

l'informaticien Hany Farid, du Dartmouth College, aux États-Unis, a ainsi montré qu'une photo de groupe avait été créée en rassemblant des personnes de différentes photos : le reflet de l'éclairage dans les yeux des participants ne concordait pas avec leur position dans la scène.

À la pointe de la recherche en informatique judiciaire, des systèmes automatiques visent à assister l'enquêteur dans son raisonnement, en détectant des éléments qui sortent de l'ordinaire, qui sont étranges ou incohérents. De tels éléments peuvent être la trace d'événements intéressants pour l'enquête ou révéler que les preuves ont été falsifiées. À terme, ces systèmes de raisonnement automatique seront probablement la seule façon pour les enquêteurs de faire face aux données de plus en plus nombreuses et diverses. Cependant, les techniques ne progressent que lentement. Des systèmes détectant des incohérences d'horodatage ont par exemple été élaborés (un fichier ne peut pas être supprimé avant d'avoir été créé), mais leur application est compliquée par de multiples paramètres (tel le passage à l'heure d'été ou d'hiver).

Des mémoires qui augmentent plus vite que la vitesse de calcul

L'informatique judiciaire est confrontée à de grands défis, qui risquent de s'accroître dans les années à venir. Les ordinateurs d'aujourd'hui ont en moyenne 1 000 fois plus de mémoire que ceux du début des années 1990, mais ils ne sont que 100 fois plus rapides ; il y a donc moins de puissance de calcul disponible pour traiter chaque octet de mémoire. En outre, le nombre de cas nécessitant la collecte d'éléments numériques augmente bien plus vite que le nombre d'enquêteurs capables de les examiner. Et les indices numériques sont maintenant utilisés par les enquêteurs pour élucider des crimes, tandis que par le passé, ils servaient surtout lors du procès.

Autre difficulté, les téléphones portables peuvent être équipés de programmes d'autodestruction qui effacent leurs données quand ils reçoivent un texto particulier. Pour parer à cette éventualité, on les stocke dans une boîte métallique nommée cage de Faraday, qui bloque les ondes radio. La mémoire de nombreux

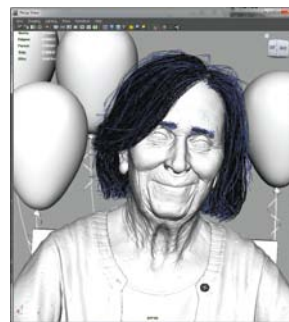
téléphones portables s'effaçant si on les laisse éteints trop longtemps, les cages de Faraday doivent être équipées de prises électriques et de chargeurs. Elles ne suffisent pas toujours : sur certains téléphones, des appels automatiques au domicile sont programmés et les données s'effacent quand ils n'aboutissent pas ; sur d'autres, des algorithmes de cryptage trop puissants pour être déchiffrés par la police scientifique sont utilisés.

Le travail des enquêteurs est encore compliqué par l'émergence des techniques de stockage de données sur Internet. Le téléphone peut ne contenir aucune donnée du suspect et n'être qu'un outil pour accéder à un serveur. L'expert qui analyse l'appareil n'est pas nécessairement autorisé à utiliser les informations qu'il trouve pour accéder aux données stockées à distance. Pire, ces données ont parfois été effacées après la saisie par un collaborateur du suspect.

Outre ces questions techniques, le plus grand défi auquel est confrontée l'informatique judiciaire aujourd'hui est le manque d'experts qualifiés. Leur recrutement est bien plus compliqué que dans d'autres domaines, car ils doivent avoir une vaste connaissance des systèmes informatiques, des programmes et des formats de données, présents comme passés. En d'autres termes, ils doivent être généralistes dans une société qui privilégie de plus en plus la spécialisation.

Une approche intéressante consiste à appliquer les outils de l'informatique judiciaire à d'autres domaines, afin de stimuler la recherche et d'élargir la base des utilisateurs. Ils sont déjà utilisés par les professionnels de la sécurité, qui s'en servent pour analyser les intrusions dans les réseaux et bloquer les accès exploités par les pirates, ou par les entreprises de récupération de données, qui reconstituent des fichiers endommagés ou supprimés par erreur. D'autres applications sont possibles, consistant par exemple à vérifier qu'on n'a pas laissé involontairement des informations professionnelles ou personnelles sur un système informatique.

Quoi qu'il en soit, les spécialistes de l'informatique judiciaire seront confrontés à des volumes de données et une complexité des systèmes toujours plus grands. Les détectives numériques sont engagés dans une course aux armements non seulement avec les criminels, mais aussi avec les développeurs des systèmes informatiques. ■



© Dan Roarby / www.danroarby.com

3. LES IMAGES DE SYNTHÈSE
et les retouches numériques de photographies sont devenues si réalistes que des techniques élaborées sont nécessaires pour les reconnaître. Le personnage ci-dessus est factice (en haut, une étape préliminaire de son élaboration).

