



HAL
open science

Effets physiologiques de l'activité physique

Thierry Paillard

► **To cite this version:**

| Thierry Paillard. Effets physiologiques de l'activité physique. 2016. hal-02360915

HAL Id: hal-02360915

<https://hal.science/hal-02360915>

Submitted on 13 Jun 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

Effets physiologiques de l'activité physique

Physiological adaptations with physical activity

Frédéric Costes

Université Clermont Auvergne, INRAE, UNH, CHU Clermont Ferrand France

Service de Médecine du Sport et des Explorations Fonctionnelles, CHU Clermont Ferrand.

Auteur correspondant :

Pr F COSTES, Service de Médecine du Sport et des Explorations Fonctionnelles

CHU G Montpied, 58 rue Montalembert 63003 Clermont Ferrand cedex 1

Tel /fax : 0473751665/0473751661

Mail : fcostes@chu-clermontferrand.fr

Résumé

Les adaptations de l'organisme avec l'activité physique (AP) sont multiples et touchent tous les organes. Parmi celles-ci citons les fonctions musculaire, cardiovasculaire, le métabolisme, la masse osseuse, l'état psychique, le sommeil, la douleur et l'immunité. Ces adaptations bénéfiques pour la santé permettent d'augmenter la capacité maximale aérobie (VO₂max) ou la force musculaire qui sont de puissants prédicteurs de mortalité (diminution de 12 % de mortalité par augmentation de 3,5 ml/kg/min de VO₂max). La nature et l'amplitude de ces effets sont dépendantes du type d'AP réalisées (exercices en endurance ou en résistance) du cadre dans lequel elles sont réalisées (loisir, domestique, professionnelle) et de la dose. Ces adaptations sont observées à tous les âges de la vie et elles sont d'autant plus importantes chez le sujet âgé où elles peuvent ralentir l'effet du vieillissement en améliorant les facteurs de risque cardiovasculaire et en luttant contre la sarcopénie.

Mots-clés :

fonction cardiovasculaire / muscle squelettique/ entraînement physique / métabolisme

Abstract

Numerous adaptations have been observed with physical activity (PA), interesting every organs. Among them, skeletal muscle and cardiovascular functions, metabolism, bone mass, mental state, sleep, pain and immunity are the more evident. These beneficial health-related adaptations are associated with an increase in maximal aerobic capacity (VO₂max) or muscle strength which are strong predictors of survival (12 % decrease of death per 3,5 ml/kg/min increase of VO₂max). These effects and their magnitude are linked to the type of PA performed (leisure time, domestic , occupational tasks) and their duration/frequency. These adaptations are observed all along the life span but are particularly important during elderly when they can slow down the aging process by improving cardiovascular risk factors and sarcopenia.

Keywords :

cardiovascular function / skeletal muscle / exercise training / metabolism

L'exercice est une médecine professait déjà Hippocrate. Plus récemment, des rapports de l'ANSES et de l'INSERM [1,2] ont synthétisé les données concernant les adaptations physiologiques avec l'activité physique (AP) ainsi que les effets bénéfiques sur la prévention des maladies. Des adaptations intéressent de multiples organes et fonctions schématisée dans la figure 1; dans ce texte, nous allons décrire les plus importantes et les mécanismes biologiques qui les expliquent. Bien qu'il s'agisse d'un apport majeur pour la santé, nous ne traiterons pas de l'effet reconnu de l'AP sur la prévention de 35 maladies.

1. Capacité physique

La capacité maximale aérobie est habituellement déterminée par la mesure de la consommation maximale d'oxygène ($VO_2\text{max}$) lors d'un test d'effort incrémental mené jusqu'à l'épuisement. $VO_2\text{max}$ correspond à la capacité maximale des systèmes respiratoire et cardiovasculaire à apporter l'oxygène aux muscles actifs, traduisant l'aptitude du sujet à réaliser un effort intense et par analogie peut être comparée à la cylindrée d'un moteur. Elle peut également être estimée à partir de tests sous-maximaux, ou de la puissance maximale d'exercice. $VO_2\text{max}$ est un puissant facteur de mortalité, indépendamment du genre, de l'âge, des facteurs de risque cardiovasculaires ou de l'existence de pathologies [3]. Il s'agit d'un paramètre qui diminue régulièrement avec l'âge, environ 10 % par décade après 30 ans. Néanmoins, $VO_2\text{max}$ est modifiable par la pratique régulière d'une activité physique ou d'un entraînement en endurance [4]. Une augmentation de $VO_2\text{max}$ de 10 à 15 % (soit 3 à 5 ml/kg/min) est mesurée habituellement après un entraînement endurant de 6 à 8 semaines chez un sujet d'aptitude moyenne ou, à plus long terme, après une reprise régulière des activités physiques quotidiennes. Ce gain a un impact sur la survie puisque, il a été montré sur un suivi de 20 ans, qu'une augmentation de 1 MET de la capacité maximale

