية أو الاختبار الوراثي لدى الأفراد. كما أحدثت ثورة في عالم القضاء الشرعي، ذلك أن هذه الطريقة حساسة جداً بحيث يمكنك أن تصنع مليارات النسخ من الـ د.ن.أ بواسطة بضعة جزيئات، وبالتالي أن تتعرف على هوية مجرم من خلية شاردة وحيدة ظلت في مسرح الجريمة دون أن ينتبه لها أحد.

عزلت خميرة «التاك» المتبلمرة من البدائية «ثيرموفيلوس أكواتيكوس» التي اكتشفها توماس بروك في برك يللوستون المبقبقة عالية الحرارة. ولقد ظلت مهملة في المختبر على مدى عشرين سنة إلى أن تبين كاري موليس أن بالإمكان استخدامها لاستنساخ الـ د.ن.آ. لقد أساء موليس، ذو الشخصية اللامعة لكن المتلونة، إلى كثير من أعضاء المؤسسة العلمية ببياناته الملتهبة ومحاضراته غير التقليدية التي كانت تتخللها شرائح زجاجية تعرضها فوانيس سحرية لموج متكسر، أو لصديقاته وهن في وضعيات فاضحة. مع ذلك نال جائزة نوبل عن جدارة واستحقاق، لأن عمله أحدث نقلة في علوم الحياة، كما أن تقنية الـ (PCR) التي ابتكرها أصبحت مطية البيولوجيا الجزيئية الحديثة. كانت خميرة التاك المتبلمرة هي الخميرة الأولى التي استخلصت من محبة حدود قصوى واستغلت تجارياً، فمبيعاتها الآن تعود بواردات تربو على 80 مليون دولار سنوياً. وما تزال الشركات تتصارع على براءة الاختراع.

يقوم صناعيو مساحيق الغسيل بكثير من البحث عن خمائر مستخلصة من محبات القلويات، بحيث تضاف إلى مساحيق غسيل بيولوجية كي تساعد في تحظيم البروتين، السكريات، والدهون التي تعلق بالملابس الوسخة. لكن المنظفات عالية القلوية ومعظم الخمائر لا تستطيع العمل بفعالية في مثل

هذه الشروط. مع ذلك فإن تلك المأخوذة من محبات القلويات تعمل على نحو أفضل في درجة ب هـ عالية. لقد أدخلت الشركة الأمريكية جينكور، سنة 1997 منظفاً يحتوي على خميرة مستخلصة من محبة قلويات تم اكتشافها في بحيرة قلوية زاعمة أن بالإمكان غسيل الثياب بها مئات المرات وتظلّ كأنها جديدة. إنها تعمل بأن تحطم الطبقة السطحية الناعمة للزغب الذي يتجمع عليه الوسخ دون التأثير في الخيوط الواقعة تحته. وقد كان هذا أول تطبيق صناعي واسع النطاق لمنتج مأخوذ من محبة حدود قصوى.

غير أن هناك جملة تطبيقات أخرى محتملة لمحبات الحدود القصوى. فمحبات الحمض يمكنها أن تسهل استعادة المعادن الثمينة من الفلزات الأدنى درجة، وهي العملية المعروفة باسم الارتشاح الجرثومي والتي تنتشر بصورة متزايدة لاستخلاص الذهب، النحاس واليورانيوم. يمكن استخدام الخمائر المستخلصة من محبات البرد الشديد في صنع الصابون والمنظفات الخاصة بالماء البارد، وكذلك لتحفيز التفاعلات التي يتعين إجراؤها في الأجواء الباردة. شيئاً فشيئاً يتزايد استغلال الجراثيم والبدائيات في مشاريع المعالجة الحيوية، وكذلك للتخفيف من خطر المركبات السامة مثل مبيدات الحشرات، النفط، والمذيبات. صحيح أن الاستغلال التجاري لمحبات الحدود القصوى ما يزال في بداياته، لكن الصحيح أيضاً أن احتمالات تطبيقه كبيرة وواسعة.

هل هناك حياة ما وراء الأرض؟

في آب / أغسطس سنة 1996، تصدَّر خبر رئيسي إحدى الصحف، وهو خبر كتلة صخرية صغيرة ذات مظهر عادي نوعاً ما دعيت أ.ل.هـ. 1 8400[5] وفي حين أن معظم المقالات العلمية تكون حسنة الحظ إن قرأها

(5) لقد سميت باسم موضع اكتشافها وسنته، تلال آلين، 1984.