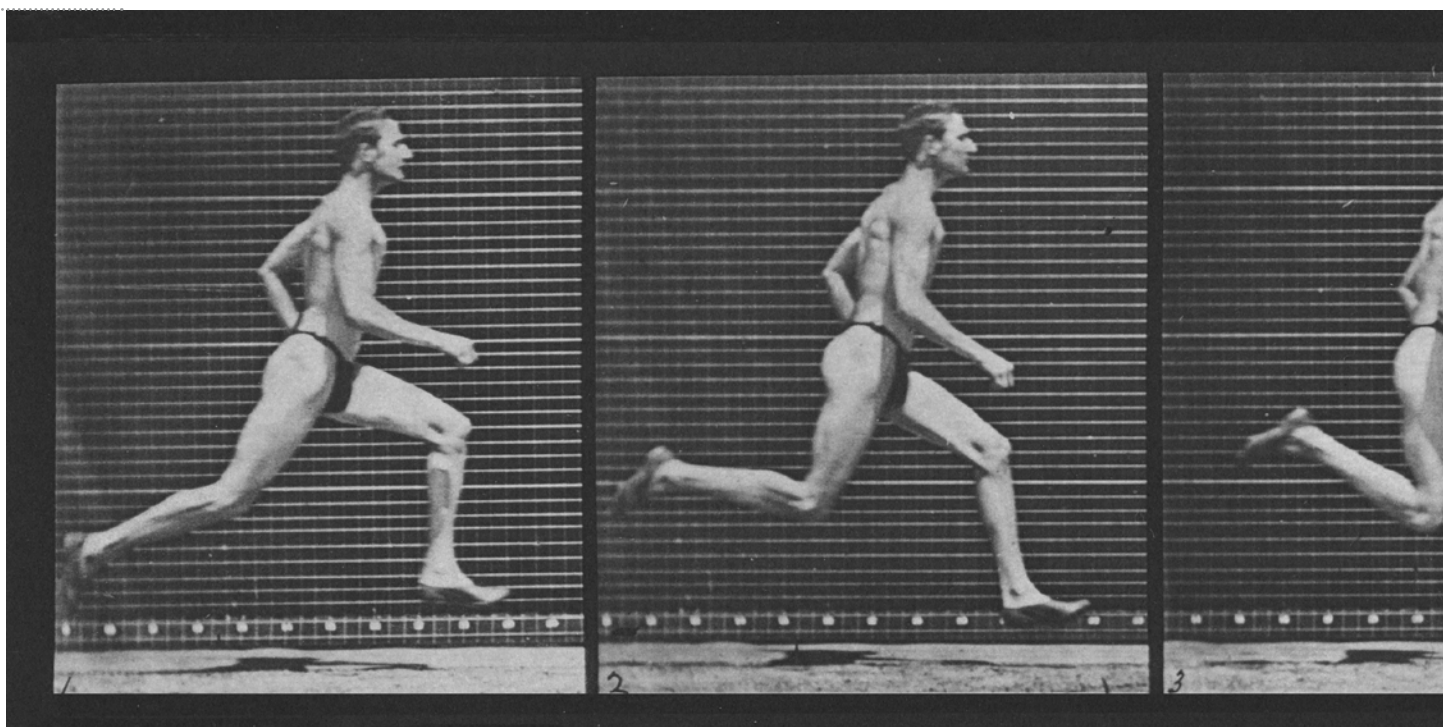
■ BIBLIOGRAPHIE

R. Brown, *Reconstructing corrupt DEFLATEd files*, *Digital Investigation*, vol. 8, pp. S125-S131, 2011.

S. Garfinkel, *Every last byte*, *Journal of Digital Forensics, Security and Law*, vol. 6, pp. 7-8, 2011.

R. Walls et al., *Effective digital forensics research is investigator-centric*, *Proceedings of the Sixth USENIX Workshop on Hot Topics in Security*, pp. 1-7, 2011.

S. Garfinkel et al., *Using purpose-built functions and block hashes to enable small block and subfile forensics*, *Digital Investigation*, vol. 7, pp. S13-S23, 2010.



Les bienfaits du sport

Shari Bassuk, Timothy Church et JoAnn Manson

Une activité physique régulière réduit le risque de développer diverses maladies par de multiples mécanismes que l'on commence à décrypter.

Faire du sport est bon pour la santé. Sans doute, puisque cette « vérité » nous est régulièrement rappelée. Mais pourquoi ? Pourquoi une activité physique régulière améliorerait-elle notre santé et nous maintiendrait-elle en forme ? Avant d'expliquer pourquoi, rappelons que diverses études ont montré, entre autres, que bouger régulièrement réduit le risque de développer un diabète, de mourir d'un accident vasculaire cérébral ou d'une crise cardiaque, prévient certains cancers, améliore le moral, fortifie les os, renforce les muscles, augmente les capacités respiratoires, réduit les risques de chutes et de fractures chez la personne âgée, aide à contrôler l'excès de poids, etc. !

