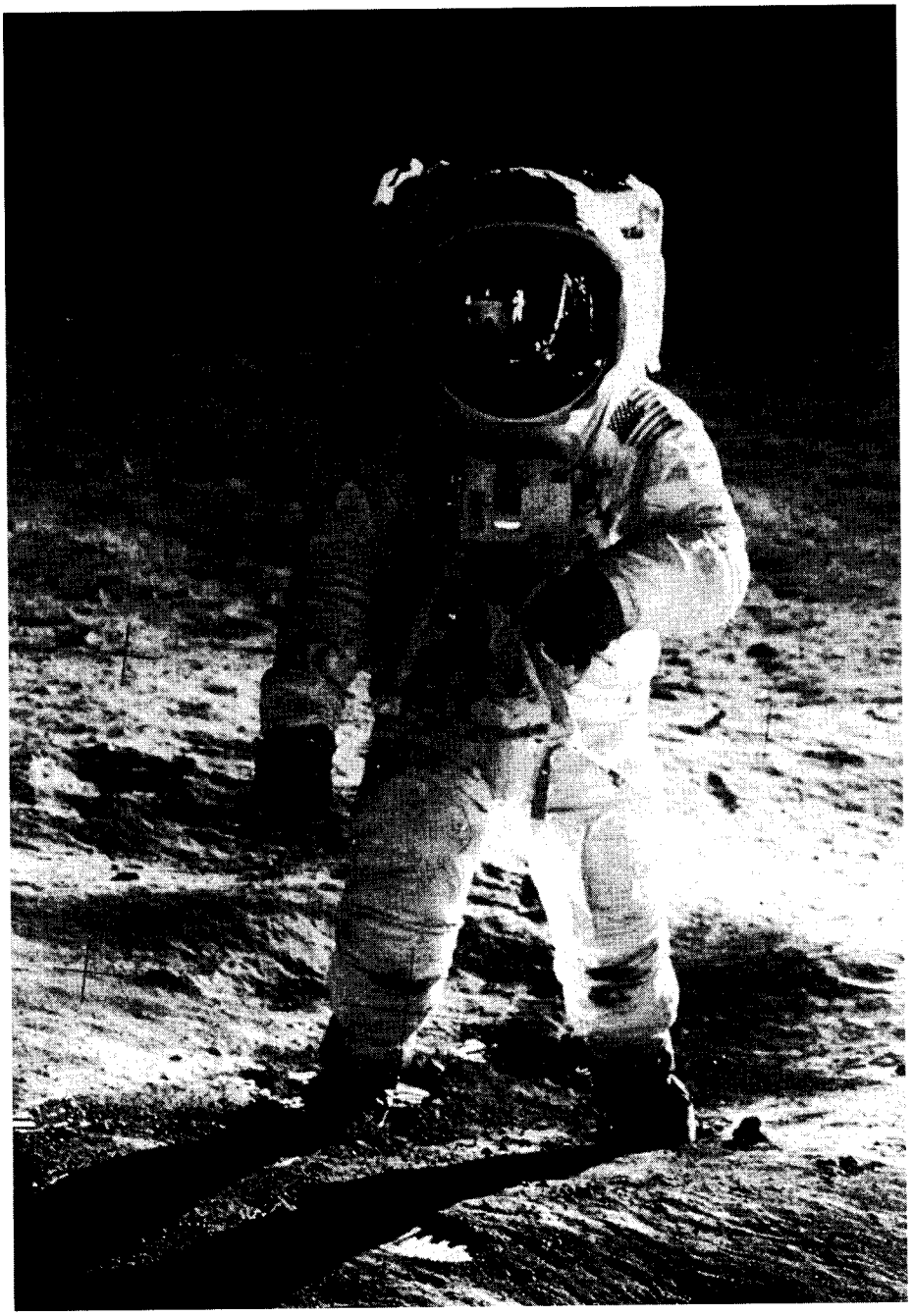
6

الحد النهائي

لسوف أضع نطاقاً حول الأرض بأربعين دقيقة

وليم شكسبير، حلم منتصف ليلة صيف



إدوين «بوز» آلدرين يقف على سطح القمر في 20 تموز / يوليو 1969، بينما يمكن مشاهدة نيل أرمسترونغ 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 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