أكثر من حفنة من المتابعين، فإن مكتشفات هذه الصحيفة نوقشت بالتفصيل في الصحف والإذاعات ونشرات الأخبار التلفزيونية في شتى أنحاء العالم، حتى قبل أن تنشر المقالة تلك الضجة التي أثارتها الصحيفة أمر يمكن فهمه. فقد زعم علماء «الناسا» أنهم وجدوا دليلاً على الحياة في المريخ.

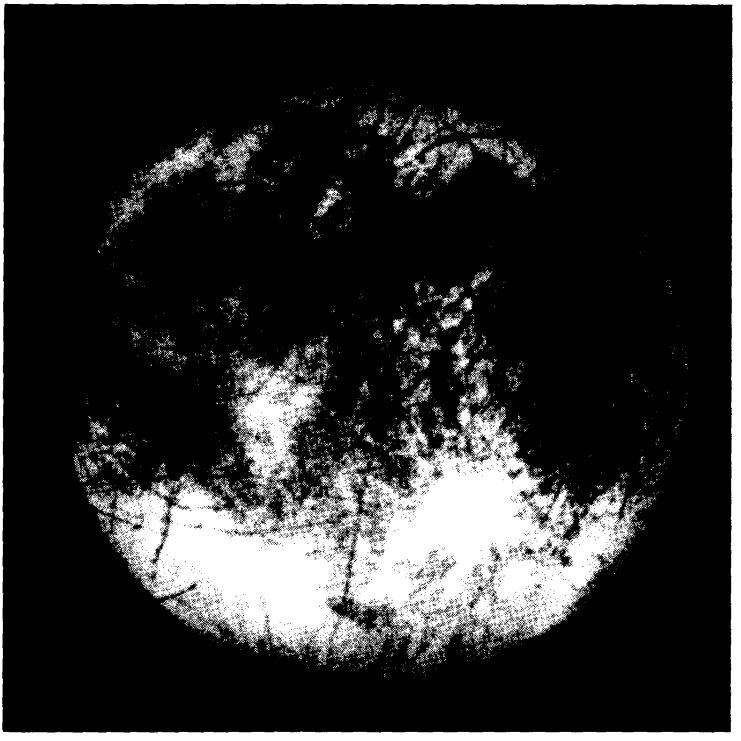
قبل ستة عشر مليار سنة، نزل نيزك على المريخ فشطر من الصخرة الموجودة على سطح الكوكب شظايا صغيرة، كثيرة أطلقها لتدوّم في الفضاء. وقبل نحو 11000 سنة وقعت إحدى هذه الشظايا في ساحة الجاذبية الأرضية التي جذبتها لتستقر في الحقل الجليدي المعروف باسم تلال ـ آلين في القطب الجنوبي. بهذا تكون أ.ل.هـ 84001» زائرة من المريخ، أي واحدة من عدد صغير من نيازك كهذه تم اكتشافها. أمّا منشأها، المريخ، فقد أثبته كل من المحتوى المعدني للصخرة وكذلك تركيب فقاعات الغاز المحتجزة داخلها. إنها تماثل ما يوجد في الصخور السطحية للمريخ وجو المريخ الذي قام بقياسه مسبار فايكنغ الذي وصل إلى الكوكب الأحمر سنة 1976.

لقد اكتشف العلماء في أعماق تلك الكتلة الصخرية بنى تشكلت تشكلاً غير منتظم وعلى نحو يماثل تشكلات الأحافير المجهرية التي وجدت في الأرض والتي تشكلت قبل أربعة مليارات سنة تقريباً. ثم قادتهم معلومات إضافية لأن يقترحوا أنه، وعلى الرغم من أن كل قطعة من الدليل يمكن أن يكون لها تفسير مختلف عندما ينظر إليها بشكل منفصل، فإنها حتى تؤخذ معاً تقدم «الدليل على وجود حياة أولية في المريخ القديم». لكن للأسف، ربما كانت استنتاجاتهم غير ناضجة. لقد حوّل عدة فرق من علماء عالمية اهتمامهم، بعد أن أثاره احتمال وجود الحياة في كواكب أخرى غير الأرض، إلى «أ.ل.هـ. 84001» فشرعوا يحللون ويعيدون التحليل للكتلة الصخرية ذاتها. بعد سنة من العمل، كان الإجماع العام على أن البنى التي شوهدت هي مجرد توضعات معدنية، أكثر مما هي بقايا أحفورية لأشكال غريبة من أشكال الحياة.