Ces dernières années, les recherches dans ce domaine ont explosé, étendant encore ces observations. Entre autres, l'exercice stimulerait le cerveau – et surtout l'aptitude à mener à bien des tâches qui exigent de l'attention, de l'organisation, de la planification – et réduirait les symptômes de la dépression et de l'anxiété chez certaines personnes. De plus, les bio-

logistes commencent à comprendre les mécanismes déclenchés à l'échelle des cellules et des molécules par une activité physique régulière.

150 minutes d'activité modérée par semaine

Des études sont aussi menées pour savoir comment les divers systèmes de l'organisme – cardiovasculaire, digestif, endocrinien, nerveux, etc. – sont modifiés par l'exercice physique. Elles suggèrent que les bénéfices résulteraient d'une petite amélioration de nombreux aspects physiologiques et non d'un effet important limité à quelques processus biologiques.

On s'est aussi aperçu qu'il n'est pas besoin d'être un adepte du triathlon pour recueillir les fruits de l'exercice physique. Il y a 20 ans, les experts en médecine préventive ne prônaient que l'activité intense. Aujourd'hui, ils insistent aussi sur les bénéfices de séances régulières et modérées. L'une d'entre nous (JoAnn Manson) a contribué à démontrer les bienfaits comparables,



À LA FIN DU XIX^e SIÈCLE, Eadweard Muybridge a réalisé une série de photographies, image par image, pour étudier la locomotion humaine. C'est à présent l'effet de l'activité physique elle-même sur l'organisme que l'on appréhende.

EADWEARD MUYBRIDGE University of Pennsylvania Archives

sur la santé

sur la santé, de l'exercice physique intense ou non, dans le cadre d'études à grande échelle. Conduites de 1976 à 1989, ces études, réalisées sur 238 000 infirmières volontaires, sont parmi les plus vastes menées sur les facteurs influant sur la santé des femmes. À partir de leurs données et d'autres, les dernières directives relatives à l'exercice physique de l'Organisation mondiale de la santé, publiées en 2010, recommandent de pratiquer au moins deux heures et demie d'activité modérée par semaine (la marche rapide, par exemple) ou une heure et quart d'une activité d'endurance soutenue, tel le jogging, une fois par semaine, ainsi que des exercices de renforcement musculaire au moins deux jours par semaine.

Examinons quelques-unes de ces découvertes et des multiples voies par lesquelles l'exercice physique protège et entretient l'organisme. Mais auparavant, rappelons comment le corps réagit à une activité physique accrue. Randonnée en raquettes, natation, marche rapide sur la plage, faire de l'exercice peut prendre de multiples formes et se pratiquer de

L'ESSENTIEL

- Une activité physique régulière, qu'elle soit modérée ou soutenue, réduit le risque de mourir d'une maladie cardiaque, d'un accident vasculaire cérébral, d'un cancer ou d'autres maladies.
- Plusieurs mécanismes par lesquels l'exercice agit sur l'organisme ont été récemment mis au jour.
- Notamment, on comprend mieux pourquoi il favorise la mémoire et facilite le transport du cholestérol, et comment l'organisme s'adapte.

façon plus ou moins soutenue. L'aérobic, par exemple, fait partie des sports qui augmentent considérablement la quantité d'oxygène consommée par les muscles et exigent, par conséquent, un intense travail des poumons. Mais des activités physiques plus statiques – le lever de poids, les exercices d'équilibre – ont aussi leur utilité.

Les scientifiques ont mis au point des méthodes rigoureuses pour mesurer l'intensité des exercices d'aérobic. Il existe aussi un moyen efficace et moins coûteux d'évaluer l'effort produit : le test de la parole. Si votre cœur bat un peu plus vite, qu'il vous est plus difficile de respirer, mais que vous pouvez encore parler ou réciter un poème tout en bougeant, c'est que votre activité reste modérée. Au contraire, si vous ne parvenez plus qu'à balbutier un ou deux mots, c'est que l'exercice est devenu intense. Enfin, si vous pouvez chanter, cela indique que l'exercice est de faible intensité.

Quand on accélère la cadence, le système nerveux prépare les organes à l'action. La conscience est plus aiguë, le rythme cardiaque accélère, la respiration se fait

plus rapide et on transpire légèrement. Le flux sanguin diminue vers les organes qui ne contribuent pas au mouvement, tels que l'appareil digestif et les reins, tandis que les vaisseaux sanguins des muscles sollicités se dilatent, entraînant un afflux de sang riche en oxygène vers ces tissus.

Dans les cellules musculaires, l'oxygène migre vers les mitochondries, des compartiments qui fournissent leur énergie aux cellules. Le carburant des mitochondries est le glucose que l'organisme produit à partir des aliments. Combiné au glucose, l'oxygène déclenche une combustion très efficace, produisant presque 20 fois plus d'énergie par molécule de glucose qu'en l'absence d'oxygène.