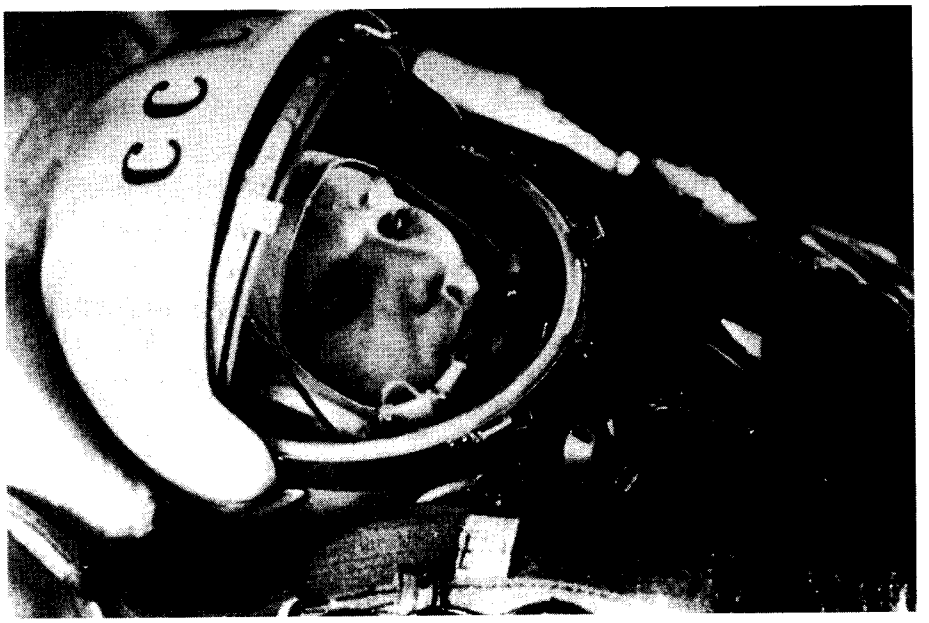
بدأ عصر الفضاء بتاريخ 4 تشرين أول / نوفمبر 1957، عندما أطلق الاتحاد السوفييتي أول قمر صناعي في العالم. كان اسمه سپوتنيك ويعني بالروسية رفيق السفر. في غضون شهر لحق به سبوتنيك، حاملاً الكلبة لايكا. وفي 12 نيسان / أبريل 1961 مخر رجل الفضاء يوري غاغارين عباب الفضاء على متن فوستوك 1 ليقوم بدورة كاملة حول 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» إلاَّ 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.

مُقَلٌ داخلاً ومُقَلٌ 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 قوى 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

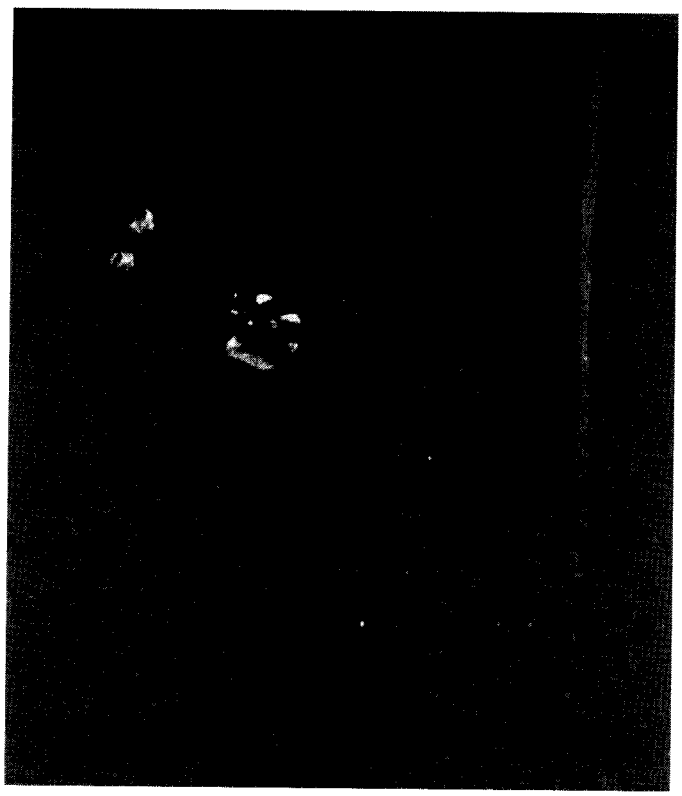
الفرار من الطائرة دون مساعدة، لذلك، يعد المقعد القاذف أساسياً.