aérobie (3,5 ml O₂/kg/min) est associée à une réduction de 12 % de la mortalité. De plus les sujets initialement non entraînés qui amélioreraient leur capacité maximale pendant le suivi voyaient leur risque de décès diminuer de 35 % [5]. Un niveau de 15 à 18 ml/kg/min est considéré comme le seuil minimal pour préserver l'indépendance fonctionnelle des sujets. Ceci correspond à marcher entre 4 et 5 km/h, à plat ou avec une faible pente, monter lentement des étages, activités de jardinage alors que le coût métabolique des activités de la vie quotidienne (prendre soin de soi, tâches ménagères...) se situant entre 8 à 12 ml/kg/min.

Lors de l'épreuve d'effort cardiorespiratoire, la mesure du seuil ventilatoire permet également d'apprécier le niveau d'indépendance fonctionnelle. Il s'agit de l'intensité des efforts pouvant être maintenus sans inconfort (dyspnée ou fatigue) et elle se situe approximativement à 60-70 % de VO₂max. Sa diminution (<40%VO₂max théorique) traduit un déconditionnement musculaire et altère la qualité de vie des sujets quand il se situe au niveau ou en dessous du coût des activités de la vie quotidienne (soit 2 à 4 METs).

2. Adaptations musculaires

La réalisation d'un exercice physique, d'intensité suffisante, aboutit à un déséquilibre de l'homéostasie musculaire, induisant une réponse biologique (facteurs de transcription) et la répétition de ces réponses avec l'entraînement permet les modifications du phénotype [6].

Les exercices dits endurants améliorent la capillarisation des fibres, la sensibilité à l'insuline, le volume des mitochondries et leur fonction (augmentation de l'expression de PGC1a et de SIRT3, augmentation des enzymes oxydatives, diminution de l'index de fission). Les exercices dits résistants augmentent la masse et la force des groupes musculaires stimulés, impliquant des processus intracellulaires de protéosynthèse sous le contrôle de la voie IGF1/AKT/mTOR, avec une inhibition concomitante des voies de protéolyse ubiquitine-dépendantes ou

autophagie [7]. Les recommandations d'AP préconisent de combiner les exercices endurants avec un renforcement musculaire afin d'optimiser les effets musculaires. Ceci est d'autant plus important qu'il s'agit de sujets âgés ou présentant une pathologie chronique afin de contre-carrer le développement d'une sarcopénie. En effet chez des sujets en bonne santé, une méta-analyse récente a retrouvé un impact positif de la force de préhension de la main sur la mortalité (HR 0,69), avec un effet plus marqué chez les femmes [8] ; un effet comparable mais de moindre amplitude est noté avec la force du quadriceps (HR 0,86). Une influence de la perte de force du handgrip sur la mortalité a également été mise en évidence dans plusieurs groupes de patients souffrant de pathologie aiguë (soins intensifs) ou chronique (cancer, insuffisances respiratoire, rénale) [9]. Chez le sujet âgé, des adaptations musculaires sont constatées après des programmes d'entraînement tant en endurance qu'en résistance de façon comparable à celles constatées chez des sujets plus jeunes [10]. Les exercices de renforcement musculaire permettent d'améliorer la masse musculaire et le rapport force/masse traduisant une amélioration de l'activation motrice. Il a été montré chez la personne âgée, que l'activité physique, incluant un renforcement musculaire, diminue la fatigabilité (gain d'endurance musculaire), permet de réduire le risque de chute, d'améliorer l'indépendance fonctionnelle (augmentation de la souplesse) et ralentit le déclin cognitif d'autant plus que l'AP est importante.