Bon pour la mémoire

Dans un premier temps, l'organisme brûle les molécules de glucose stockées dans le foie et les muscles sous forme d'un composé nommé glycogène. Au cours de l'activité physique, le stock de glycogène disponible diminue et les molécules de triglycérides (ils contiennent des acides gras) deviennent la source principale de carburant. La combustion donne certains sous-produits, tels l'acide lactique et le dioxyde de carbone, qui, des muscles, passent dans le sang. La concentration accrue de ces composés provoque des réactions biochimiques dans le cerveau, les poumons et le cœur, lesquelles facilitent leur élimination.

Les bienfaits de l'exercice se font sentir quand celui-ci devient une routine. L'organisme s'adapte aux exigences accrues dont il fait l'objet et acquiert de l'endurance à mesure que la personne devient plus performante. Par exemple, les poumons absorbent davantage d'oxygène à mesure que la respiration devient plus profonde et que le cœur pompe plus de sang à chaque battement. Les modifications biologiques qui en résultent améliorent la santé à long terme.

De nombreuses données confirment les effets de l'exercice physique sur l'organisme, qu'il s'agisse des mécanismes physiologiques ou de l'activité de certains gènes (voir l'encadré page ci-contre et l'article de David Meyre, page 62). Nous nous concentrerons ici sur quelques mécanismes récemment découverts qui contribuent à expliquer pourquoi l'exercice physique accroît les capacités cognitives, améliore le contrôle de la concentration de glucose dans le sang et renforce le système cardiovasculaire.

■ LES AUTEURS



Shari BASSUK est épidémiologiste au Brigham and Women's Hospital, à Boston, aux États-Unis, et chercheuse associée à la Faculté de médecine Harvard, à Boston.



Timothy Church dirige le Laboratoire de recherche en médecine préventive. Il est professeur au Centre de recherche biomédicale Pennington à l'Université de Louisiane, aux États-Unis.



JoAnn Manson dirige le Département de médecine préventive au Brigham and Women's Hospital. Elle enseigne l'épidémiologie à l'École de santé publique de l'Université Harvard.

Depuis longtemps, les athlètes savent que le sport est bon pour le moral et améliore la santé psychique. Mais ce n'est qu'en 2008 que l'on a pu mesurer l'état d'euphorie des sportifs après un effort prolongé. On a montré que le cerveau libère plus d'endorphines (des hormones comparables aux opiacés qui procurent un sentiment de plaisir) durant une course de fond que pendant un exercice de courte durée, et que ces substances sont actives dans des régions du cerveau responsables des émotions fortes.

Plus récemment, des neuroscientifiques se sont intéressés aux modifications chimiques du cerveau associées à l'exercice et qui améliorent la capacité de concentration, de réflexion et de prise de décision. En 2011, une étude réalisée sur 120 personnes âgées de 55 à 80 ans par Kirk Erickson, de l'Université de Pittsburg, aux États-Unis, a montré que l'exercice physique augmente la taille de l'hippocampe, une région du cerveau impliquée dans la mémoire. La région modifiée par l'exercice serait celle qui permet de se souvenir de son environnement familial. Il s'agirait aussi de l'une des rares zones du cerveau qui fabriquent de nouveaux neurones – du moins chez le rat. Les nouveaux neurones aideraient à distinguer des événements et des objets qui se ressemblent. Des études réalisées sur des animaux ont aussi montré que l'exercice physique augmente la concentration du composé responsable du déclenchement de leur croissance – le facteur neurotrophique dérivé du cerveau ou BDNF.

Les travaux sur la façon dont l'exercice physique prévient les maladies cardiaques, quant à eux, remettent en question les mécanismes envisagés. On pensait qu'une activité régulière réduisait les risques cardiovasculaires, notamment en diminuant la pression sanguine et en abaissant la concentration de « mauvais cholestérol », la particule LDL (*low density lipoprotein* ou lipoprotéine de basse densité), dans le sang, tout en augmentant celle du « bon cholestérol », la particule HDL (*high density lipoprotein*). Ce n'était vrai qu'en partie. Si l'exercice physique réduit la pression sanguine chez certaines personnes, pour la plupart des gens, ce bénéfice reste assez limité. De plus, l'exercice physique, en particulier les exercices de résistance tels que la musculation, peut augmenter la concentration de HDL dans le sang – un

changement qui se révèle au bout de plusieurs mois –, mais l'effet est limité.

Un meilleur transport du cholestérol

D'autres analyses ont montré que l'exercice physique agit sur les lipoprotéines LDL davantage en modifiant leurs propriétés qu'en diminuant leur concentration dans le sang. En fait, les lipoprotéines LDL (et HDL) sont des particules constituées de protéines et de lipides qui transportent le cholestérol, un lipide, dans le sang. Produites dans le foie, les particules LDL acheminent le cholestérol jusqu'aux tissus, où il participe à la fabrication des membranes cellulaires (les particules HDL, quant à elles, transportent le surplus de cholestérol vers le foie, d'où il est excrété dans la bile). Les particules de LDL peuvent présenter différentes tailles.

