

SYNTHÈSE / REVIEW

Le vieillissement et l'activité physique : données sur lesquelles fonder des recommandations relatives à l'exercice à l'intention des adultes âgés¹

Donald H. Paterson, Gareth R. Jones et Charles L. Rice

Résumé : De nombreuses études épidémiologiques confirment les bienfaits procurés par l'activité physique en ce qui concerne la diminution du risque de maladie associée à l'âge et de la mortalité quelle qu'en soit la cause. L'analyse de la littérature scientifique centrée sur les caractéristiques principales (intensité, type, quantité) montre que la quantité nécessaire d'activité physique est celle qui améliore la condition cardiorespiratoire, la force musculaire, la puissance et, indirectement, l'équilibre. L'appauvrissement de ces fonctions avec l'âge entraîne des limitations physiques qui conditionnent les activités fonctionnelles journalières. En revanche, un programme d'activité physique peut atténuer ces pertes, évitant ainsi aux personnes âgées (plus de 65 ans) de traverser le seuil de l'incapacité physique. Les études transversales et longitudinales révèlent un lien entre la condition cardiorespiratoire et la capacité fonctionnelle et l'autonomie ; la force musculaire et par surcroît, la puissance musculaire, permettent d'accomplir plus efficacement les activités de tous les jours ; l'équilibre dynamique en combinaison avec la puissance musculaire forment un ensemble de prévention contre les chutes. D'après les études sur les programmes d'intervention, les personnes âgées peuvent améliorer leurs capacités fonctionnelles car elles possèdent la capacité d'adaptation à l'entraînement physique. Les quelques études qui ont analysé les quantités minimale et optimale d'activité physique indiquent qu'il faut faire des exercices dans les plages d'intensité modérée à vigoureuse si on veut atteindre et préserver les gains résultant de la pratique régulière. Par conséquent, on devrait prescrire des activités physiques en spécifiant le type d'activité qui améliorera les variables organiques associées au maintien de la capacité fonctionnelle et de l'autonomie et, de ce fait, on repoussera la maladie et la mort. Une bonne recommandation concernant l'exercice physique chez les personnes âgées devrait inclure des activités cardiorespiratoires modérément vigoureuses (la marche rapide), un entraînement à la force et à la puissance pour la préservation de la masse musculaire et de la capacité de travail de groupes musculaires choisis et des exercices d'équilibre et d'étirement au besoin.

Mots-clés : condition cardiorespiratoire, force musculaire, capacité fonctionnelle, épidémiologie.

Abstract: An abundance of epidemiological research confirms the benefits of physical activity in reducing risk of various age-related morbidities and all-cause mortality. Analysis of the literature focusing on key exercise variables (e.g., intensity, type, and volume) suggests that the requisite beneficial amount of activity is that which engenders improved cardiorespiratory fitness, strength, power, and, indirectly, balance. Age-related declines in these components are such that physical limitations impinge on functional activities of daily living. However, an exercise programme can minimize declines, thus preventing older adults (age 65+ years) from crossing functional thresholds of inability. Cross-sectional and longitudinal data demonstrate that cardiorespiratory fitness is associated with functional capacity and independence; strength and, importantly, power are related to performance and activities of daily living; and balance-mobility in combination with power

Reçu le 30 mars 2007. Acceptée le 28 mai 2007. Publié sur le site Web des Presses scientifiques du CNRC, à panm.cnr.ca le 7 mars 2008.

D.H. Paterson.² Centre canadien pour l'activité et le vieillissement, Université Western Ontario, 1490, rue Richmond N., Londres, ON N6G 2M3, Canada.

G.R. Jones. École de kinésiologie, Faculté des sciences de la santé, pièce 411B, Édifice des sciences de la santé, Université Western Ontario, Londres, ON N6A 5B9, Canada.

C.L. Rice. Ergothérapie, Faculté des sciences de la santé, Université Western Ontario, Londres, ON N6A 5B9, Canada.

1. Cet article est tiré d'un supplément intitulé *Advancing physical activity measurement and guidelines in Canada: a scientific review and evidence-based foundation for the future of Canadian physical activity guidelines* (Favoriser les lignes directrices et la mesure de l'activité physique au Canada: examen scientifique et justification selon les données probantes pour l'avenir des lignes directrices de l'activité physique canadienne) publié par *Physiologie appliquée, nutrition et métabolisme* et la *Revue canadienne de santé publique*. On peut aussi mentionner Appl. Physiol. Nutr. Metab. 32 (Suppl. 2F) ou Can. J. Public Health 98 (Suppl. 2F).

2. Auteur correspondant (courriel : dpaterso@uwo.ca).

are important factors in preventing falls. Exercise interventions have documented that older adults can adapt physiologically to exercise training, with gains in functional capacities. The few studies that have explored minimal or optimal activity requirements suggest that a threshold (intensity) within the moderately vigorous domain is needed to achieve and preserve related health benefits. Thus, physical activity and (or) exercise prescriptions should emphasize activities of the specificity and type to improve components related to the maintenance of functional capacity and independence; these will also delay morbidity and mortality. An appropriate recommendation for older adults includes moderately vigorous cardiorespiratory activities (e.g., brisk walking), strength and (or) power training for maintenance of muscle mass and specific muscle-group performance, as well as "balance-mobility practice" and flexibility (stretching) exercise as needed.

Key words: fitness, muscle strength, functional ability, epidemiology.

Introduction

Cette revue vise à analyser les publications sur des recherches épidémiologiques et expérimentales qui aident à formuler des recommandations éclairées par des données probantes sur l'activité physique à l'intention des adultes âgés en bonne santé qui résident dans la communauté et à déterminer les volumes et les types d'activité physique nécessaires pour prévenir les maladies, promouvoir la santé et maintenir la fonction et l'autonomie jusqu'à un âge avancé. Les recommandations qui s'adressent à ce groupe d'âge visent principalement à maintenir la fonction et l'autonomie et, en arrière-plan, à prolonger la vie, à réduire le risque de maladies chroniques et à raccourcir la période d'incapacité. Les documents étudiés et analysés portaient avant tout sur les adultes âgés (de 65 à 90 ans) qui résident dans la communauté. L'âge chronologique et l'âge « biologique » peuvent néanmoins différer considérablement chez une même personne. Nous renvoyons le lecteur à d'autres revues contenant des recommandations visant à maintenir la fonction chez les personnes âgées frêles ou chez celles qui ont des incapacités (Singh 2002). Ils y trouveront aussi une revue des maladies chroniques qui prévalent dans ce groupe (Pedersen et Saltin 2006). En résumé, l'activité physique régulière accroît la longévité et réduit le risque de maladies chroniques liées au vieillissement, atténue les changements physiologiques imposés par le vieillissement dans une société sédentaire et aide à maintenir l'autonomie et à prévenir l'incapacité (Singh 2002, et la présente revue). La plupart des Canadiens adultes âgés sont actuellement inactifs sur le plan physique et l'inactivité prend de l'ampleur avec l'âge. En 2005, 62 % des adultes de plus de 65 ans étaient inactifs. Chez les hommes, le pourcentage est passé de 53 % en 2001 à 55 % en 2005, tandis que chez les femmes, le taux d'inactivité était beaucoup plus élevé (67 %) (NACA 2006).

La version courante du guide d'activité canadien à l'intention des adultes âgés, *Guide d'activité physique canadien pour une vie active saine pour les aînés* (Santé Canada et la Société canadienne de physiologie de l'exercice 1999), préconise une activité physique accrue pour bâtir l'endurance, renforcer, améliorer la santé et la condition physique et maintenir l'autonomie. La « dose » recommandée est reliée à l'amélioration de la condition physique ou de la santé : « 30-60 minutes d'activité *modérée* la plupart des jours de la semaine »; la marche avec « évolution vers un pas modéré ou vif » (les études épidémiologiques sur l'activité physique ont indiqué qu'il se peut que la « marche ordinaire » ne suffise pas à cette fin); une progression vers les activités

d'intensité modérée et vigoureuse; et les exercices de renforcement au moyen d'un « poids qui fait *forcer vos muscles* » (poids qu'il est possible de lever 10 fois avant qu'ils deviennent trop lourds). On recommande aussi des exercices d'assouplissement, d'étirement et d'équilibre.

Lignes directrices internationales sur l'activité physique à l'intention des adultes âgés

L'approche des États-Unis (qui n'est pas spécifique aux adultes âgés) est saisie dans *Physical activity and public health* (Pate et al. 1995) et les recommandations du Chirurgien général qui ont suivi : « Tous les adultes doivent faire 30 minutes ou plus d'activité physique d'intensité modérée la plupart, de préférence la totalité, des jours de la semaine ». L'intensité doit donc être modérée et, compte tenu de la fréquence et de la durée prescrites, le volume total atteindrait >4200 kJ/semaine (1000 kcal/semaine) et peut-être même 6300-8400 kJ/semaine (1500-2000 kcal/semaine). Le débat sur la suffisance d'une durée de 30 min qui inclut toutes les activités « accumulées » au cours de la journée persiste toutefois. Il n'est pas certain non plus que les données probantes appuient le « fractionnement » en brèves poussées et l'inclusion d'activités physiques non aérobiques dans le total d'une dose efficace. L'American College of Sports Medicine a publié un énoncé de position intitulé *Exercise and physical activity for older adults* (Mazzeo et al. 1998). Mazzeo et Tanaka (2001) ont aussi passé en revue les recommandations en vigueur sur l'exercice prescrit pour l'adulte âgé.

L'augmentation de l'activité physique chez les adultes âgés est devenue une priorité internationale (OMS 1996). Les recommandations internationales sur l'activité physique convergent sur deux tactiques clés : (i) l'accumulation et la diffusion de recommandations sur l'activité physique et la condition physique à l'intention d'une population vieillissante et (ii) l'élaboration de normes à l'intention des moniteurs d'activité physique qui travaillent avec des adultes âgés (tableau 1). Les fondations nationales des maladies du cœur du monde entier représentent l'intervenant de premier plan dans l'exécution de ces tactiques.

Un consensus mondial reconnaît que les adultes âgés doivent faire davantage d'activité physique. Beaucoup de programmes internationaux répètent qu'il faut faire 30 min d'activité physique d'intensité modérée la plupart des jours de la semaine. On affirme aussi que l'entraînement de la force et les activités qui favorisent l'équilibre contribuent à

Tableau 1. Recommandations internationales sur l'activité physique à l'intention des adultes âgés.

Pays	Titre du programme	Recommandations	Lien Web
Canada	Guide d'activité physique canadien pour une vie active saine pour les aînés	Faire de 30 à 60 min d'activité physique modérée la plupart des jours	http://www.phac-aspc-gc.ca/pau-uap/paguide/older/index.html
É.-U.	National blueprint : increasing physical activity in adults 50 years and over	Choisir un éventail d'activités qui améliorent l'endurance, la souplesse, la force et l'équilibre Présente des stratégies particulières aux besoins en activité physique d'adultes âgés qui résident dans la communauté, au marketing, aux systèmes médicaux, aux politiques publiques et à la recherche	http://www.agingblueprint.org/StrategicPriorities.cfm
Australie	Older, smarter, fitter : a guide for providers of sport and physical activity programs for older Australians	Approche fondée sur la collaboration pour hausser les niveaux d'activité physique des Australiens Améliorer les endroits où les gens peuvent faire de l'activité physique La participation toute la vie durant constitue un principe clé	http://www.ausport.gov.au/fulltext/2001/ascpub/OlderSmarterFitter.pdf
Royaume-Uni	Physical activity and your heart	Accumulation de 30 min ou plus d'activité physique d'intensité modérée la plupart, voire la totalité, des jours de la semaine Il est possible d'accumuler le volume d'activité par de brèves séances, comme trois séances de 10 min par jour Importance de l'activité physique dans la prévention et la réadaptation Le volume d'activité qu'il faudrait viser à faire et activités les meilleures pour le cœur Comment hausser sans danger son niveau d'activité	http://www.heartfoundation.com.au/downloads/PAR4CVD_FullRecs_06_Jan_final.pdf http://www.bhf.org.uk/publications/uploaded/no_1.pdf
Organisation mondiale de la Santé et Société internationale pour le vieillissement et l'activité physique	International curriculum guidelines for preparing physical activity instructors of older adults	Offrir des programmes d'activité et de conditionnement physiques sécuritaires, efficaces et accessibles Former des moniteurs compétents Établir des lignes directrices minimales sur l'entraînement Définir le rôle du moniteur en exercice Reconnaissance professionnelle	http://www.isapa.org/guidelines/index.cfm

améliorer l'état de santé général des adultes âgés. Beaucoup de programmes internationaux mettent aussi l'accent sur des façons d'appliquer ces recommandations, comme la création de centres d'exercice accueillants pour les adultes âgés dont les moniteurs sont sensibilisés à la fois aux complexités et aux besoins de la population vieillissante. L'*International curriculum guidelines for preparing physical activity instructors for older adults* (Ecclestone et Jones 2004) vise à améliorer la qualité des programmes d'exercice offerts aux adultes âgés. Le document de consensus présente un aperçu des principaux domaines de contenu qu'il faudrait inclure dans tout programme au niveau débutant qui prépare des moniteurs en activité physique à travailler avec des adultes âgés. Approuvées par l'Organisation mondiale de la Santé, ces lignes directrices peuvent s'appliquer à tous les adultes âgés – depuis ceux qui sont en bonne santé et autonomes jusqu'à ceux qui ont une dépendance fonctionnelle et vivent en contexte de soins de longue durée. On recommande une formation avancée dans le cas de ceux qui souhaitent travailler avec des adultes âgés qui ont une incapacité, une comorbidité ou un déficit de la cognition, que ce soit en contexte de réadaptation ou dans la gestion et la direction d'établissements qui desservent des populations âgées frêles. Les lignes directrices devraient aider à uniformiser les programmes de formation des moniteurs dans le monde entier.

Introduction : activité physique et vieillissement

Des données épidémiologiques abondantes révèlent sans équivoque qu'il y a un lien entre l'activité ou la condition physiques et une diminution du risque de morbidité (p. ex., maladies cardiovasculaires, diabète, cancer du côlon) et de mortalité toutes causes confondues, et que l'inactivité constitue un facteur de risque majeur. Étant donné qu'un pourcentage important de la population est inactif ou relativement sédentaire (NACA 2006), une augmentation de l'activité physique (ou une amélioration de la condition physique) constitue l'intervention la plus importante pour améliorer la santé de la population. Il faut toutefois procéder quand même à une analyse critique des volumes et des types d'activité physique nécessaires pour prévenir les maladies et promouvoir la santé. Dans la présente revue, nous analysons des données épidémiologiques sur la dose d'activité physique ou l'importance de la condition physique nécessaires pour réduire le risque relatif de morbidité ou de mortalité toutes causes confondues chez les adultes âgés. Ces études présentent des données importantes pour éclairer l'élaboration de lignes directrices sur la condition cardiorespiratoire et le volume total d'activité physique.

Dans cette revue, nous analysons aussi des données sur le maintien des capacités fonctionnelles et de l'indépendance jusqu'à un âge avancé. Les données portant sur les causes et les taux de perte de capacité fonctionnelle éclairent les lignes directrices sur la condition cardiorespiratoire et le maintien de la force musculaire et de la souplesse. La perte de fonction reliée à l'âge (et en particulier de condition cardiorespiratoire, de masse musculaire et de force) peut laisser à l'adulte âgé « moyen » une capacité qui réduit la qualité de vie et rend même les activités de la vie quotidienne (AVQ) difficiles. La perte de mobilité qui en découle peut

aboutir à la perte d'autonomie. On a affirmé dans *The Lancet* (1986) que « si l'on pouvait éviter de franchir de tels seuils de l'indépendance ou le faire plus tard, on améliorerait la qualité de vie de beaucoup de personnes et réduirait les coûts sociaux et économiques liés à l'obligation de subvenir aux besoins d'une population âgée invalide. C'est pourquoi il importe de déterminer la dose d'activité ou le degré de condition physique nécessaires pour maintenir la fonction et l'autonomie. Il y aurait logiquement un lien entre une amélioration de la fonction et du rendement, d'une part, et une meilleure condition physique, d'autre part, plutôt qu'avec l'accumulation d'activités physiques qui n'améliorent pas la condition.

Les données probantes analysées comprennent divers programmes d'entraînement par l'exercice ou d'activité physique supplémentaire pour les adultes âgés, ainsi qu'une évaluation de leur efficacité sur le plan de l'amélioration de la condition (cardiorespiratoire ou force), de la capacité fonctionnelle (p. ex., équilibre) ou des résultats liés au rendement. Ces études révèlent les types de programmes qui sont efficaces et des enjeux comme l'intensité et le volume total d'activité qui produisent des bienfaits précis. Les données physiologiques montrent clairement que les programmes d'exercice améliorent la condition respiratoire, la force et la fonction, compensant ainsi le déclin attribuable à l'âge. Les données indiquent aussi que ces programmes contribuent à maintenir l'autonomie et la qualité de vie. Pour procéder à l'analyse, il fallu effectuer une revue détaillée et traiter des tableaux de données d'étude afin de dégager des lignes directrices sur les programmes d'entraînement cardiorespiratoire, tandis que de nombreuses revues récentes ont facilité le processus de la définition de l'entraînement de la force. Nous avons aussi revu des études épidémiologiques et des essais cliniques pour déterminer les recommandations relatives à l'exercice qui visent à modifier les facteurs de risque de maladie et de problèmes chroniques non invalidants.

Facteurs cardiorespiratoires

Revue d'études épidémiologiques : activité physique et risque de morbidité ou de mortalité

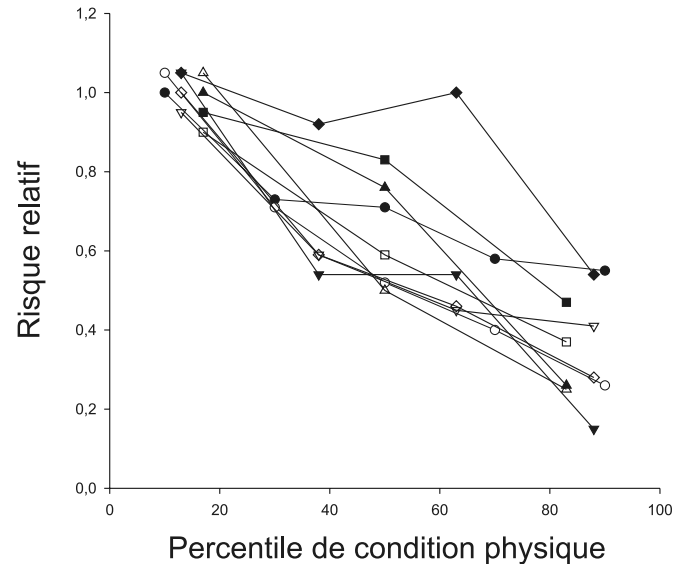
Il y a plusieurs questions à clarifier dès le départ, dont la nature de la relation entre l'activité physique et la condition physique. Par définition, la première est un comportement et l'autre, un « état » ou un résultat. On a souvent « validé » des évaluations de l'activité physique, effectuées au moyen de questionnaires en particulier, en fonction d'une mesure quelconque de la condition physique. De tels liens expliquent au mieux 25 % environ de la variance et les rapports sur l'activité vigoureuse montrent des liens les plus étroits (Talbot et al. 2000). Le lien entre les estimations tirées du questionnaire sur l'activité physique en temps de loisir du Minnesota et le $VO_{2\max}$ s'établissait à $r < 0,2$ chez les hommes et les femmes âgés, et les répondants au questionnaire ont produit moins de 1 % de la variance totale de la condition cardiorespiratoire après rajustement des données en fonction de l'âge et du poids (Amara et al. 2000). Ainsi, même si l'activité physique constitue un important déterminant de la condition physique (Blair et al. 1989), il semble que ce ne soit pas toute l'activité physique qui soit un déter-

minant de la condition physique. Le type ou la dose d'activité physique jouent un rôle crucial et important, que l'activité en soi ou la condition physique soit le principal déterminant de la santé ou de l'autonomie fonctionnelle des adultes âgés.

Au cours d'études épidémiologiques, les chercheurs ont analysé la dose en fonction du volume et des types d'activité physique, ou du niveau de conditionnement physique, en comparant les réponses pendant un suivi précis au groupe le moins actif ou dont la condition physique est la moins bonne. La variable des résultats a toujours été la baisse du risque relatif de la première manifestation d'une maladie (maladie cardiovasculaire, diabète ou cancer) ou de mortalité toutes causes confondues et l'on rajuste habituellement les données en fonction de l'âge et d'autres facteurs de risque confusionnel. La plupart des études épidémiologiques ont porté sur des populations âgées au début de 35–65 ans qui avaient en moyenne ~45 ans ont comporté un suivi de 8 à 10 ans. Les conclusions sont donc pertinentes aux types d'activités et aux niveaux de condition physique chez les sujets de 40–60 ans par rapport à la maladie ou à la mort à l'âge de 50–70 ans. Comme les taux de morbidité et de mortalité augmentent avec l'âge, les constatations sont néanmoins touchées le plus par les membres plus âgés de tout échantillon donné et c'est pourquoi l'information éclaire les recommandations relatives à l'activité physique dans le cas des sujets de >65 ans. D'autres études plus récentes ont étendu les observations à des groupes beaucoup plus âgés et d'autres encore ont signalé des constatations établies au cours d'un suivi de plus longue durée. Blair et al. (2001) ont totalisé 67 études, toutes réalisées depuis 1990, portant sur le lien entre l'activité physique et la condition physique, d'une part, et les principaux résultats sur la santé physique, de l'autre. Lee et Skerrett (2001) ont passé en revue 44 communications sur le rapport dose-réponse et la mortalité toutes causes confondues, produites entre 1996 et 2000, et Kohl (2001) a résumé des communications sur le lien avec les maladies cardiovasculaires qui ont été publiées de 1953 à 2000.

Les premiers groupes d'études passées en revue sont celles au cours desquelles on a évalué la réduction du risque relatif en fonction de la condition cardiorespiratoire. Le tableau de Blair et al. (2001) inclut 9 communications sur la condition physique et la morbidité et la mortalité (et 9 autres qui incluent des données sur la condition physique et l'activité physique). Les sujets ont été regroupés en général en tertiles, quartiles ou quintiles fondés sur des estimations de la condition cardiorespiratoire comme le temps passé sur le tapis roulant. Les études choisies illustrent les constatations générales dans le monde entier (fig. 1). Une courbe de la réduction du risque en fonction de la condition physique relative montre en général un gradient plutôt linéaire de la baisse du risque qui s'étend jusqu'aux sujets dont la condition physique est la meilleure. Comparativement à ceux dont la condition cardiorespiratoire est mauvaise, on constate une réduction du risque d'environ 25 % chez ceux dont la condition est moyenne et un risque relatif d'à peine ~0,4–0,5 chez ceux dont la condition est la meilleure. Dans Blair et al. (2001), il existe un gradient inverse solide et constant entre la mortalité et la morbidité entre les groupes de condition physique, qui sont semblables chez les femmes et les hom-

Fig. 1. Lien entre la condition cardiorespiratoire relative et le risque relatif (de morbidité et de mortalité). La condition physique est exprimée en percentile et de condition la moins bonne (percentile 0) à la meilleure (percentile 100) (les points de données des groupes des quintiles étant tracés aux 10^e, 20^e, 50^e, 70^e, et 90^e percentiles, ceux des groupes des quartiles aux 20^e, 40^e, 60^e, et 80^e percentiles et ceux des groupes des tertiles aux 25^e, 50^e et 75^e percentiles). Les données provenaient des sources suivantes : Blair et al. (1989) dans le cadre du risque de mortalité toutes causes confondues chez les hommes (●) et les femmes (○); Lakka et al. (1994) dans celui du risque d'infarctus du myocarde (▲); Ekelund et al. (1988) dans le cas du risque de coronaropathie (▼); Lie et al. (1985) dans celui du risque de maladies cardiovasculaires (▽); Sandvik et al. (1993) dans le cas de la mortalité toutes causes confondues (◆); Sobolski et al. (1987) dans le cas du risque de cardiopathie ischémique cardiaque (△); Arraiz et al. (1992) dans celui du risque de maladies cardiovasculaires (□) et de mortalité toutes causes confondues (■); et Myers et al. (2004) dans celui de la mortalité toutes causes confondues (◇).



mes. Dans leur analyse, le rapport était curvilinéaire, soit abrupt à l'extrémité de la courbe de la mauvaise condition et asymptote aux niveaux élevés de condition physique.

Blair et al. (1995, 1989) ont conclu que « la principale réduction des taux de mortalité toutes causes confondues... se produit entre le premier et le deuxième quintiles » et que « le prédicteur le plus important de la longévité était... le fait de ne pas se trouver dans la catégorie inférieure ». Ce gradient de risque se maintenait à l'intérieur de la strate des autres prédicteurs de cardiopathie ou de mortalité toutes causes confondues (Blair et al. 1996). Par exemple, « chez les hommes en très bonne condition physique qui avaient deux ou trois autres prédicteurs de risque, le taux de mortalité était inférieur de 15 % à celui des hommes en mauvaise condition qui n'avaient aucun des autres prédicteurs ». Lakka et al. (1994) en Finlande ont démontré une réduction typique du risque relatif en fonction de l'amélioration de la condition physique (VO_{2max} à bicyclette ergométrique). Ekelund et al. (1988) ont montré qu'une condition physique moyenne (quartiles 2 et 3) réduisait le risque, et que celui-ci

Tableau 2. Revue du lien entre la condition cardiorespiratoire et le risque relatif (de morbidité ou de mortalité) et les niveaux de condition cardiorespiratoire afin de réduire le risque de façon appréciable.