Le muscle squelettique est actuellement reconnu comme un organe sécrétoire, « dialoguant » avec les autres tissus dont le tissu adipeux, et les myokines produites modulent des réponses métaboliques en réponse à l'exercice. L'interleukine 6 est la myokine la plus étudiée, exerçant une action régulatrice de la glycémie en stimulant la captation musculaire du glucose et en augmentant la sécrétion d'insuline [11]. Elle a par ailleurs des effets sur l'hypertrophie musculaire et l'angiogénèse. Parmi, les nombreuses cytokines

musculaires citons l'irisin qui permet la transformation de la graisse blanche en brune et augmente la dépense énergétique, l'IL15 qui stimule le fonctionnement mitochondrial, diminue l'insulinorésistance et inhibe l'inflammation. Enfin, la myostatine et la myonectine sont des régulateurs négatifs de la masse musculaire [12].

Le dernier niveau de régulation des adaptations musculaires avec l'exercice aigu ou l'entraînement est représenté par des modifications épigénétiques, comme la méthylation des promoteurs de PGC1 α , PPAR γ ou l'acétylation des histones de GLUT4, impliqués dans le métabolisme énergétique, glucidique et l'adipogénèse. Enfin la stabilité des ARN messagers peut être modulée par l'AP, avec la sur- ou sous-expression de microARN (miR 1, 181, 308, 499...) dont certains sont spécifiques du muscle squelettique [6,13]

3. Effets cardiovasculaires

La mortalité et l'incidence de la maladie coronarienne sont diminuées avec l'activité physique, avec une réduction du risque de 20 à 50 % selon la quantité d'AP réalisée [14]. Une augmentation de 1 MET de la capacité maximale aérobie diminue de 15 % la mortalité cardiovasculaire et de 12 % la mortalité générale [15]. Ceci est observé dès des faibles niveaux d'AP (15 minutes quotidienne d'AP d'intensité modérée). Cet effet est plus marqué pour les activités de loisir que celles liées au travail ou aux activités domestiques. Il paraît indépendant de l'effet direct de l'AP sur le poids corporel des sujets. Ce bénéfice est retrouvé, mais à un moindre degré, chez les sujets ayant des facteurs de risque cardiovasculaires tels que l'obésité, l'hypertension artérielle, le syndrome métabolique ou le diabète de type 2.

Cet effet protecteur de l'AP sur le cœur est expliqué par le remodelage cardiaque constaté chez les sujets entraînés par rapport aux inactifs (hypertrophie myocardique, augmentation

du volume télédiastolique, et de la vitesse de relaxation) conduisant à augmenter le débit cardiaque maximal et par là VO₂max. L'AP régulière et fréquente tout au long de la vie (4 à 5 séances hebdomadaires) permet de contre-carrer le vieillissement physiologique cardiovasculaire, en améliorant la compliance et la distensibilité ventriculaire [16]. Par ailleurs, l'entraînement physique permet de diminuer la fréquence cardiaque de repos et la vitesse de récupération après un exercice. La FC de repos plus basse offre une capacité d'augmentation plus large, la fréquence cardiaque maximale étant fixe pour un sujet donné et à un âge donné. Cette adaptation bénéfique est liée à l'augmentation du tonus parasympathique cardiaque.

De plus la fonction endothéliale vasodilatatrice est améliorée, ce qui permet d'augmenter la libération de monoxyde d'azote, y compris au niveau de la microcirculation coronarienne [17]. On a également mis en évidence une production de cytokines protectrices et de précurseurs endothéliaux circulants. D'autre part, l'AP améliore le profil lipidique (diminution du LDL cholestérol et des triglycérides, augmentation du HDL) ce qui réduit l'effet du LDL Cholestérol pour la formation de la plaque d'athérome, et donc la survenue de pathologie cardiovasculaire. Au niveau des cardiomyocytes, des adaptations biologiques ont été retrouvées au niveau de la traduction des protéines SERCA2 et phospholambane impliquées dans les mouvements calciques, permettant une augmentation de la contractilité et de la relaxation [18].

La pression artérielle augmente avec l'inactivité physique et l'impact est plus marqué chez l'hypertendu. L'AP régulière permet de diminuer la pression artérielle, avec en moyenne une réduction de 3,4 et 2,4 mmHg des pressions systolique et diastolique avec 3 à 5 séances d'AP par semaine [19]. Or un effet sur l'incidence des pathologies cardiovasculaires est

observé dès une réduction de 1 mmHg. Cet effet s'explique par la diminution des résistances périphériques liée à une meilleure capacité de vasodilatation NO dépendante.