لكن لا يمكن بسهولة التخلي عن فكرة إمكانية الحياة في مكان آخر من المجموعة الشمسية، فالشروط القصوى التي يمكن للكثير من البدائيات أن يتحملها تماثل تلك الشروط الموجودة في الكواكب الأخرى أو أقمارها. إن الوديان الصخرية الجافة والباردة الموجودة في القطب الجنوبي لا تختلف كثيراً بشروطها عن الشروط التي يمكن مواجهتها في المريخ إلى حد أنها تستخدم لاختبار الأدوات المصممة لمهام استكشاف الكوكب الأحمر. مع ذلك، تعيش داخل الصخرة، وتحت سطحها بنحو مليمتر واحد طبقة رقيقة من المتعضيات المجهرية ذات التركيب الضوئي.

تستطيع الجراثيم، وعلى نحو لا يمكن تصديقه، أن تعيش حتى في خواء الفضاء. لقد حط مسبار المساح «3» على القمر في نيسان / أبريل 1967. وبعد سنتين ونصف زار رواد الفضاء أبوللو 12 الموقع نفسه بهدف التقصي والبحث عن درجة تحمل المسبار الشروط القاسية من إشعاع شمسي كثيف، خواء قريب، وتغيرات شديدة في درجة الحرارة. لقد انتزعوا عدسة تلفزيونية وعادوا بها إلى الأرض في حاوية مختومة، ثم فتحت في شروط تعقيم كاملة في مختبر الاستقبال القمري. بعدئذ استنبت بيولوجيو الجراثيم عينات مأخوذة من داخل العدسة فوجدوا، لشدة دهشتهم، أن هناك متعضيات مجهرية قد نمت. لكن هذه لم تكن حشرات قمرية حديثة بل كانت أنواعاً معروفة من الأرض. إذ يبدو أنه خلال تصنيع العدسة التلفزيونية، عطس التقني فانطلقت منه بعض الجراثيم لتحط رحالها عميقاً داخل الآلة ثم ختم عليها هناك إلى أن أعيد فتح العدسة في المختبر القمري. بالطبع، يمكن للمتشكك أن يناقش أن تلك الحشرات لم تذهب إلى القمر إطلاقاً، لكن شروط التعقيم الشديدة، التي استخدمت خلال الاستعادة والتحليل يجعل هذا غير محتمل فالجراثيم، على ما يبدو، كانت قادرة فعلاً على البقاء حية سنتين ونصفاً على سطح القمر.

مع ذلك، ثمة فارق بين البقاء والنمو. إذ بغير ماء سائل لا يمكن أن



صورة عالية الثبات «لأوروبا» حصلت عليها المركبة الفضائية غاليليو. و«أوروبا» أحد الأقمار الستة عشر للمشتري اكتشفه غاليليو سنة 1610. إنه فريد من نوعه في المنظومة الشمسية من حيث أن له سطحاً أملس مع فتحات أو جبال قليلة نسبياً. أمّا قشرته فتتقاطع عليها شبكة معقدة من خطوط سوداء يعتقد أنها تشققات في الطبقة الخارجية من الجليد الذي يغلف ذلك التابع.

توجد الحياة (على الأقل بالمعنى الذي نفهم) إلاّ في حالة من الأحيائية المعلقة. أمّا النمو والتكاثر فهما، بكل بساطة، غير ممكنين البتة لذا فإن البحث عن الحياة في أماكن أخرى من المجموعة الشمسية هو بالحقيقة مسألة بحث عن الماء. وهناك أماكن قد يوجد فيها ماء سائل. ففي سنة 1979 وصل المسبار «ڤوياجير» إلى المشتري واكتشف أن تابعه أوروبا مغطى بطبقة من الجليد. كما تدل المعطيات الأكثر حداثة والتي حصلت عليها المركبة الفضائية غاليليو علىٰ أن محيطاً من الماء السائل قد يكون محتجزاً على بعد أميال كثيرة هناك تحت قشرة القمر المتجمدة، شأنه شأن البحيرات الكبيرة

الموجودة تحت سطح القطب الجنوبي. وفي الوقت الراهن يخطط العلماء لإرسال سفينة فضائية أخرى لاستكشاف هذا الاحتمال، والتقصي عما إذا كانت هناك حياة على القمر أوروبا أم لا، ولسوف يكون مثيراً أن يكتشف ذلك.