Source	Point final	Risque relatif aux niveaux de condition physique* [†]					Condition physique nécessaire pour réduire le risque relatif – en (mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)
		1	2	3	4	5	
Blair et al. 1996, 1989	Toutes causes confondues – hommes	Q1 : 1,00	Q2 : 0,73	Q3 : 0,71	Q4 : 0,58	Q5 : 0,55	Quintile 2/3 : Hommes > 35 (corrige selon l'âge : 45 a > 32; 55 a > 29; 60 a > 24,5)
Lakka et al. 1994	Toutes causes confondues – femmes	Q1 : 1,00	Q2-5 : 0,66 [‡]	Q3 : 0,52	Q4 : 0,40	Q5 : 0,26	Quintile 2/3 : Femmes > 32,5 (corrige selon l'âge : 45 a > 29; 55 a > 26; 60 a > 23,5)
Ekelund et al. 1988	IM – hommes	T1 : 1,00	T2 : 0,76	T3 : 0,26	Q4 : 0,15		Tertile 2 : 50 a = 28,0–33,6; Tertile 3 : 50 a > 34
Lee et al. 1995; Sandvik et al. 1993	CP – hommes	Q1 : 1,00	Q2 : 0,54	Q3 : 0,54	Q4 : 0,41		Quartile 2 [§]
	MCV – hommes	Q1 : 1,00	Q2 : 0,59	Q3 : 0,45	Q4 : 0,41		Quartile 2 [§]
Sobolski et al. 1987	Toutes causes confondues – hommes	Q1 : 1,00	Q2 : 0,92	Q3 : 1,00	Q4 : 0,54		Quartile 4 [§]
Hein et al. 1992	CPI – hommes	T1 : 1,00	T2 : 0,50	T3 : 0,25			À partir du 50 ^e percentile de capacité d'effort à une fréquence cardiaque de 170 : 47 a ≈ 30
Arraiz et al. 1992	CPI (mortalité) – hommes	T1 : 1,00	T2 : 0,59	T3 : 0,37			Quintile 2 : 48 a > 27
Myers et al. 2004	MCV	T1 : 1,00	T2 : 0,83	T3 : 0,47			Minimum acceptable selon l'Enquête Condition physique Canada signifie : 40–49 a = 38; 50–59 ans = 34; 60 a+ = 28
	Toutes causes confondues – hommes et femmes	T1 : 1,00	T2 : 0,83	T3 : 0,47			
	Toutes causes confondues – hommes	Q1 : 1,00	Q2 : 0,59	Q3 : 0,46	Q4 : 0,28		Quartile 2 : 58 a, moyenne 23 (18–28); Quartile 3 : 28 – 35

Note: En guise de comparaison, les normes (moyennes) du Physitest canadien normalisé pour les hommes sont les suivantes : 40–49 ans = 38; 50–59 ans = 34; 60 ans et plus = 28 mL·kg⁻¹·min⁻¹.

*Risques relatifs tirés de diverses sources de données indiquées dans chaque communication.

[†]Q1, Q2 etc. indiquent les niveaux de condition relative en quintiles (Q) (c.-à-d. aux 10^e, 30^e, 50^e, 70^e, 90^e percentiles); les comparaisons effectuées dans les autres études sont établies entre quartiles (Q) (c.-à-d. aux 20^e, 40^e, 60^e, 80^e percentiles) ou tertiles (T) (c.-à-d. aux 25^e, 50^e, 75^e percentiles).

[‡]Comparaison des quintiles 2–5 par rapport au quintile 1 des sujets en mauvaise condition physique.

[§]Aucune donnée sur le V_O₂ disponible.

diminuait considérablement chez les sujets dont la condition physique était la meilleure (quartile 4). Au cours d'un suivi de 7-16 ans de la mortalité toutes causes confondues chez les hommes norvégiens (Lie et al. 1985; Sandvik et al. 1993), on a établi un lien entre une très bonne condition cardiorespiratoire seulement et une réduction du risque, même si les décès attribuables à des causes cardiovasculaires présentaient une réduction progressive du risque en fonction de l'amélioration de la condition physique. Une étude réalisée en Belgique (Sobolski et al. 1987) a révélé une réduction du risque de cardiopathie chez les sujets dont la condition physique était la meilleure (test CEPI50), mais il convient de signaler que le risque n'avait aucun lien avec les activités professionnelles ou récréatives. Une analyse de l'Enquête Santé Canada (Arraiz et al. 1992) a révélé que la mortalité toutes causes confondues diminuait en fonction de l'amélioration de la condition physique. Enfin, Myers et al. (2004) (détails ci-dessous) ont montré qu'il existait un gradient selon le quartile de la capacité d'exercice dans le cas de la mortalité toutes causes confondues (de 1,00 à 0,59, 0,46 et 0,28 respectivement).

Des études portant sur les changements de la condition physique ont réussi de façon impressionnante à montrer l'existence de liens entre des améliorations de la condition physique et une baisse des taux de mortalité. Blair et al. (1995) ont étudié les changements de la condition physique sur cinq ans (temps passé sur tapis roulant) et des résultats au cours d'un suivi de cinq ans. Chez les sujets dont la condition physique est passée de mauvaise à bonne, le risque a diminué de 50 % et il était aussi plus faible chez ceux dont la condition est passée de modérée (quintile 2 ou 3) à la meilleure (quintile 4 ou 5). Les changements sur sept ans des données de tests d'endurance sur bicyclette ergométrique chez les hommes (Erikssen et al. 1998) et des résultats au cours d'un suivi d'une durée de 22 ans concordent avec l'étude du « changement » réalisée par Blair et al. (1995), qui montre l'existence d'un rapport inverse gradué entre les changements de la condition physique et la mortalité, sans égard à la condition physique initiale. Les risques relatifs, par quartile de changement de la condition physique, se sont établis en moyenne à 0,63, 0,37 et 0,31 respectivement.

Dans le tableau 2, on essaie de quantifier le niveau de la condition nécessaire pour réduire sensiblement le risque relatif. Chez les sujets en mauvaise condition physique et dont le taux de mortalité est élevé de Blair et al. (1989), le $VO_2 \text{ max}$ calculé à partir du temps passé sur le tapis roulant n'atteignait pas $21 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, ce qui représente une valeur vraiment basse pour ce groupe de sujets « d'âge mûr ». Compte tenu de ces observations, on a recommandé un niveau de condition physique de 9 MET ($31,5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) chez les femmes et de 10 METs ($35 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) chez les hommes, même s'il faut interpréter ces valeurs MET (où 1 MET représente le taux équivalent du métabolisme au repos de $3,5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) en fonction de l'âge des sujets à l'étude. Myers et al. (2004, 2002) ont produit des données très semblables : les sujets qui avaient une capacité de 8 MET ($28 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) présentaient un risque très réduit comparativement à ceux dont la capacité s'établissait à <6 MET ($21 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Blair et al. (1995) ont signalé qu'on associait une augmentation du temps passé sur tapis

roulant équivalant à un gain de 2 MET ($7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) de la condition physique à une diminution de $\sim 30 \%$ du taux de mortalité toutes causes confondues. Un tel gain est typique de nombreux programmes d'entraînement par l'exercice. Chez les sujets « d'âge mûr » constituant l'échantillon de Lakka et al. (1994), ceux qui avaient un $VO_2 \text{ max}$ de $34 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (~ 10 MET) présentaient un risque de coronaropathie plus de deux fois moins élevé que celui des sujets qui avaient un $VO_2 \text{ max}$ de $<28 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (8 MET). Ainsi, chez les hommes de 45 ans, une condition cardiorespiratoire de ~ 10 MET semble réduire le risque, ce qui correspond approximativement aux valeurs moyennes pour les adultes canadiens (ministre d'État à la Condition physique et au Sport amateur 1986). Il est possible de rajuster la valeur recommandée en fonction de l'âge et du sexe.

Les études épidémiologiques montrent donc qu'il existe un lien solide entre la condition physique et la morbidité ou la mortalité toutes causes confondues, mais elles ne fournissent pas d'information sur le volume d'exercice nécessaire pour produire le niveau de condition physique qui protège.

Des documents plus nombreux établissent un lien entre l'activité physique et des niveaux de risque réduits. Blair et al. (2001) : 49 communications ont été publiées depuis 1990. Ces données jouent un rôle crucial dans la définition de la dose et des types d'activités nécessaires. En Angleterre, Morris et al. (1973, 1980, 1990) ont concentré leur attention sur les activités de loisir. Les taux de coronaropathie ou de mortalité avaient diminué « de façon frappante » seulement chez les sujets qui ont participé plus de deux fois par semaine à des sports vigoureux ou qui ont fait de la marche rapide. Morris et ses collaborateurs ont noté que chez les groupes plus jeunes, le seuil requis semblait se situer à une activité vigoureuse trois fois par semaine, tandis que chez le groupe des sujets plus âgés, le rapport dose-réponse était plus marqué : il y avait un lien entre les sports pratiqués à l'occasion ou la marche d'un pas assez vif et une diminution du risque relatif (tableau 3). L'étude réalisée en Finlande par Lakka et al. (1994) a appuyé sans réserve la conclusion de Morris, soit qu'il fallait faire de l'activité « vigoureuse » pour réduire le risque relatif. On n'a pas établi de lien entre les activités physiques qui ne sont pas du conditionnement (jardinage, travaux de réparation à la maison) ou le fait de se rendre au travail à pied et un changement du risque. Les études sur les anciens de Harvard réalisées par Paffenbarger et al. (1986, 1993, 1994, 1978) ont montré qu'il y avait un lien entre des sports d'une vigueur modérée et une diminution de 30 % du risque, tandis que le risque ne diminuait pas chez les sujets qui déclaraient participer à des sports légers ou se livrer à des activités d'une intensité inférieure à 4,5 MET (y compris la marche, le golf et le jardinage) (tableau 4). On a aussi établi un lien entre une dépense d'énergie totale élevée (calculée à partir de la marche, de la montée d'escaliers et d'activités sportives) et une diminution de 30 % du risque (tableau 4). On a néanmoins inclus les sports d'une vigueur modérée, ce qui a renforcé la catégorie « 8400 kJ/semaine ». Les données sur les changements de l'activité physique à l'âge mûr (moyenne de 58 ans) ont été des plus impressionnantes. On a établi un lien entre la pratique de sports d'une vigueur modérée, ou l'augmentation de la dépense d'énergie pour la porter à plus de 6300 kJ/semaine (et peut-être à peine 4200 kJ/semaine), et

Tableau 3. Données compilées à partir des études sur l'activité de loisir de Morris et al. (1973, 1980, 1990) au sujet du lien entre les groupements d'activité physique et le risque relatif de coronaropathie (CP) ou de mort.

Groupe	Valeurs du risque relatif de 45 à 55 ans		Valeurs du risque relatif de 45 à 55 ans	
	CP	Mort	CP	Mort
4 (aucune activité vigoureuse)	1,00	1,00	1,00	1,00
3	0,94	1,01	0,78	0,82
2	0,97	1,25	0,56	0,56
1 (activité vigoureuse fréquente)	0,33	0,24	0,39	0,45

Note: Description des groupes d'activité physique : 1, sports vigoureux 2+/semaine, marche rapide (>4 m/h), ou bicyclette; 2, sports vigoureux <2/semaine, >30 min de marche « d'un assez bon pas »; 3, sports occasionnels, marche d'un bon pas mais <30 min; 4, aucun exercice aérobique vigoureux.

Tableau 4. Données compilées à partir des études de Paffenbarger et al. (1986, 1993, 1994, 1978) sur le lien entre différents groupes d'activité physique et de dépenses d'énergie et le risque relatif de coronaropathie (CP) ou de mort.

Activité	Risque relatif		
	CP 1978	Mort 1986	Mort 1993/1994*
Escalier (>50/jour)	0,86	0,88	0,86, 0,81, 0,78 [§]
Marche (>5 pâtés de maisons/jour)	0,79	0,83	0,83, 0,87, 0,94 ^{§,†}
Sports légers	0,93	0,72	0,96
Sports modérément vigoureux	0,72, 0,65 ^{†,‡}	0,69	0,78, 0,63 [‡] , 0,72, 0,77 [§] , 0,73 [§]
2000 kcal/semaine	0,61	0,72	0,68, 0,72 , 0,85 , 0,72 ^{§,}

Note: Groupements selon l'activité : dichotomie – avoir atteint les critères ou participé aux activités, ou ne pas l'avoir fait.

*Les chiffres sur les risques relatifs dans cette colonne sont dérivés des documents de 1993 et 1994 portant sur des comparaisons « transversales » différentes entre les groupes, ainsi que des comparaisons « longitudinales » reliées au changement survenu dans le groupe pendant la période à l'étude. Le groupement de ces chiffres sur le risque relatif présente un aperçu du rapport.

[†]Rajusté en fonction de l'âge et de la dépense d'énergie consacrée à la montée d'escaliers, à la marche et aux sports légers.

[‡]Sports épuisants >3 h par rapport à <3 h par semaine.

[§]Changement du résultat de l'activité au milieu de la vie.

^{||}> 6300 kJ/semaine (1 500 kcal/semaine).

[¶]15 km/semaine (plutôt que 5 pâtés de maisons/jour).

une diminution de 25–30 % du risque (Paffenbarger et al. 1994) (tableau 4). Paffenbarger a aussi signalé que « l'avantage offert par l'activité d'intensité totale ou modérée dans les groupes d'âge supérieurs ne semble pas s'estomper... il ne semble pas trop tard pour adopter des habitudes de vie favorables ». Ainsi, le risque chez les groupes plus âgés était moins élevé chez ceux qui déclaraient faire du sport d'une vigueur modérée ou se livrer à des activités d'une intensité de 6 MET (Lee et al. 1995). Il fallait au moins une intensité modérée de 4,5 MET et une fréquence et une durée accrues. Lee et al. (1995) ont analysé les données sur les anciens de Harvard pour évaluer les avantages relatifs aux exercices vigoureux (>6 MET) et non vigoureux (intensité légère et modérée à <6 MET). L'analyse a démontré que pour n'importe quelle dépense d'énergie totale, il faut inclure des activités vigoureuses pour que le risque diminue. Lee a conclu que « le lien inverse entre l'activité physique et la mortalité est relié non pas tant à l'exercice même qu'à l'amélioration de la condition cardiorespiratoire qui en découle ». Une autre analyse (Lee et Paffenbarger 2000) a porté avant tout sur les activités légères et l'on a conclu qu'il n'y avait pas de lien entre les activités de <4 MET et une diminution des taux

de mortalité, et même si les auteurs ont reconnu que des activités modérées comme la marche d'un bon pas (4–6 MET) semblaient bénéfiques, les activités vigoureuses (>6 MET) étaient des prédicteurs clairs d'une baisse des taux de mortalité. Les auteurs ont soutenu que beaucoup de gens pourraient accepter plus facilement 30 min d'activité vigoureuse que 1–1,5 h d'activité d'intensité modérée. Sur le plan du volume, il y avait un seuil inférieur de la mortalité à environ 4200 kJ/semaine. Folsom et al. (1997) ont montré qu'en fonction d'un indice d'activité sportive ou récréative, seuls les quartiles 3 et 4 (c.-à-d. au-dessus de la moyenne) présentaient un risque inférieur. À la suite de l'étude régionale sur le cœur réalisée en Grande-Bretagne (Shaper et Wannamethee 1991), on a recommandé une activité d'intensité variant de modérée à modérément vigoureuse. Le risque a diminué seulement chez les sujets qui faisaient de 41 à 60 min de marche rapide. L'étude d'intervention sur de multiples facteurs de risque qui portait sur les hommes à risque élevé a indiqué qu'une activité d'intensité plus modeste pourrait avoir un effet protecteur (Leon et al. 1987), mais la durée précise s'établissait à 47 min, dont 25 min d'activité d'intensité variant de modérée à élevée. Hein et al. (1992) ont noté

une gradation du risque en fonction des résultats d'activités plus importantes et l'on a calculé que pour réduire le risque, il fallait faire 4 h d'activité modérée par semaine. L'accent général provient néanmoins des conclusions de Morris et al. (1973, 1990, 1980), qui sont les suivantes : « La réduction du risque provenait d'activités vigoureuses et des sports, de la marche rapide ou de nombreuses séances de « marche assez rapide ou de bicyclette... la marche ordinaire, le jardinage ou les tâches ménagères présentaient peu d'avantages... La dépense d'énergie totale n'était pas importante... ce qui signifie que l'exercice adéquat doit être vigoureux... On n'a pas établi de lien entre des activités autres que l'exercice aérobique vigoureux (c.-à-d. travail exigeant, jardinage vigoureux, et activités non dynamiques) et des bienfaits. » Ainsi, chez les groupes plus âgés, l'activité modérément vigoureuse comprend la marche « d'un assez bon pas », d'un bon pas et rapide.

Des études plus récentes ont porté sur l'activité physique et la mortalité toutes causes confondues (ou la morbidité) chez les femmes. Oguma et al. (2002) ont compilé un tableau portant sur 38 de ces études et ils ont comparé les résultats à ceux des hommes. Lorsque l'on compare les sujets les plus actifs (ou en meilleure condition) au moins actifs (ou en mauvaise condition), le risque relatif de mortalité toutes causes confondues s'établit à 0,66 chez les femmes comparativement à 0,65 chez les hommes. Le risque relatif médian dans le cas des activités totales ou de loisir ou des activités non récréatives a varié de 0,54 à 0,75 (les valeurs comparables chez les hommes se situaient entre 0,65–0,70). Des études portant sur le volume de l'activité physique ont produit des constatations qui variaient, mais les auteurs ont conclu qu'une dépense d'énergie de 4200 kJ/semaine suffisait pour retarder la mortalité et que même une dépense d'énergie moindre pourrait être efficace. En ce qui concerne l'intensité, des données indiquaient qu'on établissait un lien entre une activité modérée et une baisse des taux de mortalité, mais selon d'autres données, il fallait aussi un peu d'activité vigoureuse. Whang et al. (2006) ont tiré récemment des données de l'Étude sur la santé des infirmières pour analyser le risque de mort cardiaque subite chez les femmes. Les taux de mortalité étaient excessivement faibles chez les sujets qui faisaient de l'exercice modéré ou vigoureux. À long terme, on a établi un rapport inverse entre l'exercice modéré ou vigoureux et le risque de mort cardiaque subite, le risque relatif s'établissant à 0,41 chez les femmes qui faisaient de l'exercice 4 h ou plus par semaine.

Parmi les études portant spécifiquement sur les groupes plus âgés, Oguma et al. (2002) ont comparé les résultats chez les sujets qui avaient moins et plus que 65 ans au niveau de référence et ont conclu que les risques relatifs (si l'on comparait les plus actifs aux moins actifs) s'établissaient à 0,67 et 0,58 pour les deux groupes d'âge. Dans le contexte de certaines études en particulier, la différence du risque était néanmoins un peu plus faible chez les femmes âgées. Oguma et Shinoda-Tagawa (2004) ont effectué une méta-analyse portant sur l'activité physique et le risque de maladies cardiovasculaires dans l'ensemble. Chez les groupes plus âgés, on a établi un lien entre une légère augmentation de l'activité physique, d'à peine 1 h/semaine de marche, et une réduction du risque relatif et l'on a calculé des valeurs de 1,00, 0,82 et 0,78 pour les tertiles d'activité

physique. Hakim et al. (1998) ont réalisé un suivi de 12 ans portant sur des hommes qui avaient en moyenne 68 ans. Ceux qui marchaient de 1,6 à 3,2 km présentaient un taux de mortalité toutes causes confondues beaucoup moins élevé que le groupe témoin qui marchait <1,6 km/jour, et ceux qui marchaient 3,2–12,8 km/jour avaient un taux de mortalité qui s'établissait à environ la moitié de celui du groupe de référence. Bijnen et al. (1999) ont étudié pendant cinq ans les changements survenus dans l'activité physique d'hommes âgés de ~75 ans. Le risque relatif de mortalité toutes causes confondues au cours d'un suivi de 5 ans s'est établi à 0,44 chez les sujets du tertile le plus actif par rapport à ceux qui étaient les moins actifs. Les groupements étaient fondés sur le rapport d'activité le plus récent et l'on n'a trouvé aucun lien avec l'activité signalée cinq ans plus tôt. Ceux qui étaient jugés physiquement actifs faisaient 20 min de marche et de bicyclette plus de trois fois par semaine. Chez ceux qui étaient actifs mais sont devenus sédentaires, le risque présentait un écart favorable de 15 % par rapport à ceux qui étaient sédentaires aux deux occasions. Chez les sujets qui ont cessé d'être sédentaires pour devenir actifs, le risque avait diminué de 23 % et chez ceux qui étaient actifs aux deux occasions, il avait diminué de 47 %. Dans l'ensemble, les niveaux récents d'activité physique semblaient plus importants en ce qui a trait à la mortalité. Manini et al. (2006) ont mesuré la dépense d'énergie en deux semaines d'adultes âgés de 70 à 82 ans en utilisant la technique de l'eau à double marqueur. On a établi un lien entre une dépense d'énergie plus grande d'un écart-type (1200 kJ/jour) et une diminution de 32 % du risque de mortalité. Le risque relatif chez les sujets du tertile le plus actif s'établissait à 0,31 par rapport à celui du tertile le moins actif. Les auteurs ont donc conclu qu'une dépense d'énergie par n'importe quel type d'activité peut avoir un effet sur la survie chez les adultes âgées. La différence au niveau des dépenses d'énergie entre les groupes a néanmoins totalisé 8400 kJ/semaine.

La prévalence de l'obésité préoccupe actuellement la société et l'on produit des recommandations sur l'activité physique en fonction de cette « épidémie ». Janssen et al. (2005) ont relié le risque de mortalité toutes causes confondues au tour de taille et à l'indice de masse corporelle (IMC) chez les hommes et les femmes de plus de 65 ans. On a associé un tour de taille plus élevé à un risque de mortalité, mais l'IMC constituait un prédicteur négatif chez ces adultes âgés. Parmi les sujets qui avaient un tour de taille moyen, les taux de mortalité étaient moins élevés chez ceux qui avaient de l'embonpoint ou qui étaient obèses (selon le critère de l'IMC). Il y a une explication possible, soit que l'IMC plus élevé reflète une masse maigre plus importante, ce qui peut expliquer la diminution du risque pour la santé. Les auteurs indiquent que la perte de poids n'est pas nécessairement bénéfique chez l'adulte âgé qui a de l'embonpoint. Il faudrait viser à réduire le tour de taille par l'exercice sans perdre de poids. Janssen et al. (2005) ont noté que chez les hommes et les femmes plus jeunes qui ont de l'embonpoint, l'exercice réduisait le tour de taille (et le gras abdominal) sans diminuer l'IMC, question qu'il faut étudier plus à fond chez les adultes âgés.

Un résumé de la dose d'activité physique recommandée pour réduire la mortalité toutes causes confondues et la mor-

Tableau 5. Sommaire de l'analyse d'études épidémiologiques visant à dégager la dose recommandée d'activité physique sur les plans de l'intensité, de la durée, de la fréquence et du volume (dépense d'énergie totale) associée à une réduction du risque relatif de morbidité ou de mortalité toutes causes confondues.

Source	Intensité (MET)	Durée (min/séance)	Fréquence (/semaine)	Volume (dépense d'énergie, kJ/semaine)
Morris et al. 1973, 1990, 1980	>4; c.-à-d. 6*	>5, >30 [†]	2+	S.O.
Paffenbarger et al. 1986, 1993, 1994, 1978	sports 4,5+ marche 4	45	7	8400 [‡] 6300 (>4200) [§] 6300
Lee et al. 1995; Lee et Paffenbarger 2000; Lee et Skerrett 2001	>6	–	–	6300
Lakka et al. 1994	>6	120 (/semaine)		3360
Folsom et al. 1997	Sports vigoureux			
Leon et al. 1987	Modérée – intense pendant 25 min du total	50	7	6615
Pate et al. 1995 [¶]	3–7	30	7	5880**

*Marche >4 m/h; modérée 31,5 kJ/min (7,5 kcal/min), 1,5 L/min.

[†]Activité récréative vigoureuse pendant >5 min (surtout beaucoup plus longtemps) ou effort pendant >30 min.; 1 h en 2 jours.

[‡]Marche d'un pas vif, 5 h/semaine = 45 min/jour + escaliers et sports.

[§]1994 changement des données relatives au niveau d'activité.

^{||}Calculé à partir de 6 MET pendant 120 min.