Enfin, les AP d'intensité modérée à élevée (mais pas faible) permettent de réduire le risque d'accidents vasculaires cérébraux (AVC) de 10 à 30 %. Ceci a pu être montré chez les sujets courant plus de 8 km par jour par rapport à ceux courant moins de 2 km, avec une réduction du risque de 60 %. Cet effet bénéfique est lié à une réduction de l'épaisseur intima media de la carotide, ainsi qu'une diminution du fibrinogène et de l'activation plaquettaire qui participent à la survenue de l'AVC.

4. Effets métaboliques

L'AP a un effet bénéfique sur le poids quel que soit l'âge du sujet. Elle est associée à une diminution de l'adiposité, de l'obésité ou du surpoids tant chez l'enfant (< 5 ans) que chez l'adolescent. En outre l'incidence de l'obésité est augmentée avec le temps passé devant les écrans chez le jeune enfant.

Les rapports récents ont confirmé l'expertise INSERM de 2008 statuant avec le plus haut niveau de preuve (grade A) que l'AP chez l'adulte permet de prévenir la prise de poids, et de maintenir la perte de poids. Globalement, l'AP permet de prévenir les comorbidités de l'obésité, en particulier le risque cardiométabolique lié à la graisse viscérale. Les AP d'intensité élevée sont celles qui induisent l'effet le plus important avec un effet anoréxigène transitoire.

Il existe un fort niveau de preuve que l'AP permet de prévenir la survenue d'un diabète de type 2 (DT2) chez les sujets à risque. Une pratique régulière associée à une alimentation équilibrée a montré son efficacité lors d'études interventionnelles, et pendant un suivi allant jusqu'à 3 ans après l'intervention [1]. L'effet bénéfique est plus relié à la quantité d'AP

réalisée qu'à son intensité et est observé quel que soit l'index de masse corporelle ou l'alimentation. Son mécanisme passe par la diminution en aigu de la glycémie et la diminution de l'insulinorésistance avec l'entraînement. De plus l'AP permet de diminuer le stockage des graisses viscérales, et au niveau musculaire augmente l'oxydation mitochondriale des lipides.

La réduction du temps de sédentarité a des effets similaires à l'AP avec une réduction de l'incidence du DT2 de 12 % par tranche de 2h de diminution du temps assis.

5. Effets squelettiques

L'AP permet d'activer la formation osseuse et de freiner la résorption aux sites où les contraintes mécaniques s'exercent. Elle a un effet bénéfique sur le pic de masse osseuse chez l'enfant et l'adolescent, et un gain modeste de contenu minéral osseux et de densité minérale osseuse est retrouvé après des programmes d'entraînement incluant des exercices en charge chez l'enfant et l'adolescent [20].

La pratique d'une activité physique pendant l'adolescence et jusqu'à l'âge adulte permettrait de conserver la masse osseuse constituant un facteur de protection contre les fractures ostéoporotiques. Les données actuelles ne permettent pas d'établir un effet dose-réponse de la durée, intensité, la fréquence des AP ayant un bénéfice sur l'os. Chez le sujet âgé, en particulier chez la femme ménopausée, l'AP avec impact augmente la densité minérale osseuse au niveau du rachis, du col fémoral et du trochanter et réduit le nombre de fractures. Les programmes d'entraînement permettent de prévenir une perte de 1 % par an de la masse osseuse au niveau de la colonne lombaire et du col fémoral.

6. Effets sur le sommeil et le psychisme

L'AP permet d'améliorer la qualité et la quantité de sommeil. Elle agirait comme un synchronisateur du rythme circadien. Le sommeil est plus long et plus profond et l'éveil diurne de meilleure qualité. Une méta-analyse récente a regroupé 66 études et 2863 sujets, dont 25 études avec des pratiques régulières d'exercice [21]. La durée et l'efficacité du sommeil sont augmentées de façon modérée. La latence d'endormissement est raccourcie et la qualité de sommeil est améliorée de façon importante (coefficient de Cohen 0,74). L'âge diminue l'effet de l'AP sur la latence d'endormissement mais n'a pas d'impact sur les autres paramètres du sommeil. Concernant le type des AP réalisées, aucune influence significative n'a été retrouvée de la durée des séances, leur fréquence hebdomadaire ou la durée des programmes (de 2 à 52 semaines) sur la qualité de sommeil.