Plusieurs biologistes ont récemment découvert que les particules LDL les plus petites sont les plus néfastes. Par exemple,

elles ont tendance à perdre des électrons qui, au sein des vaisseaux, percutent d'autres molécules ou des cellules et les endommagent. En revanche, les grosses particules LDL, beaucoup plus stables, flottent dans le sang sans entrer en collision avec d'autres molécules.

Or des études montrent aussi que l'exercice physique augmente le nombre de grosses molécules LDL, les moins nocives, tout en diminuant le nombre des petites. Leur proportion est modifiée par la stimulation de l'activité d'une enzyme, la lipoprotéine lipase, dans le tissu adipeux et les muscles. Ainsi, deux personnes ayant des concentrations sanguines de cholestérol similaires ne courent pas les mêmes risques de développer une maladie cardiovasculaire. Une personne inactive, plus susceptible d'avoir une proportion importante de petites particules LDL, aura plus de risques d'être victime d'une crise cardiaque que celle qui pratique un sport régulier.

Une activité physique régulière a une incidence favorable sur un autre composant essentiel du sang : le glucose. Le foie, le pancréas et les muscles squelettiques – qui font bouger la tête, les bras, les jambes et le torse – travaillent de conserve afin d'assurer à chaque partie du corps la dose de sucre dont il a besoin, que l'on soit au repos ou actif. L'exercice physique demandant un travail important des muscles squelettiques, ceux-ci nécessitent un apport accru de glucose. Sur le long terme, les fibres musculaires utilisent le glucose de façon plus efficace, ce qui les rend plus robustes.

Le foie répond à une demande croissante en carburant en libérant des molécules de glucose dans le sang, et le pancréas sécrète l'insuline, une hormone qui favorise l'entrée du glucose sanguin dans les cellules. La glycémie (la concentration de glucose dans le sang) reste ainsi comprise entre 0,7 et 1,4 gramme par litre – du moins chez les personnes non diabétiques. Le maintien de la glycémie est vital : une concentration

QUELQUES BÉNÉFICES ASSOCIÉS À L'EXERCICE PHYSIQUE

Une activité physique soutenue modifie notre corps de la tête aux pieds. Voici un aperçu sur quelques-uns des effets les moins connus.

Système immunitaire

Une activité physique régulière protège le corps des inflammations. Néanmoins, trop d'exercice peut réduire la capacité du système immunitaire à éliminer les micro-organismes pathogènes.

Cancer

L'activité physique réduit le risque de certains cancers, tels le cancer colorectal et celui du sein.

Système musculosquelettique

Des exercices réguliers d'équilibre ou de mise en charge contribuent à éviter les fractures et les chutes. L'activité physique réduit la fatigue quotidienne en augmentant l'efficacité musculaire.

Système nerveux

Faire de l'exercice améliore la fonction cognitive. En particulier, l'aérobic aide les personnes âgées à s'organiser, planifier et se concentrer.

Système endocrinien

Faire de l'exercice améliore l'efficacité de l'insuline et stimule une autre hormone, l'adiponectine. Ces modifications diminuent le risque de diabète de type 2 et de troubles métaboliques.

Génétique

Des gènes spécifiques sont activés ou inhibés selon l'activité physique. Des gènes de prédisposition à diverses maladies métaboliques sont inhibés, diminuant le risque de développer une de ces maladies.

trop faible en glucose peut entraîner le coma, voire la mort en quelques minutes, et trop de sucre dans le sang perturbe le fonctionnement des cellules.

Un moyen de lutter contre le diabète

Quand l'exercice physique est quotidien, les muscles deviennent plus sensibles aux effets de l'insuline. Le pancréas travaille donc moins à la régulation de la glycémie : une concentration plus faible d'insuline fournit les mêmes résultats que les quantités supérieures auparavant. Diverses études suggèrent en outre que l'activité physique favoriserait l'absorption du glucose par une autre voie, indépendante de l'insuline.

Faire plus avec moins d'insuline est particulièrement utile pour les individus souffrant de diabète de type 2. Leur organisme ne parvient plus à réguler la glycémie, souvent parce qu'il est devenu résistant aux effets de l'hormone. L'activité physique est ainsi devenue un élément clé de la gestion du diabète de type 2. Il est aussi maintenant

bien établi que l'activité physique régulière, en améliorant le contrôle de la glycémie, peut prévenir ou retarder la survenue d'un diabète de type 2.

Une concentration importante d'insuline dans le sang – comme c'est le cas chez les personnes diabétiques de type 2 – serait aussi associée à un risque supérieur de développer un cancer, en particulier du sein ou du côlon. Un des rôles de l'insuline serait en effet de déclencher la prolifération de cellules. En réduisant la concentration d'insuline dans le sang, une pratique sportive régulière diminuerait ainsi le risque de développer un cancer.