[¶]« Chaque adulte devrait faire 30 minutes ou plus d'activité physique d'intensité modérée la plupart, de préférence la totalité, des jours de la semaine. »

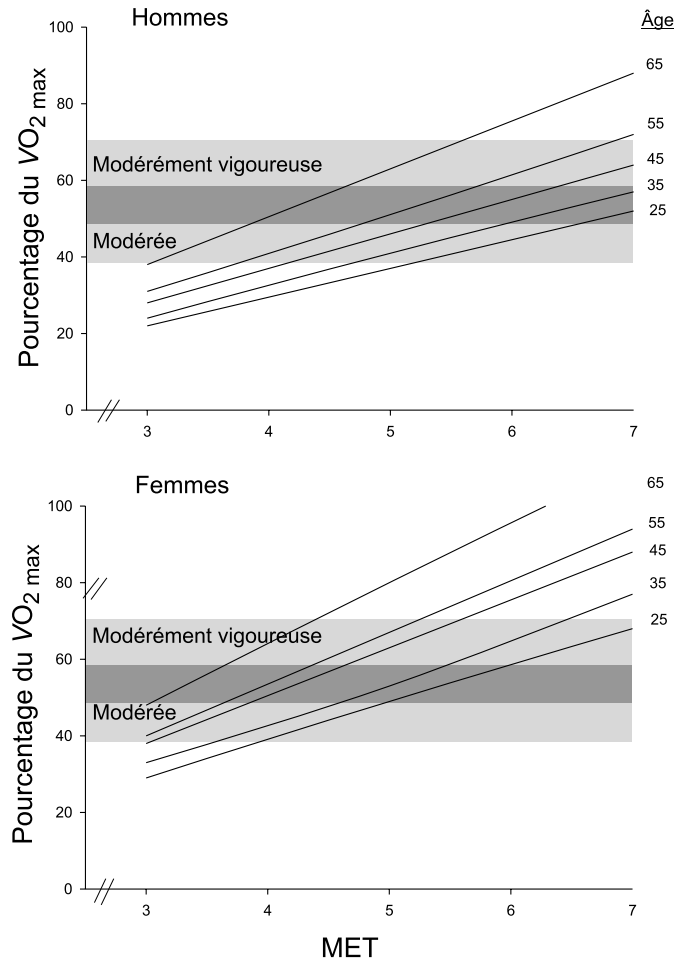
**840 kJ/jours fois 7 jours.

bidité (tableau 5) indique qu'il faut une intensité minimale de 4, 4,5, ou même 6 MET (activité modérée et modérément vigoureuse) et une dépense d'énergie cumulative de 4200 kJ/semaine. Blair et al. (2001) ont conclu qu'il y avait un gradient dose-réponse inverse entre la plupart des résultats pour la santé dans toutes les catégories d'activité physique (plus variable chez les femmes que chez les hommes) et qu'il peut y avoir un minimum pour qu'il en découle des bienfaits. Lee et Skerrett (2001) ont aussi conclu qu'il y avait un rapport dose-réponse linéaire entre le volume d'activité physique et les taux de mortalité toutes causes confondues : on l'a constaté chez les hommes et les femmes, ainsi que chez les sujets plus jeunes et plus âgés (10 études sur les adultes de 60 ans et plus et jusqu'à 80 ans). On a associé un volume total de 4200 kJ/semaine à une réduction du risque de 20–30 %, et le risque diminuait encore lorsque les volumes étaient plus élevés (p. ex., diminution de 50 % lorsque la dépense d'énergie atteint 8400 kJ/semaine). On a aussi dit qu'une dépense d'énergie d'à peine 2100 kJ/semaine pourrait produire certains bienfaits. Ces auteurs ont tenu compte spécifiquement de l'intensité de l'activité physique au cours des quatre études. Pendant une étude, des activités d'une intensité modérément vigoureuse (>4,5 MET) ont produit des bienfaits comparativement à des activités d'intensité moindre et dans les trois autres études, on a établi un lien entre seulement l'activité physique vigoureuse (>6 MET) et une diminution de la mortalité toutes causes confondues. Les chercheurs n'ont pu conclure qu'il y avait un rapport dose-réponse, l'activité physique d'intensité vigoureuse produisant un bienfait supplémentaire par rapport à l'effort modéré. Il convient toutefois de signaler que l'exemple d'activité modérée est la marche d'un bon pas à une vitesse de 4,8–6,4 km/h. Les conclusions relatives à l'intensité et au concept de l'accumulation de brèves séances d'activité ont été considérées comme des compromis pour déterminer une dose efficace minimale.

Lorsqu'on interprète les publications portant sur l'épidémiologie, il faut distinguer comment les expressions activité « modérée » ou « vigoureuse » s'appliquent à un échantillon plus âgé. Le MET est une unité absolue de coût en énergie. Pour l'exprimer sous forme d'une intensité relative, il est essentiel de tenir compte de l'âge du sujet (et de la diminution du $VO_2 \text{ max}$ reliée à l'âge). Chez l'homme moyen de 45 ans, un MET « modéré » de 4,5 représente ~45 % du $VO_2 \text{ max}$ et chez les femmes du même âge, il représente >50 % du $VO_2 \text{ max}$. Chez les sujets de 60 ans et plus, 4,5 MET équivalent à 50–55 % du $VO_2 \text{ max}$ chez les hommes et à 65–70 % chez les femmes (fig. 2). Comme on l'indique dans certaines études, l'activité physique que l'on a trouvée efficace pour réduire le risque a été démontrée principalement chez les membres plus âgés de l'échantillon (50 ans et plus). Si l'on utilise 6 MET comme intensité recommandée, l'intensité représente 70 % ou plus du $VO_2 \text{ max}$ de la plupart des adultes âgés. Chez les sujets de >65 ans dont la condition cardiorespiratoire s'établit à 25 mL·kg⁻¹·min⁻¹, la recommandation relative à l'activité « modérée » ou au minimum absolu de 4 MET atteint presque 60 % du $VO_2 \text{ max}$. Pour dépenser 4 MET en énergie, il faut faire plus que de la marche « ordinaire ». Ce total correspond à une marche d'un pas vif ou rapide (5,6–6,4 km/h). À 75 ans et avec un $VO_2 \text{ max}$ qui se rapproche de 20 mL·kg⁻¹·min⁻¹, une vitesse de 4,8 km/h dépasserait 50 % du $VO_2 \text{ max}$.

Ainsi, compte tenu de l'analyse de données épidémiologiques et des activités qui réduisent le risque, il semble y avoir un seuil minimal d'activité d'intensité au moins modérée, sinon modérément vigoureuse, dans la région de 60–70 % du $VO_2 \text{ max}$. Il s'agit de l'intensité de l'exercice reconnue, à la suite d'études physiologiques, pour améliorer la condition cardiorespiratoire. Il est approprié de recommander la marche d'un bon pas ou rapide chez les adultes âgés, ce qui satisfait probablement à ces critères. À mesure que la

Fig. 2. Rapport entre l'intensité de l'activité physique exprimée en MET et en pourcentage du VO_2 max pour des isoplèthes selon l'âge différents chez les hommes et les femmes. L'intensité « modérée » s'étend de la région de 40–60 % du VO_2 max et l'intensité « modérément vigoureuse » désigne la région de 50–70 % du VO_2 max. On a tracé des isoplèthes selon l'âge à partir des valeurs moyennes ou médianes du VO_2 max pour les différentes décennies d'âge présentées dans le Physitest canadien normalisé (ministre d'État, Condition physique et Sport amateur 1986).



condition physique de la personne s'améliore, elle peut s'attaquer à des pentes ou augmenter la demande d'énergie en portant un sac à dos.

On a évalué dans certains documents des tendances à la fois de la condition physique et de l'activité physique par rapport à la mortalité ou à la morbidité. Blair et al. (2001) ont analysé 9 études. Les gradients dose-réponse étaient plus abrupts dans le cas des données sur la condition physique que dans celui des données sur l'activité physique. Dans un modèle de hasards proportionnels incluant la condition cardiorespiratoire et l'activité, on a associé la condition cardiorespiratoire à une diminution du risque de 50 % chez les hommes et les femmes de condition physique moyenne et de 70 % chez ceux dont la condition physique est la meilleure comparativement à ceux dont la condition est la moins bonne et l'on n'a pas établi de lien entre l'activité physique et la mortalité après avoir tenu compte de l'effet de la condition cardiorespiratoire. Les chercheurs signalent néan-

moins qu'il se peut que la condition physique ne soit pas plus importante que l'activité : on la mesure plutôt de façon plus objective et il y a moins de classification erronée à cet égard. Talbot et al. (2002) ont comparé les effets protecteurs associés à un VO_2 max plus élevé par rapport à une activité physique de loisir plus importante. Chez les hommes de <65 ans, on a associé la condition cardiorespiratoire (mais non l'activité physique) à un risque plus faible d'événements coronariens, mais chez les >65 ans, le lien entre la condition cardiorespiratoire et les activités très intenses (mais non d'autres types d'activité), d'une part, et la réduction du risque d'événements coronariens, de l'autre, était tout aussi important. Myers et al. (2004) ont mesuré les tendances de la condition cardiorespiratoire et de l'activité physique dans un échantillon dont les sujets avaient en moyenne 59 ans. Au cours d'un suivi d'une durée de 5,5 ans, on a constaté une diminution progressive de la mortalité toutes causes confondues en fonction de l'augmentation selon le quartile à la fois de la capacité d'exercice (1,00 à 0,59, 0,46, 0,28) et de l'activité physique (1,00, 0,63, 0,42, 0,38). Ils ont conclu qu'il y avait un lien entre une augmentation de 4200 kJ/semaine de l'activité et une augmentation de 1 MET de la condition physique et une réduction de 20 % de la mortalité.

Blair et al. (2001) ont discuté plus à fond de l'importance de l'activité physique par rapport à la condition physique. Ils soutiennent que même le volume le plus faible d'activité physique, ou une activité physique d'intensité minimale, pourrait entraîner de faibles améliorations des variables physiologiques et psychologiques chez les personnes sédentaires et que toute augmentation de l'activité physique sera ainsi bénéfique pour la condition physique et la santé. Il se peut que ces bienfaits ne soient pas détectables, ni importants, qu'on ne dispose pas d'un échantillon très nombreux ni de mesures précises. La majeure partie des données réunies jusqu'à maintenant ont néanmoins permis de constater qu'il n'y a pas de lien entre certaines activités et des différences discernables au niveau des résultats pour la santé. Ces activités comprennent l'activité légère (<4 MET) et les activités non aérobiques de courte durée (contrairement au concept selon lequel il faut accumuler toutes les activités tout au long de la journée normale), et un volume d'activité inférieur à un seuil minimal (qui s'établit à environ 4200 kJ/semaine d'après la plupart des études).

On pourrait demander quel changement est « cliniquement » significatif ou aurait un effet sur la santé de la population. Les données existantes indiquent qu'on établit un lien entre 4200 kJ/semaine d'activité modérée, qui entraîne une amélioration de 1 MET de la condition physique, et une réduction de 20–30 % du risque de morbidité et de mortalité. En ce qui a trait aux changements modestes de l'activité physique, on pourrait soutenir que l'inactivité physique constitue un facteur de risque et demander quel est le volume « neutre » d'activité qui n'alourdit pas le risque. Slentz et al. (2007) ont déterminé le niveau minimal d'activité physique nécessaire pour maintenir la santé métabolique. On a affecté des sujets sédentaires, qui avaient de l'embonpoint et une dyslipidémie, âgés de 40–65 ans, à un groupe témoin et à trois groupes qui s'entraînaient en faisant un volume important (~100 kJ/kg/semaine, ~32 km/semaine) d'exercice vigoureux (65–80 % du VO_2 de pointe), un volume

moindre (~60 kJ/kg/semaine, 19 km/semaine) d'exercice vigoureux, ou un volume plus faible d'exercice d'intensité modérée (40–55 % du VO_2 de pointe). Les groupes qui faisaient de l'exercice ont perdu du poids d'une façon reliée à la dose-réponse, tandis que les sujets du groupe témoin en ont pris. Une courbe du volume d'exercice en fonction du changement de poids montre un point d'interception de 13 km/semaine (marche, course à pied ou équivalent en énergie) comme activité minimale nécessaire au maintien du poids. Dans le cas d'autres résultats reliés à la santé, le minimum a varié de 11 à 19 km/semaine ou l'équivalent en dépense d'énergie. Le concept d'une dose qui compense le risque posé par l'inactivité physique est raisonnable dans une société physiquement inactive. Jusqu'à maintenant, les études épidémiologiques ont en général mentionné le bienfait de l'activité physique ou de la condition cardiorespiratoire en fonction du groupe le moins actif ou dont la condition physique est la moins bonne. Lorsqu'on dérive des recommandations fondées sur la population, il pourrait toutefois être prudent de tenir compte d'améliorations à partir non pas du niveau le plus bas, mais d'un niveau d'activité physique et de condition physique « neutre ». Il peut donc être approprié d'encourager des activités d'intensité modérée à modérément vigoureuse comportant un volume de 4200 kJ/semaine de plus que les niveaux actuels (et entraînant des améliorations correspondantes de la condition physique) pour tous sauf les sujets des catégories supérieures de la condition physique et de l'activité physique. Il faudrait encourager les intéressés à maintenir leur état.

En terminant, il y a un solide gradient inverse entre la condition aérobique et le risque de morbidité et de mortalité. De plus, on établit un lien entre des changements de la condition cardiorespiratoire (Blair et al. 1995; Erikssen et al. 1998) ou le passage d'un état sédentaire à des habitudes de vie plus actives à l'âge mûr ou à un âge plus avancé (Bijnen et al. 1999; Paffenbarger et al. 1994) et un risque réduit de morbidité ou de mortalité toutes causes confondues. Les bienfaits relativement immédiats qu'entraînent des changements des habitudes de vie appuient l'utilisation de l'exercice comme moyen de prévention, même chez les personnes âgées (Singh 2002). Sur le plan de la dose, on relie les activités qui satisfont au critère consistant à améliorer la condition cardiorespiratoire à une réduction du risque. Il peut y avoir une intensité seuil, mais le minimum nécessaire pour garantir l'efficacité soulève toujours des débats. Les descripteurs modérés à modérément vigoureux se traduisent en un $\text{VO}_{2\text{ max}}$ de 40–60 % et de 50–70 % respectivement chez l'adulte âgé. Certaines activités n'atteignent pas le seuil nécessaire pour réduire le risque, comme la marche ordinaire, le jardinage et le travail autour de la maison. Sur le plan de la dépense d'énergie totale, l'étude moyenne indique qu'il faut dépenser 6300 kJ/semaine pour réduire le risque, et on s'entend pour dire que 4200 kJ/semaine suffisent. Même ce dernier volume d'activité n'est pas banal (il faudrait par exemple >3 h de marche d'un bon pas) et il est difficile d'y parvenir sans inclure des activités modérément vigoureuses. On sous-entend par dépense d'énergie totale des activités « accumulées » (p. ex., marcher pour quitter le stationnement, monter l'escalier, faire des tâches ménagères et jouer avec les petits-enfants). Des données appuient le

concept selon lequel des segments de 10 min « d'entraînement par l'exercice » s'ajoutent et s'accumulent pour équivaloir à une séance d'entraînement de 30 min (Hardman 2001), mais il y a peu de preuves qui indiquent que l'accumulation d'activités modérées de plus brève durée (comme marcher ici et là au cours de la journée), d'activités non aérobiques (monter un escalier) ou d'activités mettant à contribution des groupes de petits muscles (racler des feuilles ou peindre un mur) comptent dans la réduction du risque. On peut soutenir que ces « autres » activités peuvent contribuer à produire des bienfaits pour la santé comme le maintien du poids, mais il faut améliorer la surveillance des activités pour en évaluer l'importance (voir les communications de Tremblay et al. et d'Eslinger et Tremblay publiées dans ce numéro). Puisqu'il semble jusqu'à maintenant que des activités continues mettant à contribution les gros muscles s'imposent, il faudrait encourager les gens à faire de l'activité d'intensité modérée (pour progresser vers l'intensité modérément vigoureuse) qui améliore la condition cardiorespiratoire. Un effort qui atteint ~50 % du $\text{VO}_{2\text{ max}}$ ne semble pas constituer un objectif insurmontable.

Déclin cardiorespiratoire avec le vieillissement et perte de capacités fonctionnelles

Beaucoup de capacités fonctionnelles diminuent de 40–50 % pendant la vie, ce qui a des conséquences sur la qualité de vie, les AVQ et l'autonomie. Cette section traite des données probantes sur la condition cardiorespiratoire qui aboutit à l'incapacité fonctionnelle et à la perte d'autonomie. Les personnes inscrites à des programmes d'exercice au Centre for Activity and Ageing (Estabrooks et Carron 1999) ont toujours affirmé qu'elles étaient motivées à faire de l'exercice relié à la condition fonctionnelle. Certains ont aussi mentionné des aspects du mieux-être, mais quelques-uns seulement ont dit vouloir prévenir la maladie ou vivre plus longtemps. Le plus important pour les adultes âgés, c'est d'adopter des habitudes de vie qui leur permettront de garder leur autonomie.

Chez une personne âgée, la condition cardiorespiratoire peut tomber à un niveau qui limite les fonctions et contribue à la dépendance. Une enquête réalisée auprès de ~400 hommes et femmes vivant en autonomie et choisis au hasard, âgés de 55–85 ans, montre que le $\text{VO}_{2\text{ max}}$ diminue de façon exponentielle à raison de 16 % par décennie pour tomber à un minimum (chez les sujets qui demeurent en bonne santé et autonomes) qui se situe entre 15 (femmes) et 18 (hommes) $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Cunningham et al. 1997; Paterson et al. 1999). Un suivi d'une durée de 10 ans portant sur 62 hommes et femmes qui ont atteint 72 ans en moyenne (Stathokostas et al. 2004) a indiqué que chez ceux qui étaient demeurés autonomes et pouvaient se soumettre à un test d'effort sur tapis roulant, le $\text{VO}_{2\text{ max}}$ le plus bas observé s'établissait à 15 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Chez les hommes, la diminution a atteint 15 % (4,3 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ pendant la décennie, pour atteindre une valeur de 22 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ à 73 ans), tandis que la diminution atteignait 7 % chez les femmes (de 1,9 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ pour tomber à 20,2 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ à 72 ans). Les valeurs plus élevées au début chez les hommes sont donc devenues semblables à celles des femmes à l'âge de 80–85 ans. Il n'y avait aucun lien entre les résultats et l'activité physique, et la masse

sans gras n'a pas changé pendant la période d'observation. Le déclin constaté pendant les décennies plus âgées par rapport aux décennies plus jeunes n'a pas différé chez les hommes, mais chez les femmes, il a été minime pendant la décennie plus âgée. On suppose que les sujets qui ont pu répéter le test à un âge plus avancé constituaient un groupe choisi qui avait gardé son autonomie et dont le niveau fonctionnel dépassait un minimum ($15 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Hollenberg et al. (2006) ont soumis 253 hommes et 339 femmes qui avaient en moyenne 70 ans à des tests répétés sur tapis roulant aux deux ans pendant six ans. La capacité aérobie a diminué un peu plus rapidement ($6,9 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (24 %) par décennie chez les hommes et $3,9 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (18 %) par décennie chez les femmes) que l'ont constaté Stathokostas et al. (2004). Fleg et al. (2005) ont soumis de nouveau 375 hommes et 425 femmes âgés de 21–87 ans à des tests sur tapis roulant à des intervalles de 7,9 ans. Le déclin longitudinal du $\text{VO}_2 \text{ max}$ a accéléré de façon marquée avec l'âge pour passer de ~ 5 % par décennie chez les sujets dans la vingtaine et la trentaine à >20 % par décennie chez les 70 et 80 ans. Le déclin était aussi plus marqué chez les hommes que chez les femmes. Comparativement à des analyses transversales ou à des publications précédentes (où la capacité de survie sélective des sujets en meilleure condition physique sous-estime la vitesse du déclin), la perte de fonction chez les hommes et les femmes a accéléré au cours des décennies plus âgées. De plus, la perte de $\text{VO}_2 \text{ max}$ a accéléré même lorsqu'on l'exprime en fonction de la masse sans tissus adipeux et c'est pourquoi elle n'est pas attribuable simplement à la perte de masse musculaire. De même, Hollenberg et al. (2006) ont constaté que les changements de la masse maigre étaient limités et ne contribuaient pas au déclin de la condition cardiorespiratoire relié à l'âge. Fleg et al. (2005) ont soutenu que la capacité des personnes âgées de fonctionner en autonomie dépend en grande partie du maintien d'une condition aérobie (et d'une force musculaire) suffisante pour se livrer aux activités quotidiennes. Ils ont signalé que les baisses du $\text{VO}_2 \text{ max}$ reliées à l'âge étaient exacerbées chez des sujets qui ont des problèmes chroniques. Ils ont donc conclu que « compte tenu de l'importance de la capacité aérobie dans les activités de la vie quotidienne, les efforts visant à atteindre et maintenir un VO_2 de pointe plus élevé, conjugués à l'entraînement de la force, chez les adultes âgés amélioreraient probablement la capacité de vivre en autonomie et d'avoir une grande qualité de vie ». Weiss et al. (2006) ont étudié les déterminants du déclin du $\text{VO}_2 \text{ max}$ relié à l'âge chez des hommes et des femmes de 60 à 92 ans qui résident dans la communauté. Ils ont signalé que chez les personnes âgées les plus âgées, le $\text{VO}_2 \text{ max}$ était bas à $13 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ et qu'à ce niveau, il fallait ~ 50 % du $\text{VO}_2 \text{ max}$ pour rester debout immobile, ce qui démontre que la condition cardiorespiratoire impose tellement de limites qu'une personne ne peut plus se livrer aux AVQ en autonomie.

Ainsi, compte tenu du déclin de la condition physique relié à l'âge qui s'est produit à 75 ans (ou plus tôt), beaucoup des AVQ atteignent une intensité relative élevée (p. ex., avec un $\text{VO}_2 \text{ max}$ de $20 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, les activités qui coûtent 12 à $5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ sont fatigantes, car elles exigent

75 % du $\text{VO}_2 \text{ max}$). Il s'ensuit que les personnes en cause n'effectuent plus certaines de ces activités et peuvent se retrouver dans un cercle vicieux où l'activité diminue, elles marchent plus lentement et leur condition physique se détériore progressivement. D'autres AVQ deviennent alors trop difficiles à exécuter jusqu'à ce que les personnes en cause aboutissent dans la dépendance. Comme on l'a signalé, on a aussi noté avec intérêt dans ces études qu'il n'y avait pas de lien entre la dépense d'énergie quotidienne (tirée du *questionnaire du Minnesota sur l'activité physique*) et le $\text{VO}_2 \text{ max}$ (Paterson et al. 1999), et qu'il n'y avait pas de rapport entre la variabilité entre individu du déclin du $\text{VO}_2 \text{ max}$ et l'activité habituelle (Stathokostas et al. 2004). Hollenberg et al. (2006) ont aussi signalé que le déclin relié à l'âge de la performance à l'exercice n'avait aucun lien avec l'activité physique autodéclarée. De même, Fleg et al. (2005) ont noté un déclin semblable chez les sujets de tous les quartiles qui faisaient habituellement de l'activité physique et ils n'ont pu expliquer l'accélération du déclin du $\text{VO}_2 \text{ max}$ par une diminution de l'activité physique, ce qui laisse entendre que l'activité physique de routine ne suffit pas pour prévenir la diminution de la condition cardiorespiratoire. Même si l'on associe, à n'importe quel âge, des niveaux plus élevés d'activité habituelle à un $\text{VO}_2 \text{ max}$ plus élevé, ces activités ne semblent pas prévenir le déclin lié au vieillissement. Ces observations confirment des méta-analyses antérieures portant sur des données transversales : chez les hommes, la perte relative de $\text{VO}_2 \text{ max}$ s'établissait à 9 % chez les sujets sédentaires et 7 % chez les sujets actifs et entraînés à l'endurance (la perte absolue a atteint $4,0$ – $4,6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{décennie}^{-1}$ chez tous les groupes) (Wilson et Tanaka 2000), tandis que chez les femmes, les pertes ont varié de 10 à 11 % par décennie à $3,5$, $4,4$ et $6,2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{décennie}^{-1}$ chez celles qui sont sédentaires, actives et entraînées à l'endurance respectivement (Fitzgerald et al. 1997).

En résumé, même la condition cardiorespiratoire « moyenne » des personnes âgées est tombée à des seuils qui ralentissent de façon minime leur mobilité, rendent diverses tâches fatigantes et limitent certaines activités quotidiennes. Il semble de plus qu'une activité habituelle supérieure à la moyenne ne suffit pas pour ralentir ce déclin.