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 - 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 واجهوه 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، إلاّ 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

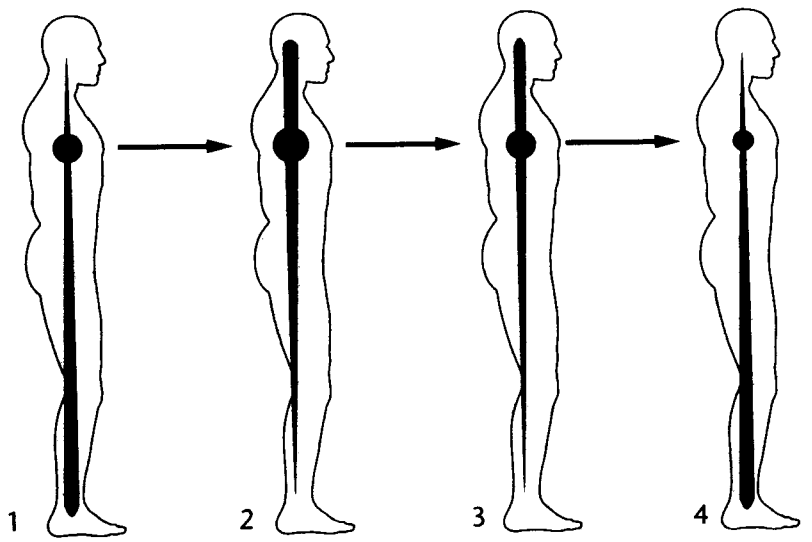
الأرض، نشعر بالوزن فقط لأن الأرض تحتنا تدفعنا أعلى مانعة إيانا من التسارع باتجاه مركز الأرض. وعندما يلغى رد الفعل هذا ـ مثلاً، عندما يقفز مظلي من طائرة أو عندما نقفز من أعلى جدار. ونكون الجزء من الثانية، في الهواء ـ فإننا نواجه انعدام الوزن. والواقع أن السفينة الفضائية، وهي في مدارها، تكون في حالة سقوط 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 خيشومك

وتتلاشى حاسة الشم والذوق لديك. أن شعورك أشبه ما يكون بحالة «زكام تام». ثمة نتيجةً 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 على 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.

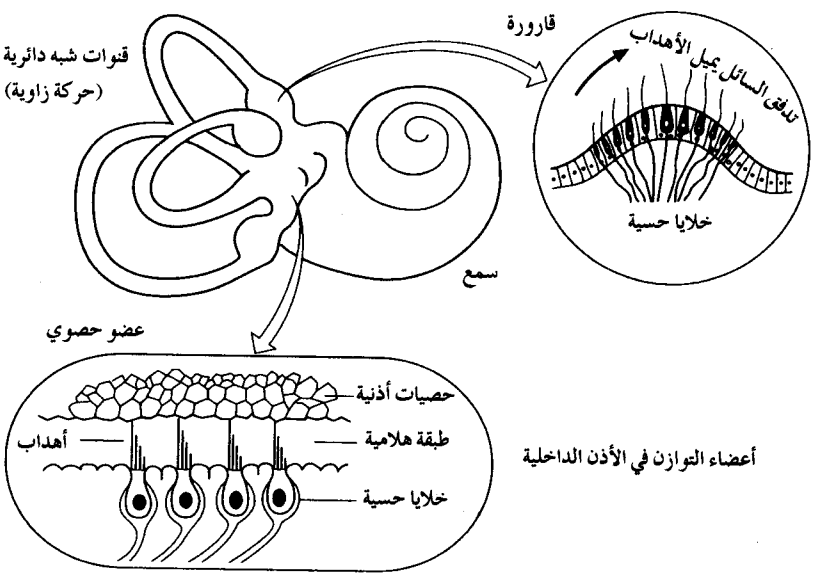
أمّا العضوان الحصويان فعبارة عن كيسين مليئين بالسائل مع أعضاء حس تتوضع في جدرانهما، وتتكون من مجموعات من الخلايا فيها عدد كبير من الشعيرات الحسية الدقيقة على سطوحها العلوية تعرف باسم الأهداب التي تبرز داخل طبقة من المادة الهلامية تغطي سطح الخلية، حيث يقع في أعلاها بلورات دقيقة من فحمات الكالسيوم تعرف 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 ضمور العضلات حاملة الثقل وذلك بسبب قلة الاستخدام. إنها تتقلص حجماً وقوة وتصبح أكثر عرضة للتلف الناجم عن ممارسة الرياضة. كذلك تضعف النسج الواصلة. تشاهد هذه الآثار أولاً في الساقين فيما تبدو عضلات الذراعين أقل تأثراً ربما لأن الذراعين وحدهما تستخدمان للعمل في الفضاء. ولضمور عضلات الساقين دلالات خطيرة إذ إنها يمكن أن توهن المقدرة لدى طاقم المركبة على إخلاء المركبة دون مساعدة، إثر هبوط طارئ على الأرض. وكذلك تنخفض طاقة القلب على العمل في الجاذبية الصغرى، وذلك لسببين