Une pratique régulière d'AP permet de diminuer l'anxiété, l'état de stress et le risque de dépression [22]. Cet effet protecteur serait plus important avec les AP de loisirs. Certaines études ont rapporté une amélioration de l'anxiété après des programmes d'exercice de posture de type Yoga ou Tai Chi. L'effet bénéfique de l'AP sur l'anxiété nécessite des séances d'au moins 20 minutes répétées 3 à 4 fois par semaine. Le mécanisme d'action de l'effet de l'AP sur la réduction du stress n'est pas complètement élucidé mais pourrait être lié la diminution de la production du cortisol et de catécholamines avec l'AP régulière.

7. Effet sur la douleur

L'effet de l'exercice aigu peut être double avec un effet analgésiant constaté chez le sujet sain, (augmentation du seuil douloureux, modification de l'intégration centrale du stimulus par une augmentation de la sécrétion d'opioïdes) ou à l'inverse déclencher une douleur notamment chez les sujets arthrosiques ou fibromyalgiques [23]. Néanmoins, les

programmes d'AP ont montré leur bénéfice dans différents groupes de sujets souffrant de douleur chronique, même si l'effet est jugé modeste et inconstant [24].

8. Activité physique et immunité

L'exercice, aigu et chronique, stimule le système immunitaire avec la mise en évidence d'une augmentation des immunoglobulines et de la réponse à un challenge immunologique, ce qui améliore la défense aux infections, en particulier rhinopharyngées. Par ailleurs la réponse cellulaire est modifiée avec une augmentation des lymphocytes circulants. Cette augmentation de la réponse immunitaire avec l'AP participe à l'action anti-inflammatoire (par la sécrétion musculaire d'interleukine 6 qui inhibe l'interleukine 1 β et le TNF α) et anti-tumorale de l'exercice [25].

Conclusion

L'activité physique permet d'augmenter la capacité fonctionnelle des sujets, leur autonomie et leur survie. Elle améliore la santé cardiovasculaire en réduisant les facteurs de risque (obésité, hypercholestérolémie, HTA) et en améliorant la fonction endothéliale vasodilatatrice. Des adaptations sont mesurables sur de multiples organes et fonctions, dont le métabolisme, la masse osseuse, le psychisme, le sommeil, la douleur et l'immunité... L'AP participe à freiner la sénescence en particulier musculaire, et le déclin cognitif. Un effet bénéfique de la reprise d'AP peut être constaté à tout âge.

Déclaration des conflits d'intérêt :

FC déclare avoir reçu des honoraires de consultants pour les laboratoires GSK, AstraZeneca, Boehringer Ingelheim et une invitation à un congrès du laboratoire Chiesi.