Condition cardiorespiratoire, activité physique et risque de limitations fonctionnelles, d'incapacité et de perte d'autonomie

Morey et al. (1998) ont étudié 161 hommes et femmes qui avaient en moyenne 72 ans et un $\text{VO}_2 \text{ max}$ de $18,6 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, ainsi que toutes sortes de problèmes chroniques (arthrite, maladies cardiovasculaires, problèmes orthopédiques) et de symptômes (douleur, essoufflement et perte de mémoire). On a établi un lien important entre le $\text{VO}_2 \text{ max}$, la force musculaire et la morphologie (y compris la composition du corps, la souplesse et la densité osseuse) et une perte de fonction (telle qu'évaluée au moyen d'un test de rendement et d'échelles d'autodéclaration). Le manque de « condition physique » semble donc constituer un modificateur critique de la voie vers l'incapacité. On a établi un lien direct entre la condition cardiorespiratoire et à la fois la pathologie et les limites fonctionnelles indépendantes de la pathologie, insistant ainsi sur le fait qu'une

amélioration de la condition cardiorespiratoire devrait atténuer le déclin fonctionnel provoqué par la pathologie.

Huang et al. (1998) ont constaté l'existence d'un gradient inverse abrupt entre les limitations fonctionnelles (dans des activités quotidiennes modérées et fatigantes plutôt que dans les AVQ) et des changements à 5,5 ans à la fois de l'activité physique et de la condition physique (endurance sur tapis roulant) chez les hommes et les femmes de 50 ans en moyenne. Comparativement à leurs pairs en mauvaise condition physique, chez les sujets dont la condition physique est moyenne, le risque relatif de limitation fonctionnelle s'établissait à 0,4 chez les hommes et 0,5 chez les femmes, et à 0,3 et 0,3 respectivement chez les sujets en très bonne condition physique. Le lien entre les limitations fonctionnelles et l'activité habituelle était moins solide : chez les hommes et les femmes modérément actifs et très actifs, les risques relatifs étaient de l'ordre de 0,5–0,7. Les auteurs laissent donc entendre que les sujets à risque de limitations fonctionnelles attribuables au vieillissement ou à une maladie chronique bénéficieraient d'une augmentation de l'activité physique, et en particulier de l'activité qui suffit pour maintenir la condition physique.

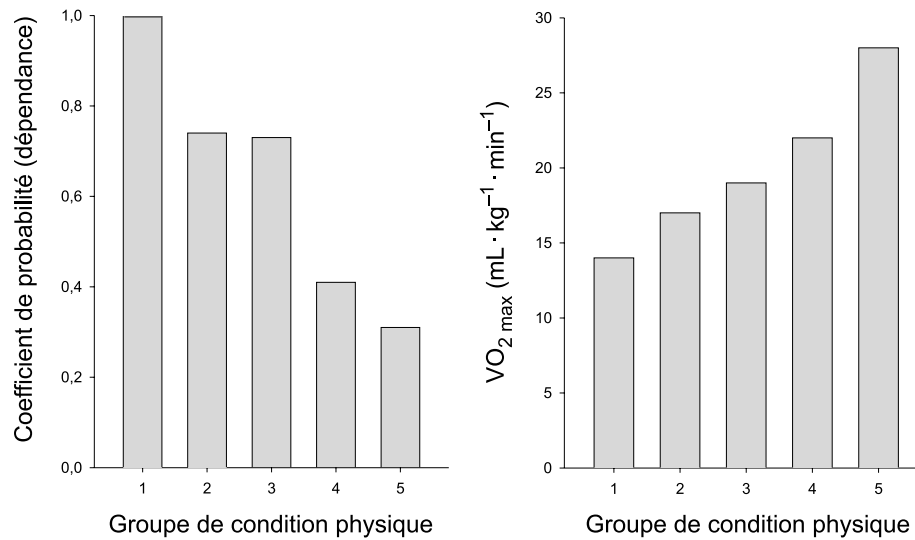
Se fondant sur un suivi annuel d'une durée de 6 ans portant sur des sujets âgés de 65 ans, Ferrucci et al. (1999) ont signalé que par rapport au faible niveau d'activité, des activités modérées et intenses augmentaient l'espérance de vie active prévue de 3,3–5,5 ans chez les hommes (1,0–3,4 chez les fumeurs) et de 3,5–5,7 ans chez les femmes (1,5–4,2 chez les fumeuses). De nouvelles données tirées de cette étude ont inclus l'apparition de l'incapacité (incapacité d'exécuter les AVQ, y compris de marcher). Les auteurs ont cherché à déterminer si, chez les sujets qui avaient un profil de facteur de risque avantageux, l'apparition de l'incapacité tardait plus que le report de la mort et, par conséquent, s'il en découlait une amélioration de la qualité de vie et un plus grand nombre d'années de vie sans incapacité. Sinon, une plus grande longévité augmenterait simplement le nombre d'années d'incapacité. Leur analyse a confirmé une « compression de la morbidité » par l'activité physique autant chez les hommes que chez les femmes (fumeurs et non-fumeurs). Les auteurs ont conclu que « c'est la première étude qui démontre que l'activité physique dans la population âgée prolonge la vie active, réduit le pourcentage de vie restante passée en état d'incapacité et, comparativement aux personnes qui meurent au même âge dans la population générale, on l'associe à une période plus brève d'incapacité. » Ils ont aussi signalé que « pour un homme ou une femme qui décide de commencer à faire de l'exercice, le fait de savoir combien d'années de vie au total et de « bonne » qualité il ou elle peut gagner peut être une puissante incitation à faire le choix santé. » À partir de la même cohorte, Leveille et al. (1999) ont évalué les facteurs reliés à une absence d'incapacité avant la mort à >80 ans chez les hommes et 85 ans chez les femmes. Ceux qui étaient actifs (définis principalement par la marche régulière pratiquée à une intensité modérée) à 70 ou 75 ans risquaient deux fois moins que les sujets inactifs de mourir avec une incapacité.

Fries (1980) a déclaré que « dans la mesure où la fragilité et la dépendance peuvent découler d'une perte de fonction physique, l'activité physique (ou une amélioration de la « condition physique ») est une intervention qui peut réduire

le nombre d'années de vie en dépendance et améliorer la qualité de vie des adultes âgés. ». La dépendance, assortie d'une réduction de la qualité de vie, constitue une préoccupation majeure des adultes âgés et un fardeau imposé au financement des soins de santé. Paterson et al. (2004) ont ainsi évalué les facteurs reliés à la perte d'autonomie. Au cours d'un suivi d'une durée de 8 ans portant sur 297 hommes et femmes vivant en autonomie (âgés au début de 55–85 ans, moyenne de ~70 ans), 43 étaient devenus dépendants ou avaient une limitation de la mobilité. Les variables prédictives incluaient la grosseur initiale du corps, une maladie chronique, le $VO_2 \text{ max}$ (échange gazeux mesuré au cours du test sur tapis roulant), la force, la flexibilité des articulations, la vitesse de la marche et l'activité physique en temps de loisir. Une régression logistique a montré que l'âge au niveau de référence, la présence d'une maladie et le $VO_2 \text{ max}$ (condition cardiorespiratoire) présentaient d'importants coefficients de probabilité indépendants reliés à la dépendance progressive. Un $VO_2 \text{ max}$ initial plus élevé réduisait le risque de 14 % par tranche de $1 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, ou de ~50 % par MET et le rapport au niveau des quintiles entre le $VO_2 \text{ max}$ et l'autonomie-dépendance suivait une importante tendance linéaire. Par rapport au groupe des sujets en mauvaise condition physique ($14 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), le risque de dépendance diminuait de 30 % chez ceux dont la condition physique était moyenne ($17\text{--}19 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) et de 40–50 % chez ceux qui étaient en meilleure condition physique ($22\text{--}28 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (fig. 3). Cette étude longitudinale a été la première à démontrer que la condition cardiorespiratoire constitue un déterminant critique de la dépendance progressive. Des études transversales ont toutefois établi aussi un lien entre divers indicateurs de la condition cardiorespiratoire et des limites fonctionnelles ou une incapacité (Cunningham et al. 1993; Morey et al. 1998; Posner et al. 1995). D'autres études longitudinales appuient davantage le lien entre la condition cardiorespiratoire (ou des mesures substituts) et des limites fonctionnelles (Brill et al. 2000; Woo et al. 1999). Combinée à d'autres mesures de performance des membres inférieurs, la performance à la marche constitue constamment un facteur prédictif d'incapacité (Guralnik et al. 2000, 1995; Penninx et al. 2000). Newman et al. (2006) ont constaté qu'une marche de 400 m dans un couloir prédisait à la fois une limitation et une incapacité sur le plan de la mobilité chez les 70–79 ans.

Paterson et al. (2004) ont insisté sur le fait qu'il n'y avait pas de lien entre l'activité physique en temps de loisir et la dépendance subséquente. De même, Hirvensalo et al. (2000) ont constaté que l'activité habituelle d'adultes vivant en autonomie ne modifiait pas leur risque de vivre dans la dépendance ou de mourir 8 ans plus tard. Wu et al. (1999) ont aussi signalé que l'activité récréative générale n'avait pas d'effet sur l'incapacité future, même si l'on établit un lien entre l'exercice de routine et une réduction de 50 % du risque d'incapacité. Mor et al. (1989) et Miller et al. (2000) ont constaté que l'activité de loisir générale ne protégeait pas contre le déclin des fonctions, mais que la probabilité de ce déclin était moins forte chez les sujets qui faisaient régulièrement de l'exercice ou qui marchaient au moins 1,6 km une fois par semaine. Il n'y a pas grand-chose qui appuie le concept selon lequel des activités récréatives générales réduiront pour les adultes âgés le risque de vivre dans

Fig. 3. Coefficient de probabilité de devenir dépendant au cours d'un suivi de 8 ans portant sur des regroupements par quintiles de la condition cardiorespiratoire. (Tiré de données de Paterson et al. (2004); il y avait un rapport linéaire important entre le $VO_2 \text{ max}$ par quintiles et le risque de dépendance).



la dépendance, mais l'exercice de routine, y compris la marche, qui améliore la condition cardiorespiratoire, réduit le risque de dépendance plus tard au cours de la vie. Ainsi, « les initiatives de santé publique qui visent à préserver et à améliorer la condition cardiorespiratoire au cours des années ultérieures peuvent constituer une importante stratégie à suivre pour maintenir l'indépendance » (Paterson et al. 2004).

Pahor et al. (2006) ont implanté des exercices aérobiques (marche, intensité modérée, 150 min/semaine), d'entraînement de la force et d'équilibre chez des personnes sédentaires âgées de 70–89 ans et à risque d'incapacité. L'intervention, qui a entraîné des améliorations importantes des résultats de la brève batterie de tests de performance physique a réduit d'environ 30 % le risque d'incapacité majeure de la mobilité, ce qui a contribué à maintenir l'autonomie totale.

Spirduso et Cronin (2001) ont noté que chez les adultes âgés, le but visé par l'activité physique passe de la prévention des maladies et de l'augmentation de l'espérance de vie vers une activité qui « peut combattre la fragilité... minimiser les changements biologiques attribuables au vieillissement, inverser les syndromes d'inutilisation, contrôler les maladies chroniques, maximiser la santé psychologique, accroître la mobilité et la fonction. » Les auteurs se sont demandé si l'activité physique contribue considérablement à une amélioration de la qualité de vie et au recul de la dépendance et, le cas échéant, quels étaient les niveaux nécessaires d'activité. Comme ils le résumant dans leur abrégé, « les résultats les plus constants faisaient état d'un lien entre l'activité physique de longue durée et le report de l'incapacité et le prolongement de la vie indépendante chez les sujets âgés les plus âgés. Même chez des personnes qui ont une maladie chronique, l'activité physique systématique améliore la fonction physique. »

Études sur l'entraînement par l'exercice cardiorespiratoire chez les adultes âgés

Compte tenu de l'importance de la condition cardiorespiratoire pour la morbidité, la mortalité toutes causes confondues et le maintien de la fonction et de l'autonomie, qu'est-

ce que l'on connaît de l'entraînement cardiorespiratoire chez les adultes âgés? Des données probantes claires démontrent que l'entraînement physique peut compenser le déclin de la condition cardiorespiratoire relié à l'âge. La dose efficace est celle qui accroîtra la condition et améliorera la capacité fonctionnelle. Beaucoup des premières études portant sur les adultes âgés comportaient un épuisement léger et montraient peu de changement de la condition physique (Adams et DeVries 1973). « On craignait vaguement qu'un excès d'exercice ne cause une blessure, un épuisement catastrophique... ce qui favorisait la désapprobation de toutes les formes d'épuisement sauf le plus léger » (Bassey 1978). On a signalé par la suite que l'entraînement par l'exercice des adultes âgés était « fructueux ». Seals et al. (1984), par exemple, ont signalé qu'un programme « prudent » d'intensité relativement faible augmentait de 12 % le $VO_2 \text{ max}$ dans un échantillon restreint de sujets qui avaient en moyenne 63 ans. Lorsqu'on a accru l'intensité au cours des six mois qui ont suivi, le $VO_2 \text{ max}$ a augmenté de 18 % encore. Cunningham et al. (1987) ont réalisé une étude clinique contrôlée portant sur 224 hommes (âgés en moyenne de 62 ans) qui en étaient à leur première année de retraite. On leur a prescrit trois séances supervisées par semaine de 30 min de marche-course à 70 % de la fréquence cardiaque maximale et leur assiduité s'est établie à 2,5/semaine. Le $VO_2 \text{ max}$ a augmenté de 11 % et 90 % des participants ont terminé le programme d'une durée d'un an. Blumenthal et al. (1989) ont inclus des femmes dans une étude d'une durée d'un an portant sur 101 sujets qui avaient en moyenne 67 ans. Les sujets qui ont fait des exercices cardiorespiratoires ont suivi un entraînement sur bicyclette ergométrique et fait de la marche rapide et de la course à une intensité de 70 % de la fréquence cardiaque de réserve (~ 70 % du $VO_2 \text{ max}$). Leur $VO_2 \text{ max}$ s'est amélioré de 12 %, tandis que celui des sujets qui ont fait du yoga et des exercices d'assouplissement n'a pas changé. Posner et al. (1992) ont réalisé un programme d'une durée de 16 semaines portant sur 247 hommes et 69 femmes et ils ont signalé une augmentation moyenne de 11 % du $VO_2 \text{ max}$. Dans l'ensemble, des

études indiquent que les hommes et les femmes âgés peuvent réagir à l'entraînement de la même façon que de jeunes sujets (qui réalisent un gain de l'ordre de 10–30 %).

L'Annexe A résume les programmes d'entraînement, les résultats pour la condition cardiorespiratoire et d'autres mesures établies dans des études portant sur des adultes âgés (âge moyen >65 ans) réalisées depuis 1990. Les modèles documentés se sont révélés efficaces pour améliorer la condition cardiorespiratoire et contribuent ainsi à la conception de recommandations sur l'exercice à l'intention de l'adulte âgé. Dans le cas de certaines études, les chercheurs ont manipulé l'entraînement. L'intensité est critique. Foster et al. (1989) ont étudié des femmes qui avaient en moyenne 78 ans et qui, au début, étaient en très mauvaise condition ($VO_{2\max} = 13 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). On a jumelé des programmes de faible intensité ($\sim 40\% \text{ } VO_{2\max}$) et d'intensité modérée ($\sim 60\% \text{ } VO_{2\max}$) en fonction de la dépense d'énergie totale. En 10 semaines, les sujets qui faisaient de l'exercice de faible intensité et d'intensité modérée ont vu leur condition s'améliorer de 13 % et 15 % respectivement. Au cours d'autres études (Belman et Gaesser 1991; De Vito et al. 1997; Gass et al. 2004) portant sur l'entraînement de faible intensité, les chercheurs ont constaté des changements du $VO_{2\max}$ qui ont varié de 0 à $\sim 7\%$. Dans l'ensemble, les documents laissent entendre qu'un entraînement d'intensité relativement légère produit de modestes améliorations (habituellement de $<10\%$) de la condition cardiorespiratoire chez les sujets en mauvaise condition initiale pendant une période initiale de courte durée. Ces programmes de « faible intensité » sont toutefois « d'intensité modérée » ($40\text{--}60\%$ du $VO_{2\max}$) par rapport aux descripteurs épidémiologiques habituels. Thomas et al. (1985) ont utilisé des régressions multiples pour analyser le lien entre l'intensité de l'entraînement et la réponse des adultes âgés. On a établi un lien important entre la vitesse de leur marche-course et l'ordre de grandeur de la réponse à l'entraînement. Ainsi, une intensité minimale d'un peu moins de 50 % du $VO_{2\max}$ peut suffire pour améliorer la condition cardiorespiratoire chez des adultes âgés en mauvaise condition physique. L'intensité croissante de l'exercice produit des améliorations continues (Ehsani et al. 1991; Seals et al. 1984). La manipulation d'autres variables de l'entraînement (fréquence, durée) a été minime, même si certaines études ont inclus de l'entraînement par intervalle pour produire un exercice de plus grande intensité (Charifi et al. 2003; Perini et al. 2002) et au cours d'une étude récente, les chercheurs ont comparé des formats d'entraînement par intervalle par rapport à l'entraînement continu dont les autres facteurs sont égaux (Morris et al. 2002).

De nombreuses études ont cherché à déterminer si l'ordre de grandeur de l'adaptation est semblable chez les sujets jeunes et les sujets âgés. Makrides et al. (1990) ont comparé les réponses d'hommes âgés de 60–70 ans à un groupe de jeunes sujets au cours d'une étude d'une durée de 12 semaines portant sur des exercices d'une vigueur modérée progressive effectués sur bicyclette ergométrique. Les gains de $VO_{2\max}$ se sont ressemblés et l'on a constaté une amélioration impressionnante de 38 % chez les sujets âgés. D'autres comparaisons entre des sujets âgés ($\sim 65\text{--}70$ ans) et des sujets jeunes ou d'âge mûr ont confirmé la similitude des gains au niveau du $VO_{2\max}$ (Beere et al. 1999; Levy et al. 1993; Sheldahl et al. 1993; Stratton et al. 1994). En outre,

8 semaines d'entraînement par extension des genoux ont produit des augmentations de 50 % du $VO_{2\max}$ chez un groupe de sujets âgés (âge moyen de 67 ans) comparative-ment à 36 % chez un groupe de sujets plus jeunes (âge moyen de 20 ans) (Lawrenson et al. 2004).

On a aussi démontré des adaptations à la suite de l'entraînement chez les groupes de sujets « âgés plus âgés ». Des études portant sur des hommes d'âge moyen de 78–83 ans ont évalué un programme d'un an de « physiothérapie » évoluant jusqu'à l'entraînement de la force et ensuite à l'entraînement d'endurance, et à l'augmentation progressive de l'intensité relative (Binder et al. 2002; Ehsani et al. 2003; Spina et al. 2004). Les augmentations du $VO_{2\max}$ de 12–14 % ont été jugées plus modestes que celles qu'on a constatées chez un groupe de sujets âgés de 60–72 ans. Evans et al. (2005) ont dirigé un programme de 10–12 mois chez un groupe de sujets qui avaient en moyenne 80 ans. On a utilisé divers modes d'activité aérobie à 60–75 % du $VO_{2\max}$ tout en augmentant progressivement l'intensité et le gain de 15 % du $VO_{2\max}$ semblait un peu atténué par rapport au groupe des sujets dans leur septième décennie.

Malbut et al. (2002) ont comparé les réponses à six mois d'entraînement entre hommes (âge moyen de 87 ans) et femmes (âge moyen de 83 ans) et les résultats semblent indiquer une meilleure réponse chez les femmes que chez les hommes octogénaires. La plupart des études qui ont porté sur des hommes et des femmes n'ont néanmoins constaté aucune différence au niveau de la réponse même si les adaptations centrales peuvent différer entre femmes et hommes et si les femmes comptent davantage sur les adaptations périphériques (voir ci-dessous).

Les adaptations prennent-elles plus de temps chez les sujets plus âgés? Au cours d'une étude portant sur ~ 140 hommes et femmes âgés, Kohrt et al. (1991) ont appliqué un protocole d'entraînement « standard » (60–70 % de la fréquence cardiaque maximale (FC_{\max}) en tendant progressivement vers 75–85 % de la FC_{\max} , 45 min quatre fois par semaine pendant neuf à 12 mois). On a observé des changements de $\sim 25\%$ du $VO_{2\max}$, qui indiquent toutefois que la réponse peut prendre >6 mois chez les adultes âgés. En revanche, Govindasamy et al. (1992) ont appliqué un entraînement constant sur des périodes de 4 et 5 semaines subséquentes et constaté que la vitesse d'adaptation du $VO_{2\max}$ et le recul de la fréquence cardiaque à l'exercice sous-maximal se sont produits au cours du même nombre de séances d'exercice que celui qu'on avait noté auparavant chez des sujets jeunes. Blumenthal et al. (1991) ont indiqué que l'adaptation du $VO_{2\max}$ après quatre mois d'entraînement environ et Sheldahl et al. (1993) ont aussi constaté que l'amélioration se stabilisait après trois mois d'un programme de six mois, en dépit d'un entraînement progressif.

Les études portant sur l'entraînement de la force sont conçues en général pour examiner les changements de la surface et de la capillarisation de la fibre musculaire, mais des auteurs ont étudié aussi les changements de la condition cardiorespiratoire ($VO_{2\max}$). Les réponses des hommes et des femmes dans leur 6^e et leur 7^e décennie à des programmes d'une durée de 9 à 24 semaines ont été modestes et les changements du $VO_{2\max}$ ont varié en général de 0 à $<10\%$ (Cononie et al. 1991; Frontera et al. 1990; Hagerman et al. 2000; Hepple et al. 1997b), même si à la suite d'une étude

(Vincent et al. 2002), des chercheurs ont signalé qu'un entraînement contre résistance d'intensité élevée ou de faible intensité a produit des gains de 20–24 %. Au cours d'autres études, les chercheurs ont comparé la combinaison entraînement aérobique et entraînement de la force à l'entraînement aérobique seul (Carroll et al. 1995; Charles et al. 2006; Ferketich et al. 1998; Haykowsky et al. 2005; Hepple et al. 1997a; Takeshima et al. 2004; Verney et al. 2006). Les deux programmes ont en général produit des gains semblables au niveau du VO_2 max et certaines différences à celui d'autres adaptations physiologiques. On n'a en général pas étudié la préoccupation selon laquelle l'entraînement simultané de la force peut nuire à la réponse aérobique, même si un excès d'entraînement aérobique compromet les adaptations découlant de l'entraînement de la force (voir plus loin).

Dans le cadre d'études classiques portant sur les mécanismes physiologiques de l'adaptation, les chercheurs ont noté des augmentations, dans les muscles périphériques, de l'activité des enzymes aérobiques (Meredith et al. 1989; Suominen et al. 1977) et des changements de la fonction cardiaque centrale (Ehsani et al. 1991). Makrides et al. (1990) ont attribué une grande partie de l'augmentation du VO_2 max chez les hommes à une augmentation du débit cardiaque et du volume d'éjection systolique et peu de changement au niveau de la différence d'oxygène artérioveineux au cours d'un programme d'entraînement de 12 semaines. Ehsani et ses collaborateurs (1991) ont signalé une hypertrophie du ventricule gauche et des augmentations du volume d'éjection systolique et de la fraction d'éjection cardiaque lorsque des hommes âgés ont entrepris un an d'entraînement intensif. Levy et al. (1993) ont constaté qu'une amélioration du remplissage diastolique et des gains au niveau du volume d'éjection systolique maximale et du débit cardiaque ont contribué à l'augmentation du VO_2 max chez les hommes âgés, en grande partie comme chez les sujets plus jeunes. Spina et al. (1993b) ont attribué deux tiers de l'augmentation du VO_2 max chez des hommes âgés à une augmentation du débit cardiaque, mais ils n'ont constaté aucun changement du débit cardiaque chez les femmes. Une différence plus importante au niveau de l'oxygène artérioveineux (présument conjuguée à des adaptations périphériques) a expliqué l'augmentation du VO_2 max chez les femmes. Spina et al. (1993a, 1996) et Haykowsky et al. (2005) ont confirmé par la suite le manque d'adaptation centrale chez les femmes ménopausées. Arbab-Zadeh et al. (2004) ont insisté sur l'importance des changements reliés à l'âge au niveau de la compliance du ventricule gauche, ce qui diminue la performance diastolique et peut aboutir à l'insuffisance cardiaque. Dans leur étude transversale (hommes et femmes âgés en moyenne de 69 ans), les chercheurs n'ont pas constaté chez les maîtres athlètes entraînés à l'endurance le déclin relié à l'âge de la compliance du ventricule gauche qu'ils ont constaté chez les sujets sédentaires. Ehsani et al. (2003) ont constaté que chez les adultes âgés frêles (hommes et femmes âgés en moyenne de 83 ans), l'augmentation du VO_2 max était attribuable à des augmentations du volume d'éjection systolique et du débit cardiaque sans qu'il y ait de changement au niveau de la différence d'oxygène artérioveineux pendant le programme d'une durée d'un an. Par contre, Spina et al. (2004) n'ont constaté aucun changement du remplissage diastolique ou de la fonction du ventricule

gauche relié à l'augmentation du VO_2 max chez les hommes et les femmes âgés frêles (âge moyen de 78 ans). Beere et al. (1999) ont constaté qu'une augmentation du VO_2 de pointe dans la jambe s'expliquait par une meilleure distribution du débit sanguin dans les jambes, tandis que Lawrenson et al. (2004) ont laissé entendre que la plasticité vasculaire et métabolique en réponse à des exercices d'extension des genoux était atténuée chez leurs sujets plus âgés comparativement au changement constaté chez les sujets jeunes. Bell et al. (2001) ont attribué l'amélioration du VO_2 max à la suite de l'entraînement par extension des genoux à des adaptations mitochondriales plutôt qu'à une amélioration de la distribution d'oxygène. Perini et al. (2002) ont aussi suggéré que les adaptations à l'entraînement dans le cadre d'un programme d'entraînement par intervalles sur bicyclette ergométrique étaient de nature périphérique. Au cours d'une récente étude d'entraînement à parcours réalisée au moyen d'ergomètres pour les bras et de bicyclettes ergométriques, les chercheurs ont constaté que l'augmentation de 20 % du VO_2 max spécifique au mode était attribuable aux effets de l'entraînement à parcours (que l'on suppose centraux) par rapport à ceux qui sont spécifiques à des muscles (périphériques) (Pogliaghi et al. 2006). Dans l'ensemble, il semble que les adaptations cardiaques centrales, les altérations de la distribution du débit sanguin et des changements métaboliques des muscles sont tous possibles chez les adultes âgés. Les adaptations musculaires « périphériques » semblent néanmoins dominer chez les femmes âgées et les programmes d'exercice devraient donc inclure des activités spécifiques aux groupes de muscles utilisés dans les AVQ (p. ex., mettre l'accent sur la marche). Des routines d'exercice plus généralisées (bicyclette, natation, rameuse, etc.) peuvent toutefois être bénéfiques aussi pour les hommes âgés.