On a également constaté que les personnes diabétiques semblent retirer davantage de bénéfices de l'activité physique si elle est diversifiée : deux vastes essais cliniques ont montré que la combinaison d'aérobie et d'exercices de résistance améliore plus la régulation de la glycémie que la pratique d'une seule de ces disciplines. La première étude, réalisée en 2007, ne permettait pas de déterminer si les bénéfices étaient dus à la pratique des

deux types d'exercices ou au fait que les personnes concernées s'entraînaient plus longtemps que celles qui ne pratiquaient qu'une seule activité physique. Mais la seconde étude, menée par l'un d'entre nous (Timothy Church), a levé l'incertitude. Quatre groupes ont été constitués à partir de 262 hommes et femmes diabétiques, jusque-là sédentaires : l'un s'adonnant à l'aérobie (tapis roulant), un deuxième à des exercices d'endurance (rameur, par exemple), le troisième pratiquant les deux. Le quatrième – le groupe de contrôle – a enchaîné chaque semaine des séances de stretching et de relaxation.

Les trois premiers groupes ont fourni le même effort sur une même durée (environ 2 heures et 10 minutes par semaine pendant neuf mois). Ils ont tous perdu quelques centimètres de tour de taille, et les deux groupes ayant pratiqué l'aérobie ont amélioré leur forme physique. Mais seuls les participants ayant pratiqué à la fois l'aérobie et un exercice d'endurance ont obtenu une baisse notable de leur glycémie moyenne. Ces bénéfices supplémentaires

Sport et santé en France et en Europe

Les bienfaits de l'activité physique sont aujourd'hui avérés : réduction du risque de maladies cardiovasculaires, des cancers du sein et du côlon, du diabète et des maladies métaboliques ; meilleur contrôle du poids ; amélioration de la santé mentale et de l'estime de soi ; renforcement des capacités d'apprentissage. En outre, l'exercice physique est un déterminant essentiel de la dépense énergétique ; il est donc fondamental pour l'équilibre et le contrôle du poids.

En revanche, les effets de la sédentarité se répercutent tant dans les dépenses de santé publique que dans les pertes de production, en raison des maladies et des décès prématurés qu'elle entraîne. La sédentarité augmente dans nombre de pays, quels que soient leurs revenus, et, avec elle, la prévalence des maladies non transmissibles telles que les maladies cardiovasculaires, le diabète et le cancer. Selon l'Organisation mondiale de la santé, la sédentarité constitue la cause principale d'environ 21 à 25 pour cent des cancers du sein et du côlon, 27 pour

cent du diabète et environ 30 pour cent des maladies cardiaques ischémiques. La sédentarité serait le quatrième facteur de risque de mortalité à l'échelle mondiale après l'hypertension, le tabagisme et une glycémie trop élevée. Les recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé sont donc axées sur la prévention primaire des maladies non transmissibles, même si leur effet se fait aussi sentir sur la prévention de certaines maladies infectieuses.

En France, selon une enquête menée en 2010 entre autres par l'Institut national du sport et de l'éducation physique (INSEP) sur les pratiques physiques et sportives, 20 pour cent des personnes de 15 ans et plus déclaraient avoir pratiqué, au cours des 12 derniers mois, une activité physique ou sportive moins d'une fois par semaine, 11 pour cent n'en avaient jamais pratiqué. En Europe, 40 pour cent des citoyens pratiquent régulièrement une activité physique et sportive, tandis que 39 pour cent ne pratiquent jamais d'activité, selon une étude de 2010 de l'Euroba-

romètre. Par comparaison et de façon générale, les citoyens des pays nordiques et des Pays-Bas sont les plus sportifs de l'Union européenne. Forts de ces constats, plusieurs plans nationaux et européens ont vu le jour ou ont été renforcés.

En France, les actions dans ce sens sont multiples : Plan national de prévention par l'activité physique et sportive (PNAPS 2008), Plan national sport santé bien-être 2012, diverses campagnes. Un quart des objectifs du Plan national nutrition santé 2011-2015 est ainsi consacré à la promotion de l'activité physique et à la lutte contre la sédentarité à tous les âges, notamment par la valorisation des transports actifs.

Une action particulière est menée auprès des adolescents, dont 40 pour cent ne pratiquent pas de sport en dehors des cours dispensés à l'école, parmi lesquels 15 à 20 pour cent sont en surpoids. En 2011, l'étude ICAPS (Intervention auprès des collégiens centrée sur l'activité physique et la sédentarité), conduite de 2002 à 2006 auprès de 1 000 élèves de sixième,

avait montré que la promotion de l'activité physique régulière (notamment en facilitant son accessibilité) permet de prévenir la sédentarité et l'obésité chez les jeunes : au terme des quatre ans de l'expérience, 79 pour cent des jeunes qui avaient bénéficié du dispositif de promotion pratiquaient au moins une activité physique encadrée, contre 47 pour cent des élèves témoins. De plus, l'intervention avait diminué de près de 50 pour cent le risque de surpoids chez les enfants bénéficiaires et avait réduit certains facteurs de risques cardiovasculaires. Depuis, la stratégie mise en œuvre lors de l'étude est déployée sur des sites pilotes et devrait s'étendre, à terme, à l'ensemble du territoire.