Références

- [1] Actualisation des repères du PNNS - Révisions des repères relatifs à l'activité physique et à la sédentarité. 2016.
- [2] Inserm. Activité physique. Prévention et traitement des maladies chroniques. Collection Expertise collective. Montrouge : EDP Sciences, 2019. Montrouge: 2019.
- [3] Ross R, Blair SN, Arena R, Church TS, Després J-P, Franklin BA, et al. Importance of Assessing Cardiorespiratory Fitness in Clinical Practice: A Case for Fitness as a Clinical Vital Sign: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation* 2016;134:e653–99. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000461>.
- [4] Jackson AS, Sui X, Hébert JR, Church TS, Blair SN. Role of lifestyle and aging on the longitudinal change in cardiorespiratory fitness. *Arch Intern Med* 2009;169:1781–7. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2009.312>.
- [5] Kokkinos P, Myers J, Faselis C, Panagiotakos DB, Doumas M, Pittaras A, et al. Exercise capacity and mortality in older men: a 20-year follow-up study. *Circulation* 2010;122:790–7. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.110.938852>.
- [6] Egan B, Zierath JR. Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell Metab* 2013;17:162–84. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2012.12.012>.
- [7] Favier FB, Benoit H, Freyssenet D. Cellular and molecular events controlling skeletal muscle mass in response to altered use. *Pflug Arch Eur J Physiol* 2008;456:587–600. <https://doi.org/10.1007/s00424-007-0423-z>.
- [8] García-Hermoso A, Caverro-Redondo I, Ramírez-Vélez R, Ruiz JR, Ortega FB, Lee D-C, et al. Muscular Strength as a Predictor of All-Cause Mortality in an Apparently Healthy Population: A Systematic Review and Meta-Analysis of Data From Approximately 2 Million Men and Women. *Arch Phys Med Rehabil* 2018;99:2100–2113.e5. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.01.008>.
- [9] Jochem C, Leitzmann M, Volaklis K, Aune D, Strasser B. Association Between Muscular Strength and Mortality in Clinical Populations: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Med Dir Assoc* 2019;20:1213–23. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2019.05.015>.
- [10] Bangsbo J, Blackwell J, Boraxbekk C-J, Caserotti P, Dela F, Evans AB, et al. Copenhagen Consensus statement 2019: physical activity and ageing. *Br J Sports Med* 2019;53:856–8. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2018-100451>.
- [11] Pedersen BK, Febbraio MA. Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. *Nat Rev Endocrinol* 2012;8:457–65. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2012.49>.
- [12] Das DK, Graham ZA, Cardozo CP. Myokines in Skeletal Muscle Physiology and Metabolism: Recent Advances and Future Perspectives. *Acta Physiol Oxf Engl* 2019:e13367. <https://doi.org/10.1111/apha.13367>.
- [13] Francaux M, Deldicque L. Exercise and the control of muscle mass in human. *Pflugers Arch* 2019;471:397–411. <https://doi.org/10.1007/s00424-018-2217-x>.
- [14] Mora S, Cook N, Buring JE, Ridker PM, Lee I-M. Physical activity and reduced risk of cardiovascular events: potential mediating mechanisms. *Circulation* 2007;116:2110–8. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.729939>.
- [15] Kodama S, Saito K, Tanaka S, Maki M, Yachi Y, Asumi M, et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA* 2009;301:2024–35. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.681>.

- [16] Bhella PS, Hastings JL, Fujimoto N, Shibata S, Carrick-Ranson G, Palmer MD, et al. Impact of lifelong exercise “dose” on left ventricular compliance and distensibility. *J Am Coll Cardiol* 2014;64:1257–66. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.03.062>.
- [17] Lavie CJ, Arena R, Swift DL, Johannsen NM, Sui X, Lee D-C, et al. Exercise and the cardiovascular system: clinical science and cardiovascular outcomes. *Circ Res* 2015;117:207–19. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.117.305205>.
- [18] Lavie CJ, Ozemek C, Carbone S, Katzmarzyk PT, Blair SN. Sedentary Behavior, Exercise, and Cardiovascular Health. *Circ Res* 2019;124:799–815. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.118.312669>.
- [19] Nystoriak MA, Bhatnagar A. Cardiovascular Effects and Benefits of Exercise. *Front Cardiovasc Med* 2018;5:135. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2018.00135>.
- [20] Behringer M, Gruetzner S, McCourt M, Mester J. Effects of weight-bearing activities on bone mineral content and density in children and adolescents: a meta-analysis. *J Bone Miner Res Off J Am Soc Bone Miner Res* 2014;29:467–78. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2036>.
- [21] Kredlow MA, Capozzoli MC, Hearon BA, Calkins AW, Otto MW. The effects of physical activity on sleep: a meta-analytic review. *J Behav Med* 2015;38:427–49. <https://doi.org/10.1007/s10865-015-9617-6>.
- [22] Asmundson GJG, Fetzner MG, Deboer LB, Powers MB, Otto MW, Smits JAJ. Let’s get physical: a contemporary review of the anxiolytic effects of exercise for anxiety and its disorders. *Depress Anxiety* 2013;30:362–73. <https://doi.org/10.1002/da.22043>.
- [23] Lima LV, Abner TSS, Sluka KA. Does exercise increase or decrease pain? Central mechanisms underlying these two phenomena. *J Physiol* 2017;595:4141–50. <https://doi.org/10.1113/JP273355>.
- [24] Geneen LJ, Moore RA, Clarke C, Martin D, Colvin LA, Smith BH. Physical activity and exercise for chronic pain in adults: an overview of Cochrane Reviews. *Cochrane Database Syst Rev* 2017;1:CD011279. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011279.pub2>.
- [25] Wang J, Liu S, Li G, Xiao J. Exercise Regulates the Immune System. *Adv Exp Med Biol* 2020;1228:395–408. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1792-1_27.
- [26] Sharma S, Merghani A, Mont L. Exercise and the heart: the good, the bad, and the ugly. *Eur Heart J* 2015;36:1445–53. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv090>.