Même si le VO_2 max a constitué un indice standard des améliorations de la condition cardiorespiratoire, on a aussi observé des changements attribuables à l'entraînement de la réponse à l'exercice sous-maximal (Seals et al. 1984). Il se peut que les améliorations de la réponse aux intensités de l'exercice que l'on connaît dans la vie quotidienne soient particulièrement pertinentes pour la capacité des personnes âgées. Poulin et al. (1992) ont évalué un programme intensif d'une durée de 9 semaines chez des hommes âgés en moyenne de 67 ans. Le VO_2 max s'est amélioré de 11 %, mais la capacité de tolérer une vitesse – pente sur tapis roulant qui était auparavant fatigante en 7 min a triplé pour passer à 21 min. Le rapport entre la durée de l'exercice et la fatigue et l'intensité relative d'une tâche (% du VO_2 max) a suivi la même relation hyperbolique inverse qu'on a déjà décrite chez les jeunes sujets. Ferketich et al. (1998) ont aussi noté des améliorations exceptionnelles du temps passé à bicyclette pour atteindre le niveau de fatigue lorsque les femmes âgées ont terminé 12 semaines d'entraînement à l'endurance, augmentant de 25 % leur VO_2 max, mais de 165 % le temps écoulé avant d'atteindre le niveau de la fatigue. De même, l'entraînement de la force conjugué à l'entraînement de l'endurance a augmenté de 30 % le VO_2 max, mais de 400 % le temps écoulé avant l'apparition de la fatigue. Les gains très importants au niveau de la capacité « d'endurance » constituent donc un bienfait important de l'entraînement cardiorespiratoire chez les adultes âgés. L'exercice sous-maximal est caractérisé par une baisse du

stress physiologique dans le cas d'une tâche donnée, ce qui fait que des tâches qui semblaient auparavant difficiles et fatigantes deviennent plus faciles et que les intéressés peuvent poursuivre plus longtemps leurs activités quotidiennes agréables. De telles adaptations peuvent retarder ou surmonter les limites fonctionnelles que pourraient autrement imposer les changements physiologiques attribuables au vieillissement et à la maladie (Singh 2002).

On a aussi réalisé des études sur l'activité physique afin de déterminer les bienfaits pour la santé qui sont attribuables à une réduction du risque de diverses maladies chroniques. De telles études ont été revues attentivement dans le document *Dose-response issues concerning physical activity and health : an evidence-based symposium*, résumé dans le *Consensus Statement* (Kesaniemi et al. 2001). On a signalé dans le document qu'il y avait un lien entre l'activité physique régulière et une diminution de l'indice d'obésité, de diabète type 2, de cancer du côlon et d'ostéoporose. D'autres études ont porté avant tout sur des facteurs de risque précis et peuvent fournir davantage d'information au sujet de l'exercice qu'il faut faire afin d'en tirer des bienfaits pour la santé. Kesaniemi et al. (2001) ont résumé ainsi l'information qu'elles contiennent : des données tirées de 44 essais contrôlés randomisés portant sur des hommes et des femmes de divers groupes d'âge ont révélé des réductions de la tension artérielle systolique/diastolique de $\sim 3/2$ mmHg chez des sujets normotensifs et de $\sim 8/6$ mmHg chez des sujets hypertendus à la suite d'un entraînement aérobique à une intensité de $\sim 50\%$ du $VO_{2\max}$ (plage de 30–80 %) et aucun autre bienfait à des intensités plus élevées. Dans le cas de la glycémie, 51 études (28 essais contrôlés randomisés) ont révélé qu'un entraînement aérobique à une intensité de 50–80 % du $VO_{2\max}$ (qualifiée de modérée à intense) a fait grimper le cholestérol à lipoprotéines de haute densité de $\sim 5\%$ autant chez les hommes que chez les femmes à tous les âges. Dans le cas du diabète sucré type 2, l'exercice avait en général un effet modeste mais cliniquement important sur l'homéostasie du glucose, retardant l'évolution de la diminution de tolérance au glucose en diabète type 2, mais il n'y avait pas de détails sur la réponse à la dose. En ce qui concerne le traitement de l'embonpoint et de l'obésité, on a établi un lien entre la perte de poids et de tissus adipeux et la dépense d'énergie au cours d'études d'une durée de ~ 16 semaines, mais des études de plus longue durée n'ont pas reproduit ce rapport. Dans le cas de l'ostéoporose, l'activité physique a augmenté la masse osseuse chez les jeunes adultes, a contribué à la maintenir chez les femmes ménopausées et a atténué la fonte osseuse après la ménopause. Il n'y avait aucune conclusion solide sur le rapport dose-réponse, même si l'effet était probablement relié à des activités de haute intensité ou à impact. En général, il n'y a pas de gradation dose-réponse bien établie dans le cas de l'amélioration des facteurs de risque reliés à la santé, et on recommande couramment une intensité de $\sim 50\%$ du $VO_{2\max}$ ou plus et l'exercice suit souvent un format normalisé de séances de 30–60 min, 3 ou 4 fois par semaine.

Résumé des données probantes reliées aux lignes directrices relatives aux activités cardiorespiratoires des adultes âgés

L'activité physique et la condition cardiorespiratoire montrent un solide lien graduel avec la morbidité et la mortalité

toutes causes confondues. On associe une réduction du risque à la participation à une activité dont l'intensité varie de modérée à modérément vigoureuse. Chez les adultes âgés (65 ans et plus), cela se traduit en ~ 4 MET ou 60 % du $VO_{2\max}$ (ou de l'équivalence FC) et il est possible d'y parvenir en marchant d'un bon pas ou rapidement. Un volume de 4200 kJ/semaine (1000 kcal/semaine) semble efficace, ce qui se traduit en >3 h/semaine d'activité d'intensité modérée. Des activités physiques conformes à ces lignes directrices amélioreraient la condition cardiorespiratoire et l'on associe les gains qui en découlent au niveau de l'activité et de la condition à une réduction de 20–30 % du risque relatif. Une personne qui augmente l'intensité et le volume de l'exercice et améliore encore davantage sa condition cardiorespiratoire devrait réduire de 60 % ses risques de morbidité et de mortalité. Chez les personnes âgées, le déclin de la condition cardiorespiratoire menace la mobilité, les AVQ et l'autonomie, même si le niveau général d'activité n'est pas un prédicteur de l'incapacité ou de la dépendance. Ainsi, même si les données épidémiologiques peuvent sembler indiquer qu'un certain volume d'activité physique peut être bénéfique sans égard aux améliorations de la condition physique, ce n'est pas le cas lorsqu'on vise à maintenir une fonction. L'exercice réduit le risque de déficit majeur de la mobilité et « compresse la morbidité », ce qui raccourcit la période d'incapacité terminale et permet à une personne d'être active et de demeurer autonome plus longtemps. Ainsi, pour protéger une fonction et maintenir l'autonomie, les lignes directrices sur l'activité physique imposeraient des changements qui auraient une incidence sur la condition cardiorespiratoire, c.-à-d. des programmes d'entraînement par l'exercice. De trois à quatre séances par semaine d'activité physique dont l'intensité varie de modérée à modérément vigoureuse et qui produit une dépense totale de 4200 kJ permettrait d'y parvenir, même s'il semble peu probable que la simple accumulation d'un volume donné d'activité sans égard aux bienfaits cardiorespiratoires ait un effet sur les résultats fonctionnels. Les études sur l'entraînement par l'exercice confirment que les adultes âgés et âgés frères des deux sexes peuvent améliorer leur condition cardiorespiratoire comme les jeunes adultes. Des programmes d'intensité modérée ($\sim 50\%$ du $VO_{2\max}$) produisent des améliorations initiales, mais les adultes âgés tolèrent aussi un régime d'entraînement modérément vigoureux ou même fatigant et peuvent s'y adapter. Des programmes d'à peine deux ou trois mois produisent des bienfaits cardiorespiratoires. Au moins une partie de ces bienfaits réside dans les muscles et c'est pourquoi il semble raisonnable de recommander un entraînement spécifique aux tâches de la vie quotidienne (p. ex., marcher, monter des escaliers). De modestes changements de la capacité cardiorespiratoire maximale améliorent l'endurance et réduisent considérablement la fatigue, ce qui est important.

Facteurs musculaires et autres

Fonction neuromusculaire et âge : introduction

La faiblesse musculaire de la vieillesse est déterminée en grande partie par la perte de masse musculaire. On utilise souvent le terme sarcopénie pour décrire ce phénomène naturel. Des études réalisées sur des sujets humains et animaux

démontrent des similitudes remarquables au niveau des taux relatifs de perte de masse musculaire et de force en fonction de l'âge (Baker et Hepple 2006; Evans 1995; Hepple et al. 2004). À compter de 30 ans environ, la force humaine diminue de 10–15 % par décennie (Lindle et al. 1997), même s'il ne s'agit pas d'une relation linéaire simple. La diminution est graduelle jusqu'à l'âge de 50–60 ans et accélère avec l'âge (Rice et Cunningham 2001). Des études représentatives portant sur des survivants qui connaissent le succès indiquent que le taux de perte chez les êtres humains très âgés peut devenir modéré à mesure que l'on approche d'un niveau minimal critique relié aux fonctions vitales de base (Amara et al. 2003). Les personnes en santé qui sont dans leur 8^e décennie peuvent donc avoir <40 % de la force des jeunes adultes, mais les pertes continues chez ceux qui survivent 10 ou 20 ans de plus peuvent représenter ~10 % de plus seulement. On a résumé ces tendances de la perte de force à partir de nombreuses études comportant des contractions concentriques isométriques et dynamiques. Les études de la force excentrique, relativement peu nombreuses, indiquent que la perte était beaucoup moindre (>50 %) (Doherty 2003; Rice et Cunningham 2001). La préservation relative de la force excentrique n'est pas bien comprise, mais elle peut être reliée à une diminution combinée des fonctions contractiles et à des changements des caractéristiques élastiques passives du muscle et du tendon (voir plus loin dans le texte). Le maintien d'un minimum de force musculaire peut être relié aux exigences des tâches de base de la vie quotidienne (Warburton et al. 2001). Le muscle squelettique a une importante capacité de réserve et les changements sarcopéniques qui commencent au cours de la quatrième décennie deviennent significatifs sur le plan fonctionnel après ~60 ans seulement chez la plupart des sujets en bonne santé.

Un ralentissement de la vitesse de contraction a constitué un deuxième changement important relié à l'âge qui se manifeste dans le muscle squelettique. La réduction à la fois de la force et de la vitesse a un effet plus qu'additif sur la fonction. Ainsi, après 65 ans, la réduction de la puissance (force × vitesse du mouvement) peut être deux fois plus importante que la perte de force seulement (Faulkner et Brooks 1995; Macaluso et De Vito 2004; Rice et Cunningham 2001). Les changements de la puissance musculaire peuvent de plus être plus pertinents sur le plan fonctionnel que les diminutions de la force et sont donc reliés de plus près aux AVQ et à la perte d'autonomie (Andersen-Ranberg et al. 1999; Basse et al. 1992; Ferri et al. 2003; Miszko et al. 2003; Porter 2006). L'atrophie musculaire attribuable à l'inutilisation constitue une variable confusionnelle dans les études sur le vieillissement parce que beaucoup des changements attribués à la sarcopénie ressemblent à ceux qui découlent de l'inutilisation. Un défi constant consiste à distinguer les changements de l'appareil neuromusculaire qui sont inhérents et reliés à l'âge de ceux qui sont attribuables à la réduction de l'activité physique qui accompagne souvent le vieillissement. Le muscle squelettique âgé ne perd pas sa capacité d'adaptation, ce qui est remarquable. La réponse à l'exercice contre résistance atteint ou peut même dépasser celle du muscle de jeunes adultes (Hunter et al. 2004; Macaluso et De Vito 2004). Des études sur l'entraînement par l'exercice (résumées plus loin dans le texte)

ont démontré qu'un stress neuromusculaire suffisant peut contrer la sarcopénie même chez des personnes en bonne santé de plus de 90 ans et produire des gains de force et de puissance qui améliorent la qualité de vie et maintiennent l'autonomie.

Facteurs qui contribuent au déclin de la fonction musculaire relié à l'âge

Beaucoup d'études détaillées publiées depuis 2001 décrivent des facteurs qui ont une incidence sur les diminutions du volume et de la fonction musculaire reliées à l'âge (Deschenes 2004; Doherty 2003; Fulle et al. 2005; Goldspink et Harridge 2004; Hepple 2003; Hunter et al. 2004; Janssen et Ross 2005; Macaluso et De Vito 2004; Mishra et Misra 2003; Morley 2003; Muhlberg et Sieber 2004; Nikolic et al. 2005; Rice et Cunningham 2001; Volpi et al. 2004). Il y a d'autres critiques, mais la liste des études mentionnées fait plus que témoigner de l'importance de comprendre la sarcopénie : elle illustre le grand intérêt de nombreuses disciplines reliées à la biologie et à la santé et met en évidence l'opinion courante, soit qu'il n'y a pas un seul facteur majeur qui est responsable. La sarcopénie est un phénomène complexe qui a de nombreuses causes interdépendantes possibles dans de nombreux organes et systèmes du corps. Les données indiquent qu'il est possible de la retarder, mais il n'y a toujours pas moyen de l'éviter (Cutler et Mattson 2006; Dirks et Leuwenburgh 2006; Marcell 2003). Nous résumons et actualisons ici les principaux facteurs abordés dans les revues mentionnées, en concentrant notre intervention sur des expériences pratiquées sur des êtres humains essentiellement en bonne santé pour explorer des facteurs que l'activité physique et l'exercice pourraient modifier.

Des changements reliés à l'âge peuvent avoir un effet sur le contrôle nerveux central du muscle, mais on n'est pas certain de leur importance fonctionnelle comparativement aux changements importants que subit le muscle squelettique en soi (Doherty et al. 1993; Smith et Rosenheimer 1984). La technique de la fibrillation interpolée a permis d'étudier l'activation au niveau de l'unité motrice (le motoneurone spinal et ses fibres musculaires innervées) des groupes musculaires de nombreux membres. En dépit de petites différences reliées à l'âge au niveau de la capacité d'activation volontaire de certains groupes musculaires (Dowling et al. 1994; Herbert et Gandevia 1999; Strojnik 1995) ou durant certaines tâches (White et Harridge 1990), il semble que les adultes âgés puissent activer la masse musculaire disponible aussi efficacement que les jeunes adultes (Jakobi et Rice 2002; Yue et al. 1999). On ne sait pas si, à la suite d'améliorations de cette technique ou d'études de plus longue durée, des tâches dynamiques plus nombreuses montreront que l'activation centrale peut limiter la production de la force volontaire chez les personnes âgées. L'importante perte de fibres musculaires chez les adultes âgés peut être secondaire à la perte de motoneurones spinaux, intrinsèque au tissu musculaire même, ou attribuable à une combinaison de ces facteurs (Baker et Hepple 2006; Snow et al. 2005). On parle souvent de remodelage lié à l'âge au sujet de la perte d'unités motrices conjuguée au grossissement des unités motrices survivantes (Brooks et Faulkner 1994). Des mesures humaines transversales indirectes permettent d'estimer la

perte d'unités motrices à 1 % par année à compter de la troisième décennie de la vie, vitesse qui augmente après 60 ans (Tomlinson et Irving 1977). Une comparaison transversale de jeunes adultes et de deux groupes plus âgés a montré qu'une perte d'unités motrices estimée à 40 % chez les hommes âgés d'environ 65 ans n'a pas eu d'effet évident sur la force (McNeil et al. 2005). Chez les hommes âgés de >80 ans, on a toutefois constaté une perte d'unités motrices fonctionnelles de 60 % et la fonction était aussi compromise à cet âge. Il semble donc qu'il y a une importante réserve d'unités motrices et qu'il est possible d'en perdre un grand nombre avant que la fonction soit touchée.

Des études réalisées par biopsie et imagerie ont montré que des adultes de >80 ans ont perdu jusqu'à 50 % de leur masse musculaire globale et que l'hétérogénéité habituelle des types de fibres disparaît. Conjugés à ceux d'études sur les unités motrices, ces résultats indiquent une importante réduction du nombre de fibres et une certaine perte de grosneur (Doherty 2003). Des études ont indiqué une perte préférentielle de fibres de contraction rapide de type II et un remodelage relié à l'âge, mais on ne constate pas toujours ce phénomène chez les êtres humains (Hepple 2003). De plus, le remodelage et la perte de masse musculaire ne semblent pas atteindre tous les muscles de la même façon (Jakobi et al. 1999; Kadhiresan et al. 1996; Klein et al. 2003). Il s'agit d'un point important lorsque l'on conçoit des recommandations sur l'activité physique et des programmes d'entraînement par l'exercice. D'autres facteurs contribuent à la perte de tissu musculaire, comme une diminution de la fonction anabolique et, peut-être, une augmentation concomitante du catabolisme. Des facteurs hormonaux, métaboliques, immunologiques, génétiques et nutritionnels ont tous des effets importants sur les altérations inhérentes des facteurs moléculaires qui régissent l'équilibre des protéines musculaires. La description détaillée de ces interactions dépasse toutefois la portée du présent résumé. D'excellentes critiques de Doherty (2003), Janssen et Ross (2005), Nikolic et al. (2005), Fulle et al. (2005), et Goldspink et Harridge (2004) présentent des détails complets au sujet de ces facteurs et de leur influence sur la sarcopénie.

Outre la perte importante de tissus et la faiblesse musculaire connexe, une des caractéristiques des êtres humains plus âgés réside dans le changement des caractéristiques cinétiques de la contraction, que l'on constate habituellement sous forme d'un ralentissement de la contractilité à la suite d'une stimulation électrique (Davies et White 1983; Doherty et Brown 1997; Narici et al. 1991; Polkey et al. 1997; Rice 2000; Roos et al. 1999) et au cours de la contraction volontaire (Galganski et al. 1993; Stanley et Taylor 1993; Suetta et al. 2006, 2004). Il est possible de débattre de la mesure dans laquelle des caractéristiques d'affaiblissement et de ralentissement musculaires sont le reflet direct des changements de la composition des muscles (Rice et al. 1988), mais il est raisonnable de conclure qu'à partir à la fois de données morphologiques et de caractéristiques liées à la contractilité lente, les fibres de type I contribuent davantage, toutes proportions gardées, à la production de la force dans les muscles de sujets humains et animaux âgés (Macaluso et De Vito 2004; Roos et al. 1997). Outre des changements inhérents de facteurs qui ont un effet direct sur la vitesse de contraction, comme les processus de couplage excitation-

contraction et la vitesse des pontages croisés cycliques, des caractéristiques non contractiles reliées à la compliance musculaire et tendineuse peuvent contribuer considérablement à l'altération de la vitesse de contraction et, finalement, de la force produite (Morse et al. 2005; Narici et al. 2003). Conjugée au ralentissement de la vitesse de contraction, la raideur musculaire accrue liée à l'âge peut en fait jouer un rôle important lorsqu'il s'agit d'expliquer la préservation de la force excentrique par rapport aux actions isométriques et concentriques. La force excentrique exige en outre moins d'impulsion nerveuse pour une force donnée que les contractions concentriques ou isométriques (Enoka et Fuglevand 2001; Vandervoot et Symons 2001). C'est pourquoi il se peut que ce type de tâche soit moins sensible aux changements reliés à l'âge des divers paramètres neuromusculaires décrits ci-dessus. On souhaite comprendre les contractions excentriques parce que les adultes âgés peuvent tirer de ce type d'entraînement des bienfaits accrues en contrepartie d'un coût moindre en énergie (Vandervoot et Symons 2001). La méthode de test constitue une variable importante à la fois lorsque l'on étudie la perte de force reliée à l'âge et son effet sur les AVQ, et lorsque l'on conçoit et évalue des interventions basées sur l'exercice.

Comme la masse musculaire est le principal déterminant de la force produite, il est possible de normaliser la force en fonction du volume de la masse musculaire pour produire une estimation de la capacité intrinsèque du tissu musculaire à générer de la force. Pour décrire le ratio de la force par unité de tissu musculaire, on a utilisé des expressions comme tension ou force spécifique, force normalisée ou qualité musculaire, et l'on considère souvent ce ratio comme une évaluation plus réelle de la fonction musculaire, particulièrement lorsque l'on compare des groupes disparates de sujets (Roubenoff 2000). Ainsi, outre la perte de masse, la faiblesse musculaire reliée à l'âge pourrait aussi découler d'un déclin de la qualité musculaire et des études variant de systèmes complets jusqu'à des préparations réduites indiquent que le muscle perd de sa qualité avec l'âge (Hunter et al. 2004; Macaluso et De Vito 2004). On ne comprend pas à fond les mécanismes sous-jacents, mais ils seraient reliés aux divers facteurs qui ont un effet sur la sarcopénie, comme on l'a indiqué ci-dessus. Des données récentes indiquent que l'entraînement de la force par l'exercice peut modifier la perte de qualité du muscle chez l'être humain (Morse et al. 2007).

Fonction musculaire : fonctions dérivées et liens avec la perte de capacités fonctionnelles

La puissance est fonction à la fois de la force et de la vitesse du mouvement. Elle représente une mesure de la capacité fonctionnelle du muscle qui est reliée de plus près aux AVQ que la force en soi (de Vos et al. 2005). Comme la force et la vitesse de contraction diminuent chez les êtres humains plus âgés, leur puissance est beaucoup moindre que celle des jeunes adultes (Faulkner et Brooks 1995). En général, la perte de puissance dépasse de 25 % la perte de force concentrique isométrique ou isocinétique et elle est particulièrement prononcée à des vitesses élevées de contraction (Macaluso et De Vito 2004; Rice et Cunningham 2001). La grosseur du muscle et le type de fibre sont les principaux déterminants de la puissance maximale. D'autres

facteurs peuvent être reliés au volume musculaire et les caractéristiques du type de fibre comprennent notamment les réductions de la tension spécifique, la capacité d'oxydation, la vélocité optimale du mouvement (Conley et al. 2000; Faulkner et Brooks 1995), la compliance musculaire (Brown et al. 1999b) et l'augmentation de l'adiposité du corps (Evans 2000). Comme on l'a signalé dans le cas de la force, il faut évaluer la méthode de test et les profils d'activité des sujets avant de pouvoir établir des comparaisons significatives entre des groupes de muscles et des groupes de sujets. Comme l'âge a un effet plus marqué sur la puissance que sur la force et comme la plupart des AVQ exigent une combinaison adéquate de force et de rapidité de mouvement, ou la capacité de produire une puissance minimale, il importe de préserver la puissance musculaire en vieillissant pour réduire les risques d'incapacité et de dépendance. On a évalué cette relation principalement en enregistrant la puissance du quadriceps nécessaire pour sortir d'un fauteuil sans bras, marcher ou monter un escalier (Bassey et al. 1992). On établit en particulier un lien solide entre la capacité de monter ou de descendre un escalier et d'autres mesures de l'incapacité fonctionnelle chez les adultes âgés (Guralnik et al. 1994). La puissance des membres inférieurs constitue le plus solide prédicteur de l'état fonctionnel chez les femmes âgées (Foldvari et al. 2000). La puissance minimale nécessaire pour se livrer à ces activités disparaît à un âge relativement plus jeune chez les femmes. Il se peut, par exemple, que la femme moyenne de 60 ans ait perdu la puissance du quadriceps nécessaire pour grimper une marche de 0,5 m, tandis que l'homme moyen peut avoir suffisamment de puissance pour exécuter cette tâche jusqu'à presque 75 ans (Malbut-Shennan et Young 1999). Cette différence selon le sexe au niveau de la perte de puissance peut expliquer pourquoi les femmes de >80 ans sont moins capables de vaquer aux AVQ que les hommes du même âge (Andersen-Ranberg et al. 1999). Dans l'ensemble, la perte de puissance peut réduire l'efficacité du mouvement, ce qui entraîne une fatigue musculaire excessive, fait travailler des muscles accessoires et peut très bien entraîner des lésions et des chutes attribuables à l'utilisation excessive.