À l'échelle européenne, des recommandations en matière d'activité physique ont été formulées dès 2008. Un plan de travail européen sur le sport a été mis en place en 2011 et devrait très prochainement communiquer ses conclusions.

Julien Schipman, Philippe Noirez et Jean-François Toussaint
IRMES, INSEP, Paris

suggèrent que les exercices d'aérobic et d'endurance agissent *via* des mécanismes différents – une hypothèse que diverses équipes, notamment au Centre de recherche biomédicale Pennington, à Baton Rouge en Louisiane (États-Unis), tentent d'exploiter.

De fait, les mécanismes d'adaptation à l'exercice physique régulier sont multiples, comme le suggère la découverte récente d'un ensemble de voies de signalisation et de molécules régulatrices impliquées dans la coordination des réponses adaptatives à l'exercice. La pratique d'un sport régulier, par exemple, renforce les muscles en modifiant la production de protéines régulatrices ou en activant diverses enzymes, les ones stimulant la transformation des fibres musculaires, les autres la reprogrammation du métabolisme musculaire, et d'autres encore, la formation de nouvelles mitochondries, les « usines » de production de l'énergie. Plus ces dernières sont nombreuses, plus les cellules peuvent convertir de glucose en énergie, augmentant ainsi la force et la résistance à la fatigue des muscles (*voir l'encadré ci-contre*).

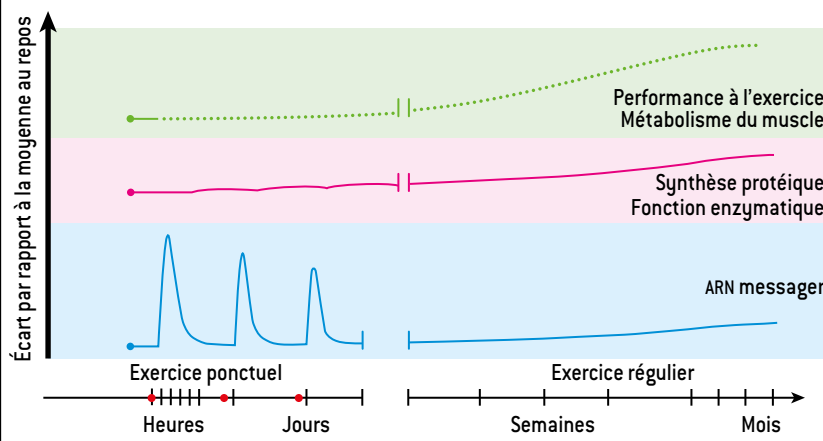
Rester assis est risqué

Malgré les multiples bienfaits de l'exercice physique, même d'intensité moyenne, les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé sont loin d'être suivies. Aux États-Unis, seuls 52 pour cent des adultes suivent les directives en matière d'exercice aérobic et 29 pour cent font travailler leurs muscles 30 minutes, deux fois par semaine, comme il est préconisé. Seul un Américain sur cinq pratique à la fois de l'aérobic et des exercices de résistance musculaire. Les Européens et les Français ne font pas mieux (*voir l'encadré page ci-contre*).

La difficulté de modifier les habitudes des personnes sédentaires a conduit les scientifiques à s'interroger sur les bienfaits éventuels de séances d'exercices plus brèves et peu intenses, avec l'espoir que des résultats positifs convaincront les plus réfractaires de changer leurs habitudes. Les premières analyses suggèrent que même un minimum d'exercices quotidien peut prolonger un peu la durée de vie. En 2012 ont été analysées les données de six études ayant suivi pendant environ dix ans un total de 655 000 adultes vivant aux États-Unis. Les personnes consacrant ne serait-ce que 11 minutes par jour à des activités telles que la marche, le vélo,

COMMENT LE MUSCLE S'ADAPTE À L'EXERCICE

Les études montrent que si chaque séance d'exercice stimule les mécanismes d'adaptation, seule la répétition de ce stimulus, et donc une activité physique régulière, modifie les caractéristiques des muscles squelettiques. Après une séance, l'expression d'un gène donné (ici en ARN messager) augmente de façon rapide pendant quelques heures, entraînant une légère augmentation de la synthèse d'une protéine (ou de l'activité d'une enzyme). La répétition régulière de l'exercice conduit ainsi à l'accumulation de la protéine (une plus grande activité de l'enzyme) en réponse aux pics répétés d'expression du gène. Ce changement augmente la réponse métabolique du muscle à l'exercice, ce qui améliore ses performances. Ces modifications touchent ainsi de nombreux gènes impliqués dans diverses fonctions coopérant au fonctionnement du muscle.



Adapté de Cell Metabolism, vol. 17, B. Egan et J. Zierath, 2013, avec la permission de Elsevier

BIBLIOGRAPHIE

B. Egan et J. Zierath, **Exercise metabolism and molecular regulation of skeletal muscle adaptation**, *Cell Metabolism*, vol. 17, pp. 162-184, 2013.