حاشية خاصة بالوحدات

يستخدم العلماء جميعاً منظومة قياس عامة. هذا على الأقل هو الهدف، وهو، عموماً، صحيح. إلاَّ أن هذه لم تكن دائماً هي الحالة، لأن هناك أنواع وحدات وأجهزة قياس مختلفة تتناثر في نصوص العلماء الأوائل. بل حتى في أيامي أنا، فإن ما كان يبدو وكأنه وحدات معيارية، كان يتحول إلى وحدات جديدة، أو يغير اسمه تبعاً لما كانت اللجان التي تضع الوحدات تفضل هذا العالم على ذاك. لقد سعيت، في هذا الكتاب، لأن استخدم الوحدات العلمية المعيارية. وهذا لن يثير مخاوف معظم الأوروبيين الذين تعودوا على النظام المتري. أمّا البريطانيون فهم، كما هي عادتهم دائماً، الاستثناء (إذ رغم الإدخال التدريجي للوحدات المترية، فإن السوق المحلية هنا لا تزال تبيع الفواكه بالرطل الإنكليزي وليس بالكيلوغرام). كذلك يمكن لأولئك الذين يعيشون في الولايات المتحدة وكندا أن يكونوا أقل معرفة بالوحدات في هذا الكتاب. أمّا بالنسبة إليكم، أيها الإنكليز المشمئزون، فإن الصفحتين التاليتين ستحددان لكم الوحدات العلمية التي استخدمتها وتفسران كيف يمكن تحويلها إلى وحدات مألوفة أكثر.

لقد كانت دراسات الارتفاعات العالية والفيزيولوجية التنفسية معقدة دائماً وذلك لاختلاف الوحدات المستخدمة لوصف الضغط والارتفاع، لكن، ببساطة، أعطيت كل الارتفاعات بالأمتار: وبإمكانك أن تحول هذه مباشرة إلى أقدام وذلك بضربها بـ 3,28. أمّا الضغط فقد تم التعبير عنه بصورة مختلفة إمّا على شكل رطل إنكليزي لكل بوصة مربعة، أو مليمترات زئبقية

(تعرف أيضاً بالمصطلح تور) أو، وهو أكثر حداثة، كيلوپاسكال (ك.پا). ونظراً لأن كثيراً من الكتابات القديمة ومعظم الكتب الفزيولوجية تستخدم المصطلح تور (مليمتر زئبقي) فقد استخدمته أيضاً. لذا فإن الناس الأصغر سناً، الذين قد يكونون أكثر إلفة مع الـ ك.پا.، فإن عليهم أن يضربوا الأرقام حيث واجهوها بـ 0,133.

كذلك تم استخدام عدد محير من الوحدات لوصف العمق والضغط تحت الماء. ولقد قدمت الأعماق كلها بالأمتار: وبإمكانك أن تحولها إلى أقدام بضربها بـ3,28. تقاس الأعماق تقليدياً بالقامة وهي وحدة مشتقة من طول ذراعي رجل على امتدادهما. تبلغ القامة ست أقدام أو 1,83 م. يشار إلى الضغط تحت الماء، عادة بوحدات الضغط الجوي (أو البار). ولقد فعلت ذلك هنا أيضاً. والبار (وحدة ضغط جوي واحدة) يساوي 760 تور أو 15 رطلاً إنكليزياً لكل بوصة مربعة. وفي صناعة الغوص، يوصف الضغط أيضاً بحسب العمق، أي حسب الأمتار من ماء البحر (أ.م.ب.): فـ 10 أ م ب يساوي 1 بار وعلى عمق 30 أ م ب يكون الضغط 4 بار نظراً لأن الضغط على سطح الماء هو 1 بار وتحت الماء هو 3 بار.