En recherche sur l'appareil neuromusculaire humain, on définit souvent la fatigue comme toute réduction de la force ou de la puissance pendant un effort volontaire, que la tâche puisse ou non être toujours exécutée avec succès (Bigland-Ritchie et al. 1995). Au cours d'études sur le vieillissement, on décrit habituellement la fatigue comme la fatigabilité ou sa réciproque (capacité d'endurance). Comme on associe le vieillissement à d'importantes altérations neuromusculaires fonctionnelles et structurelles qui sont reliées à la génération de force et de puissance, il est raisonnable de s'attendre à ce que la capacité d'endurance et la fatigue musculaire soient touchées. Les données quantitatives sont limitées, mais une capacité réduite d'effectuer des séances d'exercices et de s'en remettre sont des caractéristiques communes de l'âge avancé (Faulkner et Brooks 1995). C'est pourquoi la capacité d'effectuer n'importe quelle tâche qui impose une charge de travail absolue est problématique et la sensibilité à la fatigue augmente parce que toute tâche donnée représente un pourcentage plus important de la force ou de la puissance maximales des muscles (Faulkner et Brooks 1995). Les sites possibles de défaillance ou de compensation

dans l'appareil neuromusculaire en période de fatigue réagiront différemment selon que la tâche est soutenue ou intermittente, d'intensité élevée ou faible, brève ou de longue durée. Compte tenu des altérations de l'appareil neuromusculaire qui sont reliées à l'âge, la nature de la tâche peut constituer un facteur important qui joue sur la fatigue chez les sujets âgés.

Le vieillissement entraîne un ralentissement généralisé des capacités de contrôle de la motricité. Même si l'on maintient une capacité de génération de force et de puissance, ainsi que d'endurance, adéquates, le contrôle d'une force réduite peut avoir un effet important sur la mesure dans laquelle une personne réussit à vaquer à de nombreuses AVQ. Un déficit du contrôle de la motricité peut avoir un effet sur les muscles du bras et de la main servant à la préhension et sur ceux des membres inférieurs, ce qui a des répercussions sur l'équilibre et la démarche et prédispose aux chutes. La lenteur des mouvements, les réductions de l'habileté motrice, l'incoordination et un mauvais équilibre combinés à une perte de force et de puissance peuvent causer des difficultés importantes aux adultes âgés au cours de leurs activités de tous les jours. Des programmes d'activité physique et d'exercice accrus peuvent toutefois améliorer considérablement la mobilité et réduire l'incidence des chutes (Butler et al. 1998; Kasprisin et Grabiner 2000; Wolfson et al. 1996).

Bienfaits de l'entraînement de la force

On a résumé dans plusieurs revues des publications appuyant les bienfaits et les limites de l'entraînement de la force ou contre résistance chez des sujets humains de jusqu'à 100 ans (Connelly 2000; Daley et Spinks 2000; Hunter et al. 2004; Hurley et Hagberg 1998; Hurley et Roth 2000; Latham et al. 2004; Macaluso et De Vito 2004; Mazzeo et al. 1998; Seguin et Nelson 2003; Taylor et al. 2004; Tseng et al. 1995). De nombreuses études sont détaillées et contiennent beaucoup de comparaisons détaillées et de tableaux de données. Le message global est le suivant : même si les tâches, les régimes d'entraînement et les techniques d'évaluation varient beaucoup, des améliorations remarquables de la force sont incontestables. Toutes proportions gardées, les adultes âgés réagissent à l'entraînement de la force aussi bien ou même mieux que des jeunes adultes et présentent des gains importants du contrôle de la force, de la puissance et de la force isométrique et dynamique. Ces améliorations ne peuvent pas toutes s'expliquer par des changements du volume musculaire, particulièrement au cours des premières semaines (<10) d'entraînement (Porter 2001), ce qui indique que des changements d'autres facteurs comme la qualité du muscle, la neuromodulation et le tissu conjonctif contribuent tous à divers degrés aux améliorations de la force. Des sujets plus âgés peuvent compter beaucoup plus que leurs pairs plus jeunes sur des changements nerveux pour améliorer la force et l'on a observé des changements importants de facteurs nerveux (Grabiner et Enoka 1995), même si les mécanismes restent à préciser (Rice 2000). Ainsi, quelques semaines d'entraînement seulement peuvent améliorer de façon remarquable la force (>100 %) et la puissance (>20 %). Comme chez les jeunes adultes, ces taux d'amélioration s'atténuent après les 12 premières semaines d'entraînement.

Les populations de cellules satellites ne diminuent pas par rapport aux jeunes adultes, ce qui indique que l'âge ne nuit pas au rétablissement à la suite de tout dommage musculaire (Hunter et al. 2004; Roth et al. 2000). Le vieillissement ne semble pas non plus avoir d'effet sur les marqueurs biochimiques et histochimiques de la croissance des fibres musculaires en réponse à l'entraînement contre résistance (Porter 2001; Trappe et al. 2000). Le muscle des êtres humains plus âgés a une expression génétique modifiée, ce qui peut nuire à la réponse à l'entraînement contre résistance comparativement à ce qui se passe chez les jeunes (Hunter et al. 2004; Jozsi et al. 2000). Même si le tissu musculaire garde la capacité de réagir à l'entraînement contre résistance, les résultats obtenus à partir de muscles de rats très vieux indiquent que la réponse myogénique à l'exercice contre résistance pourrait diminuer (Blough et Linderman 2000; Tamaki et al. 2000). Des études plus poussées s'imposent pour clarifier dans quelle mesure la réponse à l'entraînement des adultes âgés plus jeunes diffère de celle des sujets beaucoup plus âgés.

Il est difficile d'extraire de ces nombreuses études et critiques un régime uniforme indiquant une dose minimale et des gains optimaux. Comme les programmes d'entraînement et les populations visées varient à l'extrême, il est presque impossible de dégager de consensus, sauf que l'entraînement contre résistance donne des résultats. Cette constatation est peut-être assez importante : tout exercice contre résistance par surcharge progressive effectué régulièrement entraînera d'importantes améliorations et la réaction la plus importante se manifesterait chez les sujets plus sédentaires. Compte tenu des nombreux facteurs possibles en cause, il y a un défi plus important à relever, soit comprendre les mécanismes à l'origine des adaptations et déterminer dans quelle mesure les améliorations de la force et de la puissance attribuables à l'entraînement contre résistance se traduisent en changements fonctionnels positifs dans la vie de tous les jours, en gains sur les plans de l'état de santé général, d'une réduction de la morbidité et d'une autonomie prolongée (Warburton et al. 2001). Dans le cadre d'une critique systématique, Latham et al. (2004) ont évalué 62 essais portant sur plus de 3600 sujets qui avaient en moyenne >60 ans et dans le cadre desquels, en dépit d'importantes améliorations de la force, on a conclu que l'effet sur l'incapacité physique n'était pas clair et que les gains sur le plan de la mobilité fonctionnelle étaient limités. Il y a relativement peu d'études qui ont porté sur les liens entre la condition de l'appareil locomoteur et une réduction de la morbidité ou une prolongation de la vie. Les constatations disponibles ont été moins impressionnantes dans le cas de la force et de la condition musculaires que dans celui de la condition cardiorespiratoire (et des activités physiques totales). Pour des raisons pratiques, la force de préhension statique constitue l'indice le plus communément utilisé de la force musculaire, mais il s'agit probablement d'une mesure trop simpliste de la force et de la puissance musculaires globales. Dans le cadre d'au moins deux ou trois études, les sujets qui avaient le moins de force de préhension ont montré une morbidité accrue et sont morts plus tôt que les sujets qui avaient une plus grande force de préhension (Brill et al. 2000; Rantanen et al. 1999). D'autres études ont porté notamment sur les redressements et les tractions sur les bras comme mesures supplémentaires de la

condition et de l'endurance musculaires (Fujita et al. 1995; Katzmarzyk et Craig 2002). Ces actions dynamiques sont plus pertinentes à la capacité et à la puissance musculaires que la force statique. Les résultats ne sont pas entièrement uniformes, mais chez les sujets qui se trouvent aux niveaux de fonctionnement les plus bas, on a établi un lien plus solide entre les redressements et les tractions sur les bras, d'une part, et un risque accru de mortalité, d'autre part, qu'avec la force de préhension. On ne sait toujours pas si l'on utilise les mesures de la condition musculaire les plus pertinentes dans le cadre de ces études et, si l'on comprenait mieux les principes physiologiques sous-jacents, on pourrait peut-être utiliser des mesures plus appropriées. Des recherches plus poussées s'imposent aussi pour déterminer si le rapport entre la force et la morbidité ou la mortalité est plausible sur le plan physiologique. Il est clair que des études longitudinales conçues plus attentivement s'imposent.

Il y a un lien important entre la masse musculaire et une amélioration de la force à la suite d'un entraînement de plus longue durée (>12 semaines). Même si la question a été moins bien étudiée, il est clair que les adultes âgés peuvent augmenter leur masse musculaire et qu'une augmentation de la masse musculaire a des effets bénéfiques autres que celui d'améliorer la force produite (Di Iorio et al. 2006; Singh 2002) : amélioration de l'endurance (Hunter et al. 2004) et de la densité et de la résistance des os (Seguin et Nelson 2003), concentrations plus élevées de testostérone et d'hormone de croissance en circulation (Deschenes 2004; Goldspink et Harridge 2004; Smilios et al. 2006), amélioration de la résistance à l'insuline (Dela et Kjaer 2006; Janssen et Ross 2005) et augmentation de la dépense d'énergie pour aider à contrôler le poids (Hunter et al. 2004). On a aussi démontré qu'il existe un lien entre les améliorations de la force et de la fonction motrice et la mortalité chez les adultes âgés (Buchman et al. 2007). On n'a pas étudié la puissance musculaire aussi minutieusement que la force, mais il se peut que la puissance soit davantage pertinente pour les activités dynamiques de la vie quotidienne (Ferri et al. 2003; Miszko et al. 2003; Porter 2006) et l'on a évalué des changements de la puissance dans le cadre de beaucoup de programmes d'entraînement contre résistance. Des études mentionnées dans les critiques au début du texte indiquent que la puissance s'améliore en fonction de la force, mais d'autres indiquent qu'il faut un entraînement spécifique en puissance pour maximiser les bienfaits et pour que l'augmentation se traduise en fonction pertinente. Les études bien conçues sont malheureusement peu nombreuses (Macaluso et De Vito 2004).

Résumé des aspects neuromusculaires et de l'entraînement contre résistance

En dépit des résultats des études sur l'entraînement contre résistance visant principalement les adultes âgés qui ont été réalisées au cours de la dernière décennie, les recommandations sur l'entraînement contre résistance ne diffèrent pas considérablement de celles que l'American College of Sports Medicine a présentées dans deux exposés de position publiés en 1998 et en 2002. Dans celui de 1998 intitulé *Exercise and physical activity for older adults* (Mazzeo et al. 1998), on conclut que les êtres humains âgés gardent leur capacité d'adaptation et que l'exercice régulier entraîne

des améliorations positives remarquables autant chez les hommes que chez les femmes. On n'y indique pas de régime d'entraînement en particulier ou optimal. Celui de 2002 intitulé *Progression models in resistance training for healthy adults*, (Kraemer et al. 2002) comprenait une sous-section sur les modèles de progression par l'exercice contre résistance pour les adultes âgés en bonne santé. On y suggère d'utiliser des mouvements d'une seule articulation et de multiples articulations, effectués à une vitesse variant de lente à modérée à raison de 1 à 3 répétitions par exercice, à une capacité de 60–80 % pendant une répétition au maximum (1 RM) et pendant de 8 à 12 répétitions. On recommandait de plus l'entraînement en puissance et en endurance et l'on a laissé entendre que tout programme d'entraînement contre résistance devrait inclure des mouvements à haute vélocité et d'intensité légère à modérée (40–60 % 1 RM) pendant 6 à 10 répétitions, ou 10 à 15 répétitions pour améliorer l'endurance. On a recommandé en général la prudence avec les sujets âgés, car on veut globalement produire une surcharge graduelle en utilisant des exercices variés et spécifiques et prévoir des périodes suffisantes de récupération pendant les séances d'exercice et entre celles-ci. Dans une critique, Hunter et al. (2004) ont recommandé essentiellement ces lignes directrices en se fondant énormément sur une méta-analyse publiée par Rhea et al. (2003). Ils ont conclu qu'il fallait exercer chaque groupe musculaire 2–3 jours/semaine et que pour favoriser les gains de force et de masse, il faudrait limiter les activités d'endurance à au plus 3 jours/semaine. En ce qui concerne l'entraînement en puissance, de Vos et al. (2005) ont constaté que contrairement au rapport dose-réponse découvert dans le cas de la force ou de l'endurance, il est possible d'améliorer la puissance maximale des adultes âgés dans des proportions semblables avec des exercices d'intensité légère, modérée, ou de grande intensité.

Ces critiques et ces études publiées au cours des dernières années semblent indiquer clairement que l'intensité de l'exercice constitue une variable clé dans la promotion des gains de force et de masse. La plupart des études indiquent en fait qu'il faut faire des exercices dont l'intensité varie de modérée à grande (>60 %, 1 RM) afin de maximiser les gains et que 2 jours/semaine produisent autant de bienfaits que 3 jours/semaine à condition que le volume soit semblable (de Vos et al. 2005; Fatouros et al. 2005; Kalapotharakos et al. 2005; Seynnes et al. 2004; Smilios et al. 2007; Wieser et Haber 2007). L'entraînement de la force contre résistance progressive et de haute intensité est bien toléré même par les adultes âgés frêles (Sullivan et al. 2007). Les adultes âgés qui commencent à s'entraîner bénéficient toutefois de presque n'importe quel programme de surcharge contre résistance progressive (Harris et al. 2004). Afin de maximiser les gains de puissance, de force et d'endurance, les programmes dont la résistance varie de modérée à élevée doivent de plus comporter des mouvements explosifs et à contraction rapide (de Vos et al. 2005; Henwood et Taaffe 2005). Lorsque le sujet a réalisé des gains suffisants, il peut maintenir ces améliorations en s'entraînant 1 jour/semaine (Trappe et al. 2002), tandis que pour progresser, il faut rajuster constamment la surcharge et manipuler les cycles d'entraînement de plus longue durée (DeBeliso et al. 2005; Signorile et al. 2005). L'entraînement de la force de

faible intensité (<50 % 1 RM) ne stimule pas suffisamment pour promouvoir l'hypertrophie ou des gains de force importants.

On a suggéré l'entraînement excentrique comme tactique utile qui permet aux adultes âgés de réaliser des gains de force importants moyennant un coût en énergie et un stress cardiovasculaire relativement plus faibles (Hortobagyi et DeVita 2000; LaStayo et al. 2003; Rice et Cunningham 2001). Nous avons montré que les hommes et les femmes âgés pourraient bénéficier également d'un entraînement contre résistance isométrique, concentrique ou excentrique (Symons et al. 2005). Les exercices excentriques soulèvent une préoccupation, soit qu'ils risquent davantage de causer peut-être des lésions aux muscles, aux tendons et aux articulations. Avec une surveillance appropriée et une évolution prudente, les lésions ne semblent pas plus prévalentes que dans le cas d'autres types d'entraînement contre résistance à surcharge progressive, même si l'on n'a pas documenté systématiquement les effets indésirables de tous les types d'entraînement contre résistance (Latham et al. 2004). De plus, on a utilisé exclusivement l'entraînement excentrique chez les adultes âgés dans très peu d'études et il faut effectuer d'autres études contrôlées avant de pouvoir établir des lignes directrices. Par exemple, un modèle animal de muscle âgé a montré que la réponse à l'entraînement excentrique était moins adaptative que chez les animaux au début de l'âge adulte (McBride 2000). Enfin, on a noté que l'exercice d'endurance peut restreindre la capacité d'effectuer des exercices de résistance pour accroître la force et la puissance musculaires (Dreyer et al. 2006; Hunter et al. 2004).

Il reste à déterminer si les gains de fonction musculaire attribuables à l'entraînement améliorent la mobilité, les AVQ et l'autonomie (Latham et al. 2004). On a démontré des améliorations du contrôle de l'équilibre et de la vitesse de marche, ainsi qu'une réduction du risque de chutes, mais il faut conjuguer l'entraînement contre résistance à des exercices spécifiques à la tâche pour démontrer qu'il y a amélioration (Daley et Spinks 2000; Salem et al. 2000; Taaffe et Marcus 2000; Wolfson et al. 1996). Les femmes de 60 à 77 ans, par exemple, ont montré des améliorations des capacités fonctionnelles après 12 semaines d'entraînement de la force (Hunter et al. 1995), mais les femmes plus âgées (76 à 93 ans) vivant en autonomie ont montré des gains importants de force et de puissance, mais des améliorations limitées seulement dans l'exécution des tâches fonctionnelles (Skelton et al. 1995). Au cours d'une autre étude portant sur des hommes et des femmes dans leur huitième décennie vivant dans un état de dépendance, on a amélioré les indicateurs de rendement fonctionnels par l'entraînement contre résistance, mais on n'a pas établi de lien entre ces indicateurs et la force (Carmeli et al. 2000). De plus, l'entraînement en vue d'acquérir de la puissance peut améliorer la capacité fonctionnelle globale bien plus que l'entraînement de la force en soi (Foldvari et al. 2000), qui n'améliore pas la flexibilité (Hurley et Roth 2000).

Chez les adultes âgés frêles, c'est l'entraînement contre résistance qui a le plus d'effet sur les plus incapables (Connelly 2000). Dans le contexte d'une étude, on a remarqué que l'entraînement de la force constituait la seule forme d'exercice que les sujets incapables pouvaient tolérer parce que les participants capables d'effectuer des exercices

d'endurance étaient peu nombreux (Meuleman et al. 2000). Il faut donc poursuivre les études pour comprendre les bienfaits et les limites de l'entraînement contre résistance. Ces études doivent contrôler attentivement d'autres facteurs confusionnels possibles comme l'état physique, l'âge, la tâche et le sexe. Pour beaucoup d'adultes âgés, l'entraînement contre résistance progressive peut être préférable à l'entraînement d'endurance à cause des bienfaits qui peuvent en découler pour divers systèmes du corps et parce que la capacité d'endurer une activité physique prolongée est limitée.

Équilibre et mobilité chez les adultes âgés

Il est essentiel d'avoir un bon équilibre pour exécuter en autonomie et en toute sécurité des activités qui exigent de la mobilité. Chaque fois que nous bougeons, nous perturbons notre équilibre. Notre capacité de réagir avec succès à cette perturbation (c.-à-d. glisser, trébucher, syncope, etc.) déterminera si nous demeurons debout ou si nous tombons (Maki et McIlroy 2006). L'équilibre est le processus par lequel le corps maintient le centre de sa masse à l'intérieur de sa base d'appui (Rose 2003). Pour se tenir debout (équilibre statique), les adultes âgés doivent maintenir le centre de leur masse à l'intérieur de leur base d'appui. Au cours des AVQ (p. ex., transferts, marche), le centre de la masse bouge dans l'espace et il faut établir une nouvelle base d'appui pour maintenir l'équilibre avec chaque pas (équilibre dynamique). L'équilibre statique et dynamique est nécessaire pour exécuter en autonomie et en toute sécurité des activités comme effectuer des transferts, monter des marches, marcher/courir, ainsi que la plupart des activités récréatives (Rose 2005).

Sans égard au niveau d'activité physique, les changements associés à l'âge qui se produisent dans de multiples systèmes sensoriels et physiologiques (p. ex., sensoriel, cognitif, moteur) finissent par contribuer à un déficit de l'équilibre et de la mobilité. Souvent compliqués par des problèmes médicaux (p. ex., diabète, arthrite), ces problèmes ont un effet sur la façon dont un adulte âgé répond à une perturbation de son équilibre (Rose 2005). Les chutes constituent un sérieux problème de santé pour les adultes âgés : 30–40 % des adultes de >65 ans feront une chute au cours d'une année donnée, et 12 % d'entre eux subiront un traumatisme (Speechley et al. 2005). L'incidence des chutes et la gravité des traumatismes augmentent régulièrement avec l'âge (Rubenstein et Josephson 2002), même si l'âge en soi ne constitue pas un solide facteur de cause à effet : la perte d'équilibre et le rétablissement raté de l'équilibre sont des explications plus probables (Speechley et al. 2005). Le manque d'équilibre est un des facteurs de risque de chute qu'il est possible d'améliorer par l'entraînement physique (Woollacott 2000).

Chez les sujets âgés, les muscles s'affaiblissent, l'amplitude des mouvements diminue et la cognition ralentit pour tendre vers un seuil critique auquel les déficits de l'équilibre deviennent évidents. Reconnaissant leurs capacités compromises, les adultes âgés cessent d'exécuter des activités qui peuvent les exposer à des risques plus importants, ou limitent leur milieu de vie (Patla et Shumway-Cook 1999). Ces restrictions auto-imposées peuvent réduire le nombre de chutes à court terme, mais la perte de confiance en soi et le déconditionnement grave accélèrent l'apparition de la fragilité et augmentent les risques à long terme (Tinetti

et al. 1988). Contrairement à d'autres éléments constitutifs de la condition physique, il arrive souvent qu'on remarque un déficit de l'équilibre seulement lorsqu'une chute se produit, habituellement à la suite d'une baisse de l'acuité sensorielle, d'une diminution de l'intégration du système nerveux central ou d'une faiblesse de la motricité (Frank et Patla 2003).

Le déclin attribuable à l'âge de la vision, ainsi que des sens vestibulaires et somatosensoriels, peut commencer à l'âge mûr et évoluer pendant le vieillissement au point d'avoir un effet négatif sur l'équilibre et d'augmenter le risque de chutes (Lord et Ward 1994). Une réduction de l'acuité visuelle, un rétrécissement du champ de vision, une diminution de la perception de la profondeur ou la perte de sensibilité au contraste sont tous des phénomènes qui peuvent avoir un effet sérieux sur tout un éventail d'activités nécessitant équilibre et mobilité (Anacker et Di Fabio 1992). La diminution de la densité des follicules pileux des cellules nerveuses de l'oreille interne inhibe la capacité du réflexe vestibulo-oculaire à stabiliser la vision lorsque la tête bouge rapidement dans l'espace, ce qui peut donner à un adulte âgé l'illusion que l'environnement bouge ou qu'il se déplace dans celui-ci et avoir finalement un effet négatif sur sa capacité de demeurer debout (Rauch et al. 2001). De même, la détérioration du toucher et de la proprioception peut avoir un effet négatif sur la capacité de se redresser après une perturbation inattendue de l'équilibre (Do et al. 1990). Une baisse de la sensibilisation kinesthésique peut avoir un effet sur l'équilibre chez un adulte âgé, particulièrement lorsque la vision n'est pas disponible ou qu'elle est déformée. Collectivement, ces changements ralentissent le traitement dans le système nerveux central et l'intégration de l'information afin de corriger l'équilibre ou de maintenir la mobilité verticale, et compromettent la capacité d'exécuter de multiples tâches simultanément (Brown et al. 1999a). Comme d'autres systèmes physiologiques, le système sensoriel est toutefois adaptable, ce qui permet aux adultes âgés d'apprendre à modifier leurs tactiques pour faire face aux perturbations de l'équilibre dans la vie de tous les jours.