Légende des figures

Figure 1. Effets reconnus de l'activité physique sur différentes fonctions physiologiques (adapté d'après Sharma et coll. [26])

CV: cardiovasculaire, PA: pression artérielle, AVC: accident vasculaire cérébral

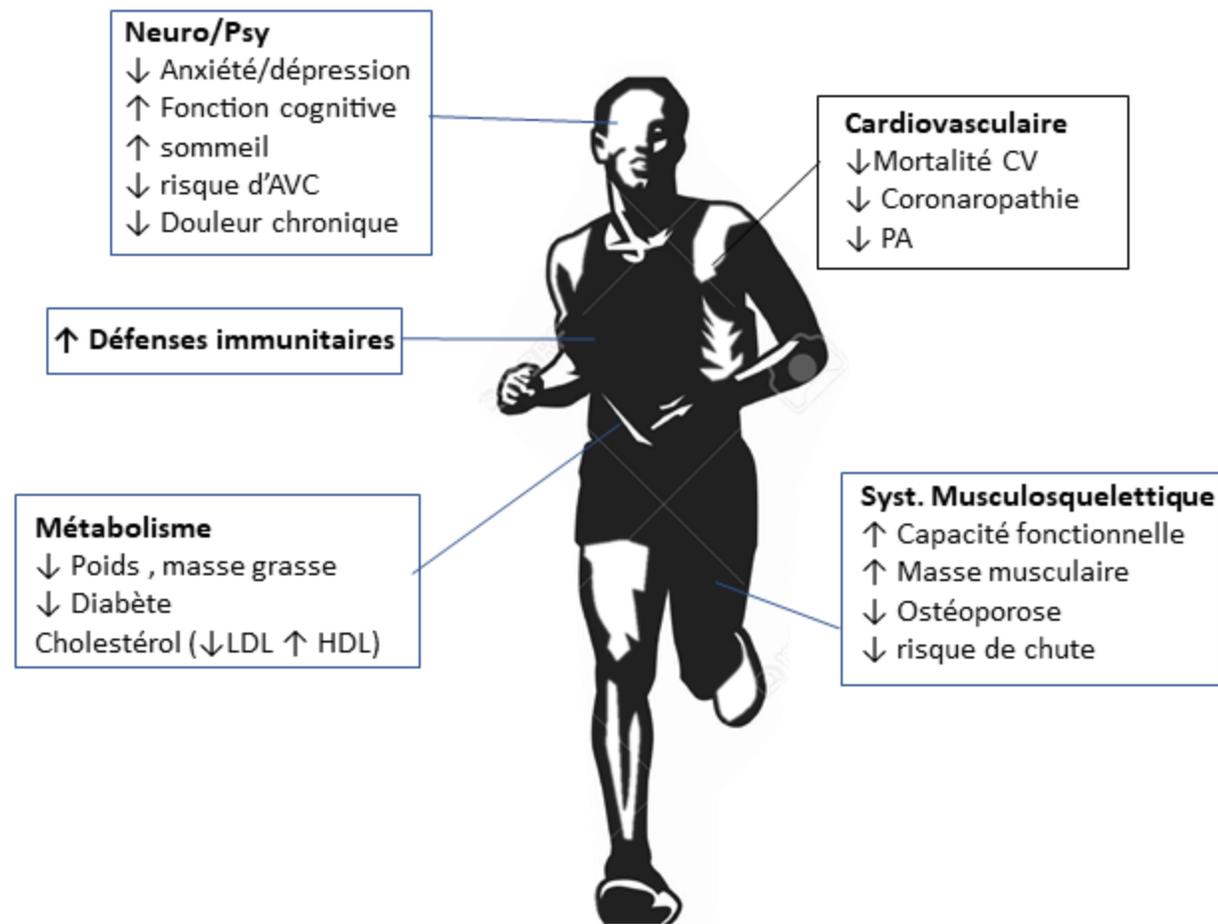


Figure 1