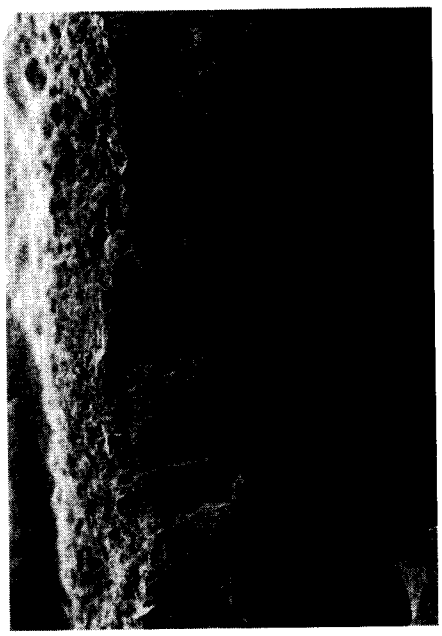
اثنين: الأول انخفاض حجم الدم، والثاني عدم اضطرار القلب لأن يضخ الدم بصورة معاكسة لقوة الجاذبية الأرضية. نتيجة لذلك، يتراجع مقدار العضلة القلبية ويكون هنالك نقصان يمكن قياسه في حجم القلب بعد الرحلات الطويلة.

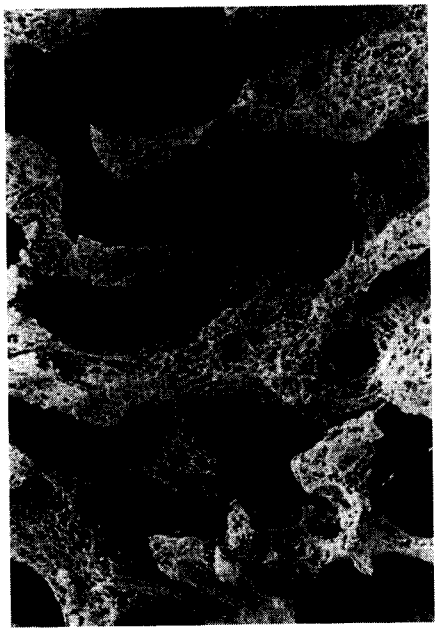
يتعين على رواد الفضاء جميعاً، كي يخففوا من الفاقد العظمي والعضلي، أن يقضوا ثلاث أو أربع ساعات على الأقل يومياً في ممارسة التمارين الرياضية. وليس ذلك بالأمر اليسير، إذ إن ممارسة الرياضة في الجاذبية الصغرى تمثل تحديات غير مألوفة، فلكي يستخدم دولاب المدوسة، يجب على رائد الفضاء أن يثبت برباط على السطح يمنعه 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

تماثل بعض الآثار طويلة الأمد التي تتركها الرحلة الفضائية على الجسم. والمتطوعون الذين استلقوا هكذا مدة سنة يعانون من فاقد عظمي وضمور عضلي. كما أن قلوبهم تعمل بفاعلية أقل. لذلك يحدث الفاقد العظمي مع التقدم في السن، ربما لأننا نكف عن الاندفاع هنا وهناك أو لأننا نمارس رياضة أقل. وجلوسي وراء كومبيوتري وأنا أكتب هذا الكتاب لا يوفر المحرض نفسه لعظامي مثلما يوفره لعب التنس (أو حتى نكش الحديقة).