Programmes d'exercices favorables à l'équilibre et à la mobilité

On ne connaît pas encore d'exercices optimaux pour préserver l'équilibre et réduire le risque de chute (Carter et al. 2001). Même si les exercices de la force et cardiorespiratoires améliorent la condition physique, l'équilibre ne change généralement pas. Des études ont néanmoins révélé que l'amélioration de la condition physique améliorerait la mobilité et réduisait le risque de chute (Gardner et al. 2000; Sherrington et al. 2004). À la suite d'une revue récente, on a conclu que des programmes d'exercice personnalisés comportant le renforcement musculaire et le réentraînement de l'équilibre produisaient le plus de bienfaits (Gillespie et al. 2003). Les données probantes qui appuient le Tai Chi comme exercice sont limitées (Wu 2002) : certains rapports indiquent qu'il peut réduire le nombre des chutes (Li et al. 2005), tandis que d'autres ne constatent pas ce bienfait (Wolf et al. 2003). Il se peut que le Tai Chi offre un nouveau défi qui améliore l'équilibre au début et la confiance en soi à cet égard, mais s'il n'y a pas progression vers des

activités plus difficiles, il est possible de perdre ces gains. De plus, comme on l'a signalé plus tôt, l'adoption d'un comportement plus prudent peut à elle seule réduire l'incidence des chutes. L'inactivité contribue à « désynchroniser » les systèmes de contrôle sensoriel et moteur et la maladie chronique accélère la perte d'équilibre chez les adultes âgés (Frank et Patla 2003). Le corps humain peut toutefois s'adapter jusqu'à un certain point en comptant sur d'autres systèmes sensoriels et l'exercice peut faciliter la « resynchronisation » (Horak et al. 1997). Les données courantes indiquent que les adultes âgés devraient mettre leur équilibre et leur mobilité à l'épreuve en pratiquant un vaste éventail d'activités dans différents environnements stimulants. Frank et Patla (2003) ont recommandé une série de modifications de toute catégorie d'exercice ou de tout programme d'activité physique : manœuvrer autour d'obstacles statiques (p. ex., cônes) et mobiles (p. ex., personnes), marcher sur des surfaces différentes (p. ex., marches, surfaces inégales) et dans des environnements différents (p. ex., à l'extérieur), transporter des objets de poids différents, exagérer les mouvements de la partie supérieure du corps, se tourner et pivoter en marchant et changer abruptement de vitesse de marche, par exemple. Ces activités peuvent être incluses dans des activités dynamiques de réchauffement et de refroidissement. Des programmes d'exercice plus poussés peuvent inclure certaines manœuvres portant sur la force et la flexibilité effectuées sur un ballon d'équilibre ou debout sur des tapis en mousse. Ces exercices visent à mettre à l'épreuve (mais non dépasser) la capacité d'une personne en ajoutant des tâches d'équilibre et de mobilité de plus en plus complexes qui simulent les activités quotidiennes. Si l'on veut entraîner le système moteur, il convient alors de modifier les exigences d'une activité d'équilibre en particulier pendant que l'on est debout ou que l'on se déplace dans l'espace (p. ex., porter des charges de poids différents). Si l'on veut exercer un ou plusieurs des systèmes sensoriels, on peut alors manipuler l'environnement (p. ex., se tenir en équilibre les yeux fermés ou debout sur une surface mobile) (Rose 2005).

L'équilibre joue un rôle crucial dans la mobilité en toute sécurité et la prévention des chutes. Tout programme d'exercice devrait comporter des activités précises qui visent de multiples dimensions de l'équilibre et de la mobilité. En présence de déficits de la motricité (p. ex., faiblesse des jambes), il faudrait alors modifier l'activité afin de minimiser ou d'inverser le déficit (p. ex., entraînement aux poids ou marches en position allongée). Si le problème découle de déficits sensoriels, on peut alors ajouter des stimulants environnementaux (p. ex., changements d'éclairage ou de terrain, obstacles) afin de rendre les tâches plus complexes. Des problèmes de cognition, de lecture, par exemple, peuvent rendre ces tâches encore plus difficiles. Les adultes âgés devraient envisager des exercices exécutés dans des environnements différents et dans des conditions différentes afin d'entraîner et de maintenir leur équilibre global.

Flexibilité

La flexibilité est particulière aux articulations. Les techniques d'étirement réussissent à accroître l'amplitude des mouvements et aident à regagner ou maintenir l'amplitude des mouvements des articulations touchées par un

traumatisme, l'immobilisation ou une pathologie (arthrite) (Liebesman et Cafarelli 1994). Même si l'on juge qu'il est avantageux d'avoir plus de flexibilité, on a remis en question cette hypothèse et l'efficacité des exercices d'assouplissement (Liebesman et Cafarelli 1994; Thacker et al. 2004; Witvrouw et al. 2004). On a affirmé que l'amplitude accrue des mouvements produit des avantages comme la prévention des blessures, la diminution des douleurs musculaires et une amélioration de la performance (athlétique). Des études et des essais contrôlés randomisés n'ont néanmoins pas dégagé de données probantes démontrant que l'étirement avant l'exercice réduit le risque de traumatismes ou soulage les douleurs musculaires d'apparition tardive (Pope et al. 2000). À la suite d'une récente méta-analyse portant sur cinq essais visant principalement l'étirement du mollet, on a conclu que même s'il y avait une légère augmentation de l'amplitude de la dorsiflexion, on ne savait pas clairement si les améliorations étaient importantes sur le plan clinique (Radford et al. 2006). De plus, le développement de la force et la vitesse de course n'augmentent pas après l'étirement, qui pourrait avoir un effet négatif sur la vitesse.

L'importance de la perte d'amplitude des mouvements des articulations en fonction de l'âge n'est pas entièrement claire (Liebesman et Cafarelli 1994) et l'importance de la flexibilité pour les habiletés fonctionnelles de la vie quotidienne semble exagérée. Les exercices d'assouplissement peuvent néanmoins aider les adultes âgés à garder leur mobilité et compte tenu de la perte d'amplitude des mouvements d'abduction et d'adduction de l'épaule (Bassey et al. 1989) et de flexion et d'extension de la hanche, des exercices portant sur l'amplitude des mouvements de ces articulations peuvent être utiles, presque dans une optique de réadaptation. On ne sait pas trop s'il faut utiliser l'étirement statique, l'amplitude balistique des mouvements ou des exercices de facilitation neuromusculaire de la proprioception. Si l'amplitude des mouvements est compromise et a un effet défavorable sur la fonction (p. ex., démarche), l'étirement peut alors être bénéfique. Une étude portant sur des femmes âgées de 65 à 89 ans a démontré que huit semaines d'étirement du mollet amélioreraient l'amplitude du mouvement du muscle dorsifléchisseur, ainsi que le rendement à la suite de plusieurs tests ambulatoires (Gajdosik et al. 2005). Les auteurs n'ont toutefois pu déterminer si d'autres adaptations (p. ex., force ou facteurs nerveux) avaient contribué aux améliorations de l'ambulation. Des études plus poussées s'imposent donc pour déterminer si l'étirement en soi est plus bénéfique pour les adultes âgés que le réchauffement produit en commençant une tâche par des mouvements lents contrôlés et, à mesure que l'exercice continue, en atteignant l'amplitude complète appropriée des mouvements. Dans ce dernier cas, on peut recourir à un programme d'exercice équilibré habituel qui inclut des exercices de résistance et d'endurance. Dans l'ensemble, beaucoup de cours d'exercices collectifs à l'intention des adultes âgés semblent consacrer beaucoup trop de temps au volet flexibilité.

Facteurs comportementaux

Efficacité des exercices chez les adultes âgés

Une importante masse de données probantes appuie l'effi-

capacité des interventions basées sur l'activité physique qui améliorent la condition physique et maintiennent l'indépendance fonctionnelle chez les adultes âgés (Taylor et al. 2004). En dépit de ces données probantes, les promoteurs de la santé et les cliniciens ont de la difficulté à persuader les adultes âgés de faire plus d'activité (Brawley et al. 2003). Le simple fait de commencer et de continuer à suivre à long terme un programme d'activité physique structuré comporte un processus complexe et dynamique. De plus, on ne sait pas trop quelle variable détermine la participation à l'exercice et la persévérance chez les adultes âgés (Conn et al. 2003; King et al. 1998; van der Bij et al. 2002).

Il est difficile de déterminer l'efficacité de l'activité physique chez les adultes âgés pour plusieurs raisons. Beaucoup de recherches bien intentionnées ne réussissent pas à atteindre les populations qui en bénéficieraient le plus (p. ex., personnes frêles, confinées chez elles, à faible revenu) et même si elles y parviennent, on oublie souvent d'indiquer si le changement observé suffisait pour rétablir ou maintenir l'indépendance fonctionnelle. De plus, les personnes qui participent à un programme d'exercice reprennent souvent leurs habitudes sédentaires antérieures après l'intervention (Brawley et Culos-Reed 2000; Rhodes et al. 1999). Les enjeux critiques consistent à déterminer comment persuader les adultes âgés de commencer à faire de l'activité physique et de continuer d'en faire à long terme.

Brawley et al. (2003) ont mis en évidence les obstacles auxquels se butent les adultes âgés en bonne santé et malades qui vivent dans la communauté lorsqu'il s'agit de commencer à faire de l'exercice et de continuer d'en faire. Ils ont préconisé l'utilité des modèles de changement de comportement et d'autoréglementation. Les données courantes n'appuient toutefois pas l'efficacité à long terme de telles tactiques fondées sur le comportement, peut-être parce que peu de participants assistent à toutes les séances de conseil (van der Bij et al. 2002).

Dans l'optique du changement de comportement, le concept qui consiste à apporter de petits changements simples à la vie de routine en intégrant l'activité dans la vie quotidienne et en accumulant les périodes d'activité pendant toute la journée est devenu un important message d'intérêt public sur la santé à l'intention des adultes âgés (DiPietro 2001). Dunn et al. (1999) ont comparé un groupe de sujets qui ont changé de comportement à un groupe de participants à un programme de conditionnement physique. L'intervention a duré 6 mois et le suivi, 24 mois. On a encouragé les membres du groupe axé sur les habitudes de vie à intégrer l'activité physique quotidienne d'intensité modérée dans leur vie quotidienne en s'appuyant sur des techniques de modification du comportement, tandis que les sujets qui faisaient de l'exercice structuré ont reçu un programme standard d'exercice aérobique d'intensité variant de modérée à vigoureuse. L'intervention visant les habitudes de vie a été couronnée de succès et, à l'égard de nombreuses variables, les deux groupes ont montré des bienfaits semblables, même si les sujets qui faisaient de l'exercice ont amélioré davantage leur condition physique, ont maintenu plus longtemps certains des gains et, à 24 mois, avaient réduit considérablement la durée de la période quotidienne qu'ils passaient « assis » et marchaient davantage dans la vie de tous les jours.

Jiang et al. (2004) ont cherché à déterminer si des documents d'éducation appropriés à l'âge et très pertinents (*Guide d'activité physique canadien pour une vie active saine pour les aînés* et manuel) réussiraient à augmenter la dépense d'énergie. Un groupe a reçu les documents imprimés seulement tandis qu'un deuxième groupe a reçu à la fois les documents imprimés et un programme de modification du comportement. Après 8 semaines, la dépense d'énergie avait augmenté chez les sujets des deux groupes, même si l'augmentation a été plus importante chez ceux qui ont changé de comportement. On peut en conclure que des documents d'éducation personnalisés peuvent à eux seuls augmenter l'activité physique, même si l'ajout de tactiques de changement de comportement peut augmenter encore davantage la réponse des adultes âgés à court terme. Il reste à déterminer si ces gains suffisent pour améliorer l'indépendance fonctionnelle ou la maintenir.

Martin Ginis et al. (2006) ont étudié l'utilité d'informer les personnes âgées qui font de l'exercice au sujet de la pertinence fonctionnelle des gains réalisés par l'entraînement aux poids dans les AVQ. Les participants à un groupe d'entraînement aux poids conjugué à l'information ont signalé de meilleurs résultats sur le plan de l'autoefficacité dans le cas des tâches liées aux AVQ que ceux qui ont fait de l'entraînement aux poids ou ont reçu de l'information seulement, mais cela ne s'est pas traduit en amélioration du rendement dans les AVQ. Les auteurs ont laissé entendre qu'il se pouvait que la période d'étude (12 semaines, 24 séances) n'ait pas été assez longue pour améliorer le rendement dans les AVQ et ils ont signalé que l'autoefficacité dans les AVQ a commencé à augmenter pour la peine au cours de la deuxième moitié du programme seulement. On a observé des effets de plafonnement dans le cas de beaucoup de mesures des AVQ et l'on a laissé entendre que ces mesures auraient pu convenir davantage à un groupe moins fonctionnel (p. ex., adultes âgés frêles ou ceux qui ont besoin de vivre dans une résidence-services). Leurs résultats semblent aussi indiquer que des mécanismes autres que la participation (réduction de la douleur, amélioration de l'équilibre, meilleure kinesthésique ou, tout simplement, amélioration de la condition physique) ont pu entraîner des améliorations fonctionnelles. Leur étude met en évidence l'importance d'informer les participants âgés au sujet de la pertinence fonctionnelle de l'exercice pour vivre en autonomie. Il faut accorder davantage d'attention à ce domaine de recherche afin d'améliorer les programmes d'exercice et de concevoir des tactiques de prescription qui appuient la participation à long terme.

Estabrooks et Carron (1999) ont présenté un aperçu du rapport entre la cohérence du groupe et l'observation d'un programme d'exercice en groupe. On a affecté au hasard des participants à des groupes d'édification d'équipe (techniques de cohérence collective intégrées dans la classe d'exercice), placebo (classe d'exercice et interaction sociale normale) ou témoin (programme d'exercice seulement). Au cours d'une évaluation d'une durée de 6 et de 12 mois, les membres du groupe d'édification d'équipe ont assisté à plus de séances d'exercice et ont obtenu un meilleur taux de rendement après une pause d'été de 10 semaines. On a conclu que les tactiques portant sur la cohérence du groupe pourraient jouer un rôle important en aidant les adultes âgés à

participer plus longtemps à des classes d'exercice. Les recherches préliminaires à cet égard sont porteuses de promesses mais limitées et des études plus poussées s'imposent pour confirmer ces résultats (Estabrooks 2000).

Des recommandations peuvent reposer sur des documents disponibles qui portent sur l'éducation et le comportement. Tout d'abord, étant donné l'hétérogénéité des fonctions entre adultes âgés et comme ces écarts se creusent avec l'âge, le type d'activité physique doit probablement être flexible et personnalisé en fonction des besoins et des objectifs d'une personne. Par exemple, la santé autoperçue et la participation à l'activité physique chez les adultes de 65–74 ans ressemblent d'assez près à celles des adultes d'âge mûr, mais c'est chez les adultes de 75 ans et plus que l'on constate les différences les plus importantes aux niveaux de la participation à l'activité physique et de la fonction (Statistique Canada 2007). On peut soutenir que les idéaux sociaux et culturels des « baby-boomers » diffèrent de ceux de la cohorte précédente, au moins au début de l'âge avancé (Wister 2005). C'est pourquoi il faudra peut-être modifier les méthodes utilisées pour motiver les adultes âgés d'aujourd'hui en fonction à la fois de la « nouvelle » génération d'adultes âgés de demain et de ceux qui arrivent dans la cohorte où la croissance est la plus rapide, soit les personnes âgées les plus âgées (>75 ans).

Deuxièmement, il faut tenir compte du lieu de l'intervention (p. ex., dans la collectivité, à domicile ou dans un établissement de soins de santé) comme moyen possible d'atteindre une cohorte plus importante d'adultes âgés. van der Bij et al. (2002) ont revu 38 études portant sur 57 interventions différentes axées sur l'activité physique et ils ont fait état des taux de participation et des niveaux d'activité physique comme mesures de l'efficacité des programmes. Les interventions ont été regroupées en programmes à domicile (exercices prescrits explicitement et effectués à domicile), programmes d'exercices en groupe sous surveillance, ou activités d'éducation (on a remis aux participants de l'information sur l'exercice et la santé et on les a encouragés à faire de l'activité physique). La participation de courte durée (<1 an) a été élevée, mais l'observation ne s'est pas maintenue dans le cas des programmes de plus longue durée (>1 an). Les auteurs ont recommandé d'améliorer les interventions de maintien à long terme et ont suggéré d'établir et d'appliquer des programmes plus intenses et personnalisés qui incluent l'application efficace à tous les niveaux de fonctionnement de stratégies de soutien par l'éducation, l'environnement et le comportement.

Troisièmement, pour encourager la participation et l'observation, il faut faire passer efficacement le message sur l'activité physique, ce qui peut consister à promouvoir le « vieillissement en bonne santé » au lieu de mettre comme d'habitude l'accent sur la prévention des maladies, car les estimations courantes indiquent que 91 % des Canadiens âgés vivent avec un ou plusieurs problèmes chroniques de santé et 40 % signalent une incapacité (NACA 2006). Il se peut que le message selon lequel l'exercice prévient les maladies n'ait plus le même poids auprès des populations plus jeunes. Les adultes âgés signalent que les maladies chroniques ou actives, les traumatismes et le manque d'habileté constituent des obstacles majeurs à l'observation à long terme (Craig et al. 1998). Ils considèrent aussi l'exercice

comme une activité récréative plutôt qu'une thérapie médicale nécessaire et il se peut qu'ils n'en comprennent pas la pertinence sur le plan fonctionnel (Rejeski et Brawley 2006). Il y a un autre problème : les adultes âgés qui font de l'exercice régulièrement n'augmentent pas nécessairement leur dépense d'énergie totale même s'ils augmentent leur dépense d'énergie pendant qu'ils sont actifs (Meijer et al. 1999). Le phénomène de conservation de l'énergie entre les séances d'exercice souligne l'importance de recommander une dose quotidienne d'exercice afin de maintenir et d'améliorer la condition physique et la santé (Tudor-Locke et al. 2002).

Enfin, les experts de la promotion de la santé ont besoin d'un consensus sur la terminologie qui fera le mieux connaître une dose appropriée d'exercice. Il faut apprendre aux adultes âgés les différences subtiles entre la vie active, l'activité physique, l'exercice et la condition physique, expressions qu'on utilise souvent de façon synonyme ou erronée dans les publications sur la promotion de la santé. La vie active est un mode de vie : les gens choisissent de faire de l'activité physique tous les jours dans leur collectivité. Elle peut comporter des activités tant structurées (sports) que non structurées (jeu). L'activité physique consiste essentiellement en tout mouvement du corps produit par les muscles de l'appareil locomoteur qui entraîne une augmentation de la dépense d'énergie. L'exercice est un sous-ensemble de l'activité physique planifiée : il s'agit de mouvements structurés et répétitifs du corps exécutés pour améliorer un ou plusieurs éléments constitutifs de la condition physique (cardiorespiratoire, force, flexibilité, morphologie du corps ou équilibre). La condition physique est le reflet d'une augmentation de la capacité de réserve physiologique que les gens ont ou atteignent et qui leur permet d'exécuter des activités données à des intensités relatives plus faibles.

Les interventions fondées sur l'exercice qui visent les adultes âgés doivent tenir compte des besoins et des aptitudes de chacun. Dans le cas des jeunes, la stratégie traditionnelle a consisté avant tout à améliorer les paramètres physiologiques et à prévenir les maladies. D'autres buts peuvent tenir compte des besoins des adultes âgés dont la santé et la fonction physique sont beaucoup plus diversifiées. Beaucoup de membres des professions paramédicales et de professionnels de la force physique n'ont toutefois pas la formation nécessaire pour prescrire des exercices ou pour fournir des lignes directrices et une orientation aux adultes âgés qui entreprennent un programme d'exercice (Eccleston et Jones 2004).

On peut faire valoir un argument solide en affirmant que beaucoup d'adultes âgés sont motivés à faire de l'exercice, mais n'ont pas les connaissances nécessaires pour observer un programme de plus longue durée. Des programmes d'exercice dans la collectivité qui offrent à la fois un volet éducatif (p. ex., modification du comportement, pertinence fonctionnelle, stratégie de motivation) et une dose d'exercice suffisante pour maintenir la capacité fonctionnelle pourraient aider les intéressés à se conformer à un programme d'exercice de plus longue durée. Les témoignages d'adultes âgés révèlent qu'il est possible d'observer dans leur vie quotidienne les résultats d'un programme d'amélioration de la condition physique sous forme de réduction de la fatigue et d'une capacité de faire davantage d'activité

physique et de continuer de profiter des activités qu'ils appréciaient auparavant. Par ailleurs, le simple fait d'encourager les adultes âgés à ajouter des activités générales à leur vie quotidienne peut faire croire que ces activités sont fatigantes et qu'ils ne peuvent plus s'y livrer. Il existe de solides arguments, appuyés en partie par les données du projet Active, selon lesquelles une bonne stratégie pourrait consister à préconiser « la condition physique pour une vie active » (Paterson 1999). Suivant cette stratégie, on propose un programme d'exercice de courte durée qui améliore la condition physique, ce qui incite les adultes âgés à hausser leur niveau d'activité quotidienne « inconsciemment » ou spontanément. Lorsque leur condition physique s'améliore, les gens sont susceptibles de reprendre les activités qu'ils trouvaient auparavant fatigantes ou « trop difficiles », ou de commencer à s'y livrer. Il semble aussi prudent que les recommandations sur l'activité physique prévoient un bienfait réel : il faut conseiller les participants au sujet des bienfaits connus et non des possibilités. Les adultes âgés ont besoin d'un message « concret ». Lorsqu'on fait plus d'activité au cours de la journée, il est difficile de savoir si l'effort a été fructueux et si l'on a fait suffisamment d'activité. Face à une intensité définie (variant de modérée à vigoureuse, marche d'un bon pas) et à une durée déterminée (p. ex., 30 min/jour en progressant jusqu'à 60 min/jour), un adulte sait quand il a atteint le but. Les adultes âgés doivent avoir une raison de faire de l'exercice et comprendre la pertinence fonctionnelle et physiologique de l'exercice pour garder leur autonomie.

Autres facteurs dont il faut tenir compte

Exercice sécuritaire et efficace pour les adultes âgés

Sauf s'il existe des problèmes de santé sous-jacents, il ne devrait pas être nécessaire d'obtenir l'autorisation du médecin pour poursuivre de façon plus systématique les activités quotidiennes habituelles qui peuvent déjà inclure des exercices aérobiques ou de renforcement. P.-O. Åstrand a déclaré qu'il faudrait consulter un médecin non pas pour obtenir son autorisation d'être actif, mais plutôt lorsque l'on prévoit laisser tomber certaines activités ou devenir sédentaire! Les adultes âgés pour qui l'exercice est nouveau et qui envisagent de se livrer à des activités plus difficiles doivent consulter un médecin avant de commencer afin de déterminer s'ils ont des limites ou s'ils ont des précautions à prendre. Beaucoup d'adultes âgés ont des incapacités ou des comorbidités qui peuvent limiter leur capacité de faire de l'exercice (p. ex., dépression, diabète, arthrite). Lorsqu'on prescrit des exercices, il faut tenir compte de l'effet de ces problèmes sur les capacités physiques et mentales de la personne (Mazzeo et Tanaka 2001). Il est néanmoins probable que l'inactivité fait plus de mal que de bien, sans égard à l'état de santé (Manson et al. 2002). Le médecin peut aussi donner des conseils au sujet des effets que des médicaments ont sur la réponse à l'exercice.

Même si une activité physique plus importante et plus intense est généralement bénéfique pour les adultes âgés, elle peut aussi accroître le risque de traumatismes (Gerson et Stevens 2004; Hootman et al. 2002; Jones et Turner 2005). Les participants et les animateurs des exercices doivent peser les avantages et les risques et suivre des tactiques

connues de prévention des traumatismes (p. ex., protecteurs de la hanche dans le cas de ceux qui ont de l'ostéoporose et risquent de tomber) afin que les intéressés puissent effectuer l'exercice en toute sécurité et efficacité (Skelton et Beyer 2003). L'évaluation préliminaire de l'appareil locomoteur et une analyse de la démarche peuvent réduire les traumatismes reliés à la marche ou à la course. De l'information « conviviale pour les adultes âgés » sur les chaussures appropriées et la nécessité d'effectuer des exercices d'assouplissement et de renforcement des membres inférieurs aideront aussi à prévenir les blessures (Ready et al. 1999). Le meilleur conseil, c'est de commencer graduellement et de progresser lentement au départ, car il est entendu que l'activité physique constitue une logistique de toute une vie.

Recommandations relatives à l'exercice à l'intention des adultes âgés qui ont une maladie chronique

Les adultes âgés qui ont une ou plusieurs comorbidités ou incapacités fonctionnelles fonctionnent souvent aux seuils de l'autonomie fonctionnelle ou à proximité de ceux-ci. L'activité physique est probablement le meilleur remède non pharmaceutique à prendre pour demeurer en santé et garder son autonomie fonctionnelle. Les adultes âgés qui ont une incapacité ou plus perdent souvent beaucoup de mobilité et d'autonomie physique après une maladie mineure, une blessure ou une flambée d'une maladie chronique (Rimmer 2001). L'activité physique et l'exercice habituels peuvent avoir un effet positif sur presque toutes les maladies chroniques (Pedersen et Saltin 2006). Des comportements sanitaires positifs qui incluent l'exercice régulier d'intensité variant de modérée à vigoureuse retardent ou atténuent l'effet des maladies chroniques ou de l'incapacité (Shephard 2001). Les stratégies d'exercice sécuritaires et efficaces constituent un moyen très efficace d'intervention à la fois pour la prévention et le traitement des maladies chroniques. On trouve ailleurs des interventions intégrées fondées sur l'exercice spécifique à une maladie (ACSM 2002, 2003).

Exercice pour les adultes âgés frêles

La grande majorité des adultes âgés vivant dans la communauté considèrent qu'ils sont en bonne santé et mènent une vie indépendante, mais de 10 à 20 % des 65 ans et plus sont considérés comme frêles (Hebert et al. 1997) et plus de la moitié des personnes âgées peuvent montrer des symptômes précoces de « préfragilité » (Gill et al. 2006). La fragilité est insidieuse : une perte de réserve physiologique accroît la vulnérabilité aux facteurs de stress et à la dysrégulation dans de multiples systèmes physiques (Fried et al. 2004). Les adultes frêles répondent néanmoins remarquablement bien à l'exercice et des données probantes récentes indiquent qu'ils peuvent retrouver leur indépendance fonctionnelle (Binder et al. 2002; Gill et al. 2006). La prescription d'exercice et les interventions en la matière à l'intention des adultes âgés frêles dépassent la portée des présentes lignes directrices. Singh (2002) présente toutefois un excellent aperçu des recommandations à l'intention de cette population.