Recommandations mondiales en matière d'activité physique pour la santé, OMS, 2010 : whqlibdoc.who.int/publications/2010/9789241599979_eng.pdf

Sh. Colberg *et al.*, **Exercise and type 2 diabetes**, *Diabetes care*, vol. 33, e147-e167, 2010.

T. Church *et al.*, **Effects of aerobic and resistance training on hemoglobin A1c levels in patients with type 2 diabetes : a randomized controlled trial**, *JAMA*, vol. 304, pp. 2253-2262, 2010.

R. Sigal *et al.*, **Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes : a randomized trial**, *Ann. Intern. Med.*, vol. 147, pp. 357-369, 2007.

la montée d'un escalier ou du jardinage gagneraient 1,8 année de vie après l'âge de 40 ans, comparées à leurs congénères inactifs. Les participants ayant pratiqué une activité physique modérée telle qu'elle est recommandée par les directives ont quant à eux une espérance de vie supérieure de 3,4 années. Et ceux qui accomplissent entre une heure et une heure et demie d'exercices physiques par jour peuvent espérer 4,2 années de vie en plus.

En revanche, rester assis plus de six heures par jour peut être néfaste pour la santé – et ce, même si l'on pratique quelques séances intenses d'entraînement par ailleurs. Le problème vient-il de la position assise ou de l'absence de mouvement associée ? La question reste ouverte.

Le message de l'ensemble de ces études est clair : bouger de façon régulière et prolongée – tout en gérant le niveau d'intensité de l'activité avec les précautions requises – doit faire partie des habitudes de chacun. Campagnes de santé publique, prescriptions médicales lors de visites de routine, aménagements urbains facilitant l'activité physique, c'est en attaquant la sédentarité par tous les fronts que l'on parviendra à modifier les habitudes. ■

Du sport pour lutter contre les gènes à risque



David Meyre

Le sport est dépassement de soi. Cette citation d'Aimé Jacquet, sélectionneur français de football et champion du monde en 1998, trouve un écho particulier dans les récentes découvertes en génomique. La pratique du sport diminuerait l'impact négatif de nos gènes dans le développement des maladies cardiométaboliques. À l'échelle des populations, les bienfaits du sport sur la santé sont avérés (*voir l'article de Shari Bassuk et al., page 56*). Cependant, les scientifiques ont remarqué que la pratique d'un sport bénéficie plus à certaines personnes qu'à d'autres. Examinons les découvertes récentes en génomique qui expliquent ces différences entre individus.

En matière de santé, une mauvaise nouvelle arrive rarement seule. Certains individus tendent ainsi à développer simultanément plusieurs complications, rassemblées sous le nom de syndrome métabolique : glycémie élevée (résistance à l'insuline), hypertension artérielle, concentration sanguine élevée de triglycérides, faible concentration de « bon » cholestérol, obésité. Les personnes cumulant au moins trois de ces cinq facteurs de risque sont considérées comme souffrant du syndrome

métabolique. La résistance à l'insuline liée au surpoids jouerait un rôle majeur dans l'apparition du syndrome métabolique. Elle touche aujourd'hui un Américain sur quatre et constitue les prémices de complications de santé plus graves telles que le diabète de type 2 ou les maladies cardiovasculaires. Sa fréquence toujours plus élevée dans la population mondiale constitue un enjeu de santé publique de premier plan. L'apparition du syndrome métabolique est favorisée par la « malbouffe », la sédentarité, les perturbateurs endocriniens présents dans notre environnement (pesticides, dioxines), mais aussi par une prédisposition génétique.

Il y a 125 ans, le scientifique anglais Sir Francis Galton rapportait déjà dans ses écrits l'abondance de cas d'obésité dans certaines familles, signe de l'existence d'une composante héréditaire. Le séquençage du génome humain en 2001, suivi de la mise au point de puces à ADN permettant l'étude de millions de variants génétiques, a donné les moyens aux scientifiques d'identifier plusieurs centaines de gènes qui modulent les différentes composantes du syndrome métabolique – des gènes à risque. Cette récente moisson a constitué une occasion

unique d'explorer si les facteurs environnementaux, incluant la pratique d'une activité physique, modulaient l'impact de ces gènes à risque sur le développement de complications métaboliques.

La comparaison de l'indice de masse corporelle (le rapport du poids en kilogrammes par le carré de la taille en mètres) de milliers de vrais et de faux jumeaux (qui partagent respectivement 100 et 50 pour cent de leur génome) a montré que 70 pour cent de la variation de notre corpulence sont pilotés par les gènes. Ce résultat suggère que notre destinée pondérale est déterminée d'avance par la loterie génétique. Cependant, plusieurs études portant sur des jumeaux américains ou nord-européens ont montré que la pratique régulière d'une activité physique non seulement réduit le poids, mais diminue de moitié la contribution des facteurs génétiques dans la détermination de la corpulence. En d'autres termes, il est possible de lutter contre ses gènes à risque grâce au sport.

Les observations sur les jumeaux ont été confirmées par des études sur les gènes de prédisposition à l'obésité dans la population. Les porteurs de deux copies mutées