ثمة ثلاثة مقاييس حرارة مختلفة قيد الاستعمال العام. اثنان منها معروفان على نطاق واسع: المقياس المئوي (أو سليسيوس) ومقياس فهرنهايت. وقد استخدمت المقياس المئوي لأنه ليس المقياس الذي يستخدمه علماء الحياة فحسب. وأيضاً لأنه يستخدم بصورة خاصة في أنحاء أوروبا كلها. في المقياس المئوي، درجة الصفر هي الدرجة التي يتجمد فيها الماء ودرجة المئة هي التي يغلي فيها الماء عند مستوى سطح البحر. أمّا الدرجتان الموازيتان لهما على مقياس فهرنهايت فهما 32 ف و212 ف. ولكي نحول الدرجات المئوية إلى فهرنهايت نضرب الرقم المئوي بـ 1,8 ثم نضيف 32. أما تحويل الفهرنهايت إلى درجات مئوية فيكون بطرح 32 ومن ثم التقسيم على 1,8.

يستخدم الفيزيائيون مقياس كالڤن الذي يعبر فيه عن درجة الحرارة بالنسبة إلى درجة الصفر المطلق (ـ 273° مئوية) وهي أدنى درجة حرارة ممكنة. لذا فإن الحرارة بالدرجات المطلقة هي ببساطة درجات الحرارة المئوية إضافة إلى 273.

تقاس كمية الطاقة المخزونة في أنسجة المرء عن طريق الأشعة الممتصة (الجرعة الممتصة) بوحدات غراي (1 غ = أ جول لكل كيلوغرام من التأينات الممتصة). يعبر عن الجرعة على نحو معتاد أكثر بأنها «الجرعة الفعالة». وهي مقياس تعرض كامل الجسم ويتم الحصول عليها بضرب الجرعة الممتصة بالعوامل التي تأخذ بالجريان شتى الفعاليات لشتى أنواع الإشعاع في إتلاف أنسجة الإنسان. ويعبر عنها بالسيڤرت (فوق). أما الحد الأقصى طوال العمر لرواد الفضاء لدى «ناسا» فهو 4 س ڤ للرجال و3 س ڤ للنساء. ونظراً لأن السيڤرت وحدة كبيرة، تعطى جرعات الإشباع عادة بالميلسيڤرت (م.س.ڤ) أو مكروسيڤرت (HSV) فالسيڤرت يساوي 1000 مليسيڤرت أو مليون ميكروسيڤرت. وعندما تكون جرعات الإشعاع أكبر (كما هو الأمر بالنسبة إلى رواد الفضاء). غالباً ما يعبر عن الجرعة بوحدة غزاي وليس بالسيڤرت.

أخيراً أو إثر التجول الذي جرى في الولايات المتحدة (وليس المملكة المتحدة) فقد استخدمت البليون لأدل على الـ 1000 مليون (10^9).

العيش على حافة الخطر

العيش على حافة الخط .. .تفسير متميز لعلم البقاء. ينسج قصصاً واقعية من الحياة مع آخر المكتشفات العلمية ليشرح ما يحدث لجسم الإنسان في ظروف حافة الخطر.ما الذي يسبب دوار الجبال؟ لماذا يمكن الوصول إلى قمة " إفريست " دون أوكسجين إضافي ، في حين نجد أن الضغط الجوي بطائرتك في ظل الظروف ذاتها، يجعلك تفقد الوعي في ثوان؟ لماذا لا يستطيع رواد الفضاء مقاومة الشعور بالدوار عندما يعودون إلى الأرض؟ لماذا يستطيع.
الغواصون أن يعملوا بهمة ونشاط فيما لا تستطيع الحيتان الضخمة ذلك؟ ما الذي يسبب \"نشوة الأعماق\"؟ وهل يستطيع الرجال دوماً أن يجروا أسرع من النساء؟ لماذا لا تتجمد أقدام طيور البطريق؟تشريح فرانسيس أشكروفت جميع هذه الظواهر وغيرها بكثير من الذكاء والوضوح وهي تلقي الضوء على شخصيات ومخترعين ومكتشفين متميزين ساهموا في رسم حدود قدرة الإنسان على البقاء، وتعيد من جديد قصصاً علمية كاشفة.كما أنها تستكشف أسباب التكيف الملحوظة التي تمكن بعض العضويات من العيش في ماء مغلي، أو أحواض من الحمض، أو وسط الصخور، وكل من تساءل عمّ يجعل الأشياء الحية تتحمل سوف يجد في هذا الكتاب ما يشفي غليله .