إلى اليسار، عظم عادي. إلى اليمين عظم خرّبه ترقق العظام. العظم هنا ينكسر باستمرار ويعاد بناؤه. هذه العمليات تحدث عادة، بمعدلات متساوية، لكن في الجاذبية الصغرى، تصبح الدورة غير متوازنة مع ترقق الهيكل العظمي. ثمة مشكلة تواجه الناس في سن متأخرة من الحياة. وتكون أكثر على نحو خاص لدى النساء بعد سن اليأس. فالخلايا التي تدعى بخلايا التعظم تصنع العظام الجديدة. والخلايا التي تدعى بناقضة العظم تحطم العظام القديمة. وعلى ما يبدو، فإن نشاط خلايا العظم، في الجاذبية الصغرى، يخف. هذا يحدث أيضاً لدى الكثير من النساء بعد سن اليأس، نتيجة نقص هرمون الإستروجين الأنثوي، فإذا لم يعوض علاجياً، يمكن للمرأة أن تفقد ثلاثة بالمئة من كتلتها 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، إلاَّ 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 يمكن أن يكون لها آثار هائلة على الأرض. فعندما تصل الدقائق المشحونة المنبعثة من الاندفاعات 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 من النور اللطيف عادة صفراء مائلة إلى الخضرة. لكن يمكن أن تظهر أحياناً أرجوانية زاهية أو بنفسجية أو زرقاء. إذ تحدّد الألوان الذرات التي تصطدم بها الدقائق الشمسية: فإثارة الأوكسجين تنتج ضوءاً أخضر فيما ينبعث اللون الأحمر من الآزوت والأنوار الشمالية تكون أكثر ما تكون إدهاشاً في القطبين لأن الحقل المغناطيسي للأرض يكون قد كنَّس الدقائق الشمسية إلى هنا ثم وجهها إلى الجو وفق خطوط الساحة التي تدخل إلى الأرض أو تغادرها عند القطبين المغناطيسيين. وإذا كنت تتساءل هل هناك أي أنوار جنوبية نقول هناك. لكن الاهتمام بها أقل لأن قلة من الناس تتواجد هنا لتراها.

هذا المكان الأطلسي الجنوبي الشاذ نحو 6 مرات في اليوم، ويتلقى طاقم المكوك خلال هذا المرور معظم الجرعة الإشعاعية التي يتلقاها في الفضاء. أمّا في المدارات التسعة الأخرى، فلا يمر المكوك عبر ذلك المكان الشاذ جنوب الأطلسي، وبالتالي فإن أي نشاط خارج المركبة ينحصر في هذه المدارات.

على الرغم من أن مستويات الإشعاع في الفضاء تكون منخفضة عادة

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.

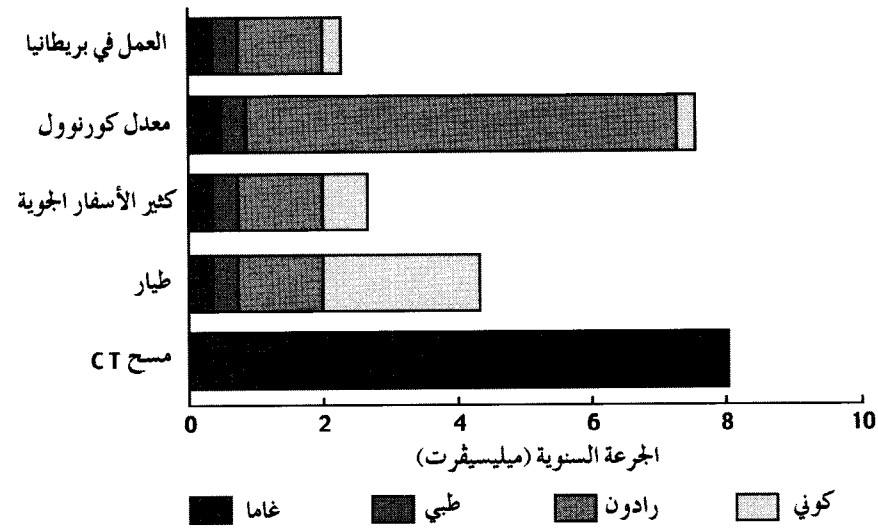
تطير الطائرات فوق الصوتية، كالكونكورد مثلاً، قريباً جداً من الحافة العلوية لجو الأرض، بحيث لا تكون محمية من الأشعة الكونية وبذلك يتلقى الركاب والطاقم جرعة إشعاعية بمعدل نحو 10 ميكروسيفرت بالساعة

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 إلاً 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].

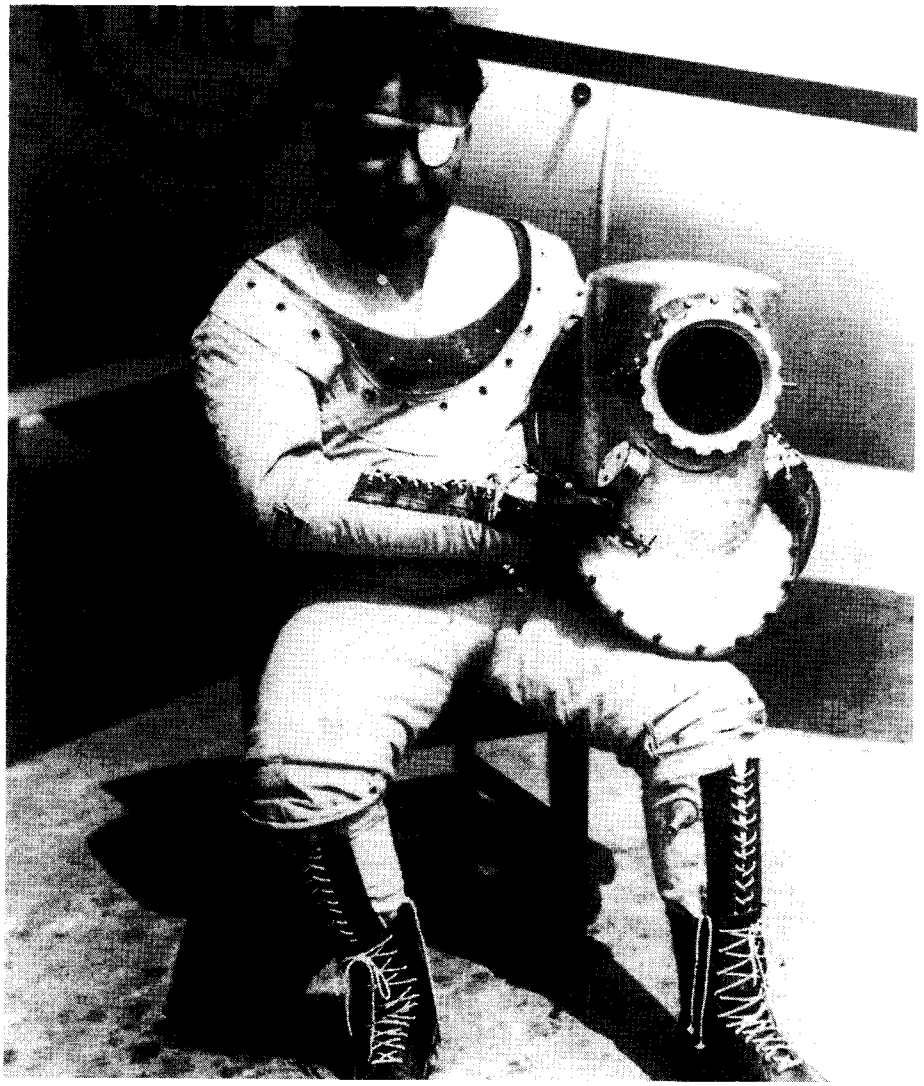
يمكن للسير في الفضاء، أن يكون خطراً، إذ إن أقل لمسة تجعلك تدور بعيداً في الفضاء. نتيجة لذلك، غالباً ما يربط رائد الفضاء بحبال كحبال السرة إلى السفينة، الأم وتكون لبذلته الفضائية مطلقات صواريخ صغيرة تسمح له بالمناورة في الخواء.

(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 إلاّ 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 المناسبة الأولى التي استخدمت فيها وحدة المناورة بواسطة الإنسان المندفعة بالآزوت والتحكم بها يدوياً 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.