Réflexions sommaires

De nombreuses statistiques décrivent le vieillissement de la société. L'espérance de vie dépasse 80 ans et le segment

de la population qui augmente le plus rapidement est celui des personnes âgées plus âgées. À ces âges, les maladies chroniques du vieillissement sont prévalentes et le déclin fonctionnel restreint la qualité de vie par des incapacités, l'invalidité et la perte d'autonomie. Au cours des 15 à 20 prochaines années, le soin des adultes âgés et frêles imposera un lourd défi au système de santé et la majeure partie des soins en question incombera à des particuliers. La présente revue indique que les habitudes de vie sédentaires actuelles contribuent à la prévalence des maladies chroniques et à la perte de fonction et d'autonomie. Pour prévenir les maladies, raccourcir la morbidité et maintenir son fonctionnement et garder son autonomie en âge avancé, il importe d'accroître sa condition cardiorespiratoire, de faire des exercices de renforcement musculaire et de se livrer à des activités axées sur l'équilibre et la mobilité. L'adoption des activités physiques recommandées devrait réduire ces risques de 30 %, ou même de 50 %. Il importe que les lignes directrices soient efficaces chez ceux qui « prennent la pilule » et il est crucial pour la santé publique d'élaborer des stratégies afin de modifier le comportement relié à l'activité physique d'un segment important de la population âgée.

Remerciements

Ce projet a bénéficié de l'aide de l'Agence de la santé publique du Canada. La Société canadienne de physiologie de l'exercice s'est chargée du leadership et de l'aide administrative. Nous sommes très reconnaissants de son aide à Brad Hansen, technicien de laboratoire. Nous remercions sincèrement Juan Murias du travail qu'il a fait pour produire l'Annexe et se charger des aspects techniques de la production de la liste de références. Nous reconnaissons l'aide en recherche reçue du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada. Le Centre canadien pour l'activité et le vieillissant est en outre reconnaissant à la Compagnie d'assurance Standard Life du Canada de son aide financière.

Bibliographie

- ACSM. 2002. ACSM's resources for clinical exercise physiology: musculoskeletal, neuromuscular, neoplastic, immunologic and hematologic conditions. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, Pa.
- ACSM. 2003. ACSM's exercise management for persons with chronic disease and disabilities. Human Kinetics, Champaign, Ill.
- Adams, G.M., et DeVries, H.A. 1973. Physiological effects of an exercise training regimen upon women aged 52 to 79. *J. Gerontol.* **28** : 50–55. PMID:4683198.
- Amara, C.E., Koval, J.J., Johnson, P.J., Paterson, D.H., Winter, E.M., et Cunningham, D.A. 2000. Modelling the influence of fat-free mass and physical activity on the decline in maximal oxygen uptake with age in older humans. *Exp. Physiol.* **85** : 877–886. doi:10.1017/S0958067000020662. PMID:11187983.
- Amara, C.E., Rice, C.L., Koval, J.J., Paterson, D.H., Winter, E.M., et Cunningham, D.A. 2003. Allometric scaling of strength in an independently living population age 55–86 years. *Am. J. Hum. Biol.* **15** : 48–60. doi:10.1002/ajhb.10115. PMID:12552578.
- Anacker, S.L., et Di Fabio, R.P. 1992. Influence of sensory inputs on standing balance in community-dwelling elders with a recent history of falling. *Phys. Ther.* **72** : 575–581. PMID:1635942.
- Andersen-Ranberg, K., Christensen, K., Jeune, B., Skytthe, A., Vasegaard, L., et Vaupel, J.W. 1999. Declining physical abilities with age: a cross-sectional study of older twins and centenarians in Denmark. *Age Ageing*, **28** : 373–377. doi:10.1093/ageing/28.4.373. PMID:10459791.
- Arbab-Zadeh, A., Dijk, E., Prasad, A., Fu, Q., Torres, P., Zhang, R., et al. 2004. Effect of aging and physical activity on left ventricular compliance. *Circulation*, **110** : 1799–1805. doi:10.1161/01.CIR.0000142863.71285.74. PMID:15364801.
- Arraiz, G.A., Wigle, D.T., et Mao, Y. 1992. Risk assessment of physical activity and physical fitness in the Canada Health Survey mortality follow-up study. *J. Clin. Epidemiol.* **45** : 419–428. doi:10.1016/0895-4356(92)90043-M. PMID:1569438.
- Baker, D.J., et Hepple, R.T. 2006. Elevated caspase and AIF gene expression correlate with progression of sarcopenia during aging in male F344BN rats. *Exp. Gerontol.* **41** : 1149–1156. doi:10.1016/j.exger.2006.08.007. PMID:17029665.
- Bassey, E.J. 1978. Age, inactivity and some physiological responses to exercise. *Gerontology*, **24** : 66–77. PMID:618768.
- Bassey, E.J., Morgan, K., Dallosso, H.M., et Ebrahim, S.B. 1989. Flexibility of the shoulder joint measured as range of abduction in a large representative sample of men and women over 65 years of age. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **58** : 353–360. doi:10.1007/BF00643509. PMID:2920713.
- Bassey, E.J., Fiatarone, M.A., O'Neill, E.F., Kelly, M., Evans, W.J., et Lipsitz, L.A. 1992. Leg extensor power and functional performance in very old men and women. *Clin. Sci. (Lond.)*, **82** : 321–327. PMID:1312417.
- Beere, P.A., Russell, S.D., Morey, M.C., Kitzman, D.W., et Higginbotham, M.B. 1999. Aerobic exercise training can reverse age-related peripheral circulatory changes in healthy older men. *Circulation*, **100** : 1085–1094. PMID:10477534.
- Bell, C., Paterson, D.H., Kowalchuk, J.M., Moy, A.P., Thorp, D.B., Noble, E.G., et al. 2001. Determinants of oxygen uptake kinetics in older humans following single-limb endurance exercise training. *Exp. Physiol.* **86** : 659–665. doi:10.1113/eph8602209. PMID:11571495.
- Belman, M.J., et Gaesser, G.A. 1991. Exercise training below and above the lactate threshold in the elderly. *Med. Sci. Sports Exerc.* **23** : 562–568. PMID:2072834.
- Bigland-Ritchie, B., Rice, C.L., Garland, S.J., et Walsh, M.L. 1995. Task-dependent factors in fatigue of human voluntary contraction. *Dans Fatigue: neurological and muscular mechanisms. Sous la direction de R.M. Enoka, S.C. Gandevia, A.J. McComas, P.A. Pierce, D.G. Stuart et C.K. Thomas.* Plenum Press, New York, N.Y. p. 361–380.
- Bijnen, F.C., Feskens, E.J., Caspersen, C.J., Nagelkerke, N., Mosterd, W.L., et Kromhout, D. 1999. Baseline and previous physical activity in relation to mortality in elderly men: the Zutphen Elderly Study. *Am. J. Epidemiol.* **150** : 1289–1296. PMID:10604771.
- Binder, E.F., Schechtman, K.B., Ehsani, A.A., Steger-May, K., Brown, M., Sinacore, D.R., et al. 2002. Effects of exercise training on frailty in community-dwelling older adults: results of a randomized, controlled trial. *J. Am. Geriatr. Soc.* **50** : 1921–1928. doi:10.1046/j.1532-5415.2002.50601.x. PMID:12473001.
- Blair, S.N., Kohl, H.W., 3rd, Paffenbarger, R.S., Jr., Clark, D.G., Cooper, K.H., et Gibbons, L.W. 1989. Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women. *JAMA*, **262** : 2395–2401. doi:10.1001/jama.262.17.2395. PMID:2795824.
- Blair, S.N., Kohl, H.W., 3rd, Barlow, C.E., Paffenbarger, R.S., Jr., Gibbons, L.W., et Macera, C.A. 1995. Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and

- unhealthy men. *JAMA*, **273** : 1093–1098. doi:10.1001/jama.273.14.1093. PMID:7707596.
- Blair, S.N., Kampert, J.B., Kohl, H.W., 3rd, Barlow, C.E., Macera, C.A., Paffenbarger, R.S., Jr., et Gibbons, L.W. 1996. Influences of cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women. *JAMA*, **276** : 205–210. doi:10.1001/jama.276.3.205. PMID:8667564.
- Blair, S.N., Cheng, Y., et Holder, J.S. 2001. Is physical activity or physical fitness more important in defining health benefits? *Med. Sci. Sports Exerc.* **33**(6 Suppl.) : S379–S399. doi:10.1097/00005768-200105001-01549. PMID:11427763.
- Blough, E.R., et Linderman, J.K. 2000. Lack of skeletal muscle hypertrophy in very aged male Fischer 344 × Brown Norway rats. *J. Appl. Physiol.* **88** : 1265–1270. PMID:10749817.
- Blumenthal, J.A., Emery, C.F., Madden, D.J., George, L.K., Coleman, R.E., Riddle, M.W., et al. 1989. Cardiovascular and behavioral effects of aerobic exercise training in healthy older men and women. *J. Gerontol.* **44** : M147–M157. PMID:2768768.
- Blumenthal, J.A., Emery, C.F., Madden, D.J., Coleman, R.E., Riddle, M.W., Schniebolck, S., et al. 1991. Effects of exercise training on cardiorespiratory function in men and women older than 60 years of age. *Am. J. Cardiol.* **67** : 633–639. doi:10.1016/0002-9149(91)90904-Y. PMID:2000798.
- Brawley, L.R., et Culos-Reed, S.N. 2000. Studying adherence to therapeutic regimens: overview, theories, recommendations. *Control. Clin. Trials*, **21**(5 Suppl.) : 156S–163S. doi:10.1016/S0197-2456(00)00073-8. PMID:11018570.
- Brawley, L.R., Rejeski, W.J., et King, A.C. 2003. Promoting physical activity for older adults: the challenges for changing behavior. *Am. J. Prev. Med.* **25**(Suppl. 2) : 172–183. doi:10.1016/S0749-3797(03)00182-X. PMID:14552942.
- Brill, P.A., Macera, C.A., Davis, D.R., Blair, S.N., et Gordon, N. 2000. Muscular strength and physical function. *Med. Sci. Sports Exerc.* **32** : 412–416. doi:10.1097/00005768-200002000-00023. PMID:10694125.
- Brooks, S.V., et Faulkner, J.A. 1994. Skeletal muscle weakness in old age: underlying mechanisms. *Med. Sci. Sports Exerc.* **26** : 432–439. PMID:8201898.
- Brown, L.A., Shumway-Cook, A., et Woollacott, M.H. 1999a. Attentional demands and postural recovery: the effects of aging. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **54** : M165–M171. PMID:10219006.
- Brown, M., Fisher, J.S., et Salsich, G. 1999b. Stiffness and muscle function with age and reduced muscle use. *J. Orthop. Res.* **17** : 409–414. doi:10.1002/jor.1100170317. PMID:10376731.
- Buchman, A.S., Wilson, R.S., Boyle, P.A., Bienias, J.L., et Bennett, D.A. 2007. Change in motor function and risk of mortality in older persons. *J. Am. Geriatr. Soc.* **55** : 11–19. PMID:17233680.
- Butler, R.N., Davis, R., Lewis, C.B., Nelson, M.E., et Strauss, E. 1998. Physical fitness: benefits of exercise for the older patient. *2. Geriatrics*, **53** : 46, 49–52, 61–62. PMID:9791196.
- Carmeli, E., Reznick, A.Z., Coleman, R., et Carmeli, V. 2000. Muscle strength and mass of lower extremities in relation to functional abilities in elderly adults. *Gerontology*, **46** : 249–257. doi:10.1159/000022168. PMID:10965180.
- Carroll, J.F., Convertino, V.A., Wood, C.E., Graves, J.E., Lowenthal, D.T., et Pollock, M.L. 1995. Effect of training on blood volume and plasma hormone concentrations in the elderly. *Med. Sci. Sports Exerc.* **27** : 79–84. PMID:7898342.
- Carter, N.D., Kannus, P., et Khan, K.M. 2001. Exercise in the prevention of falls in older people: a systematic literature review examining the rationale and the evidence. *Sports Med.* **31** : 427–438. doi:10.2165/00007256-200131060-00003. PMID:11394562.
- Charifi, N., Kadi, F., Feasson, L., et Denis, C. 2003. Effects of endurance training on satellite cell frequency in skeletal muscle of old men. *Muscle Nerve*, **28** : 87–92. doi:10.1002/mus.10394. PMID:12811778.
- Charles, M., Charifi, N., Verney, J., Pichot, V., Feasson, L., Costes, F., et Denis, C. 2006. Effect of endurance training on muscle microvascular filtration capacity and vascular bed morphometry in the elderly. *Acta Physiol. (Oxf)*, **187** : 399–406. PMID:16776665.
- Conley, K.E., Jubrias, S.A., et Esselman, P.C. 2000. Oxidative capacity and ageing in human muscle. *J. Physiol.* **526** : 203–210. doi:10.1111/j.1469-7793.2000.t011-1-00203.x. PMID:10878112.
- Conn, V.S., Minor, M.A., Burks, K.J., Rantz, M.J., et Pomeroy, S.H. 2003. Integrative review of physical activity intervention research with aging adults. *J. Am. Geriatr. Soc.* **51** : 1159–1168. doi:10.1046/j.1532-5415.2003.51365.x. PMID:12890083.
- Connelly, D.M. 2000. Resisted exercise training of institutionalized older adults for improved strength and functional mobility. *Top. Geriatr. Rehabil.* **15** : 6–28.
- Cononie, C.C., Graves, J.E., Pollock, M.L., Phillips, M.I., Sumners, C., et Hagberg, J.M. 1991. Effect of exercise training on blood pressure in 70- to 79-yr-old men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.* **23** : 505–511. PMID:2056908.
- Craig, C.L., Russell, S.J., Cameron, C., et Beaulieu, A. 1998. 1997 Physical activity benchmarks report. Fitness and Lifestyle Research Institute, Ottawa, Ont.
- Cunningham, D.A., Rechnitzer, P.A., Howard, J.H., et Donner, A.P. 1987. Exercise training of men at retirement: a clinical trial. *J. Gerontol.* **42** : 17–23. PMID:3540084.
- Cunningham, D.A., Paterson, D.H., Himann, J.E., et Rechnitzer, P.A. 1993. Determinants of independence in the elderly. *Can. J. Appl. Physiol.* **18** : 243–254. PMID:8242004.
- Cunningham, D.A., Paterson, D.H., Koval, J.J., et St. Croix, C.M. 1997. A model of oxygen transport capacity changes for independently living older men and women. *Can. J. Appl. Physiol.* **22** : 439–453. PMID:9356763.
- Cutler, R.G., et Mattson, M.P. 2006. The adversities of aging. *Ageing Res. Rev.* **5** : 221–238. doi:10.1016/j.arr.2006.05.002. PMID:16950665.
- Daley, M.J., et Spinks, W.L. 2000. Exercise, mobility and aging. *Sports Med.* **29** : 1–12. doi:10.2165/00007256-200029010-00001. PMID:10688279.
- Davies, C.T., et White, M.J. 1983. Contractile properties of elderly human triceps surae. *Gerontology*, **29** : 19–25. PMID:6832591.
- DeBeliso, M., Harris, C., Spitzer-Gibson, T., et Adams, K.J. 2005. A comparison of periodised and fixed repetition training protocol on strength in older adults. *J. Sci. Med. Sport*, **8** : 190–199. doi:10.1016/S1440-2440(05)80010-6. PMID:16075779.
- Dela, F., et Kjaer, M. 2006. Resistance training, insulin sensitivity and muscle function in the elderly. *Essays Biochem.* **42** : 75–88. doi:10.1042/bse0420075. PMID:17144881.
- Deschenes, M.R. 2004. Effects of aging on muscle fibre type and size. *Sports Med.* **34** : 809–824. doi:10.2165/00007256-200434120-00002. PMID:15462613.
- De Vito, G., Hernandez, R., Gonzalez, V., Felici, F., et Figura, F. 1997. Low intensity physical training in older subjects. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **37** : 72–77. PMID:9190129.
- de Vos, N.J., Singh, N.A., Ross, D.A., Stavrinou, T.M., Orr, R., et Fiatarone Singh, M.A. 2005. Optimal load for increasing muscle power during explosive resistance training in older adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **60** : 638–647. PMID:15972618.

- Di Iorio, A., Abate, M., Di Renzo, D., Russolillo, A., Battaglini, C., Ripari, P., et al. 2006. Sarcopenia: age-related skeletal muscle changes from determinants to physical disability. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol.* **19** : 703–719. PMID:17166393.
- DiPietro, L. 2001. Physical activity in aging: changes in patterns and their relationship to health and function. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **56** : 13–22. PMID:11730234.
- Dirks, A.J., et Leeuwenburgh, C. 2006. Caloric restriction in humans: potential pitfalls and health concerns. *Mech. Ageing Dev.* **127** : 1–7. doi:10.1016/j.mad.2005.09.001. PMID:16226298.
- Do, M.C., Bussel, B., et Breniere, Y. 1990. Influence of plantar cutaneous afferents on early compensatory reactions to forward fall. *Exp. Brain Res.* **79** : 319–324. doi:10.1007/BF00608241. PMID:2323379.
- Doherty, T.J. 2003. Invited review: aging and sarcopenia. *J. Appl. Physiol.* **95** : 1717–1727. PMID:12970377.
- Doherty, T.J., et Brown, W.F. 1997. Age-related changes in the twitch contractile properties of human thenar motor units. *J. Appl. Physiol.* **82** : 93–101. PMID:9029203.
- Doherty, T.J., Vandervoort, A.A., et Brown, W.F. 1993. Effects of ageing on the motor unit: a brief review. *Can. J. Appl. Physiol.* **18** : 331–358. PMID:8275048.
- Dowling, J.J., Konert, E., Ljucovic, P., et Andrews, D.M. 1994. Are humans able to voluntarily elicit maximum muscle force? *Neurosci. Lett.* **179** : 25–28. doi:10.1016/0304-3940(94)90926-1. PMID:7845617.
- Dreyer, H.C., Schroeder, E.T., Hawkins, S.A., Marcell, T.J., Tarpenning, K.M., Vallejo, A.F., et al. 2006. Chronic exercise and skeletal muscle power in older men. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **31** : 190–195. doi:10.1139/H05-014. PMID:16770344.
- Dunn, A.L., Marcus, B.H., Kampert, J.B., Garcia, M.E., Kohl, H.W., 3rd, et Blair, S.N. 1999. Comparison of lifestyle and structured interventions to increase physical activity and cardiorespiratory fitness: a randomized trial. *JAMA*, **281** : 327–334. doi:10.1001/jama.281.4.327. PMID:9929085.
- Ecclestone, N.A., et Jones, J. 2004. International curriculum guidelines for preparing physical activity instructors of older adults, in collaboration with the Aging and Life Course, World Health Organization. *J. Aging Phys. Act.* **12** : 467–479. PMID:15856598.
- Ehsani, A.A., Ogawa, T., Miller, T.R., Spina, R.J., et Jilka, S.M. 1991. Exercise training improves left ventricular systolic function in older men. *Circulation*, **83** : 96–103. PMID:1984902.
- Ehsani, A.A., Spina, R.J., Peterson, L.R., Rinder, M.R., Glover, K.L., Villareal, D.T., et al. 2003. Attenuation of cardiovascular adaptations to exercise in frail octogenarians. *J. Appl. Physiol.* **95** : 1781–1788. PMID:12857764.
- Ekelund, L.G., Haskell, W.L., Johnson, J.L., Whaley, F.S., Criqui, M.H., et Sheps, D.S. 1988. Physical fitness as a predictor of cardiovascular mortality in asymptomatic North American men. The Lipid Research Clinics Mortality Follow-up Study. *N. Engl. J. Med.* **319** : 1379–1384. PMID:3185648.
- Enoka, R.M., et Fuglevand, A.J. 2001. Motor unit physiology: some unresolved issues. *Muscle Nerve*, **24** : 4–17. doi:10.1002/1097-4598(200101)24:1<4::AID-MUS13>3.0.CO;2-F. PMID:11150961.
- Erikssen, G., Liestol, K., Bjornholt, J., Thaulow, E., Sandvik, L., et Erikssen, J. 1998. Changes in physical fitness and changes in mortality. *Lancet*, **352** : 759–762. doi:10.1016/S0140-6736(98)02268-5. PMID:9737279.
- Estabrooks, P.A. 2000. Sustaining exercise participation through group cohesion. *Exerc. Sport Sci. Rev.* **28** : 63–67. PMID:10902087.
- Estabrooks, P.A., et Carron, A.V., 1999. Group cohesion in older adult exercisers: prediction and intervention effects. *J. Behav. Med.* **22** : 575–588. doi:10.1023/A:1018741712755. PMID:10650537.
- Evans, W.J. 1995. What is sarcopenia? *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **50**(Spec.) : 5–8.
- Evans, W.J. 2000. Exercise strategies should be designed to increase muscle power. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **55** : M309–M310. PMID:10843349.
- Evans, E.M., Racette, S.B., Peterson, L.R., Villareal, D.T., Greiwe, J.S., et Holloszy, J.O. 2005. Aerobic power and insulin action improve in response to endurance exercise training in healthy 77–87 yr olds. *J. Appl. Physiol.* **98** : 40–45. doi:10.1152/jappphysiol.00928.2004. PMID:15591302.
- Fatouros, I.G., Kambas, A., Katrabasas, I., Nikolaidis, K., Chatzini-kolaou, A., Leontsini, D., et Taxildaris, K. 2005. Strength training and detraining effects on muscular strength, anaerobic power, and mobility of inactive older men are intensity dependent. *Br. J. Sports Med.* **39** : 776–780. doi:10.1136/bjism.2005.019117. PMID:16183776.
- Faulkner, J.A., et Brooks, S.V. 1995. Muscle fatigue in old animals: unique aspects of fatigue in elderly humans. *Dans Fatigue: neurological and muscular mechanisms. Sous la direction de R.M. Enoka, S.C. Gandevia, A.J. McComas, P.A. Pierce, D.G. Stuart et C.K. Thomas.* Plenum Press, New York, N.Y. p. 471–479.
- Ferketich, A.K., Kirby, T.E., et Alway, S.E. 1998. Cardiovascular and muscular adaptations to combined endurance and strength training in elderly women. *Acta Physiol. Scand.* **164** : 259–267. doi:10.1046/j.1365-201X.1998.00428.x. PMID:9853013.
- Ferri, A., Scaglioni, G., Pousson, M., Capodaglio, P., Van Hoecke, J., et Narici, M.V. 2003. Strength and power changes of the human plantar flexors and knee extensors in response to resistance training in old age. *Acta Physiol. Scand.* **177** : 69–78. doi:10.1046/j.1365-201X.2003.01050.x. PMID:12492780.
- Ferrucci, L., Izmirlian, G., Leveille, S., Phillips, C.L., Corti, M.C., Brock, D.B., et Guralnik, J.M. 1999. Smoking, physical activity, and active life expectancy. *Am. J. Epidemiol.* **149** : 645–653. PMID:10192312.
- Fitzgerald, M.D., Tanaka, H., Tran, Z.V., et Seals, D.R. 1997. Age-related declines in maximal aerobic capacity in regularly exercising vs. sedentary women: a meta-analysis. *J. Appl. Physiol.* **83** : 160–165. PMID:9216959.
- Fleg, J.L., Morrell, C.H., Bos, A.G., Brant, L.J., Talbot, L.A., Wright, J.G., et Lakatta, E.G. 2005. Accelerated longitudinal decline of aerobic capacity in healthy older adults. *Circulation*, **112** : 674–682. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.105.545459. PMID:16043637.
- Foldvari, M., Clark, M., Laviolette, L.C., Bernstein, M.A., Kaliton, D., Castaneda, C., et al. 2000. Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **55** : M192–M199. PMID:10811148.
- Folsom, A.R., Arnett, D.K., Hutchinson, R.G., Liao, F., Clegg, L.X., et Cooper, L.S. 1997. Physical activity and incidence of coronary heart disease in middle-aged women and men. *Med. Sci. Sports Exerc.* **29** : 901–909. PMID:9243489.
- Foster, V.L., Hume, G.J., Byrnes, W.C., Dickinson, A.L., et Chatfield, S.J. 1989. Endurance training for elderly women: moderate vs. low intensity. *J. Gerontol.* **44** : M184–M188. PMID:2809105.
- Frank, J.S., et Patla, A.E. 2003. Balance and mobility challenges in older adults: implications for preserving community mobility. *Am. J. Prev. Med.* **25**(Suppl. 2) : 157–163. doi:10.1016/S0749-3797(03)00179-X. PMID:14552940.

- Fried, L.P., Ferrucci, L., Darer, J., Williamson, J.D., et Anderson, G. 2004. Untangling the concepts of disability, frailty, and comorbidity: implications for improved targeting and care. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **59** : 255–263. PMID:15031310.
- Fries, J.F. 1980. Aging, natural death, and the compression of morbidity. *N. Engl. J. Med.* **303** : 130–135. PMID:7383070.
- Frontera, W.R., Meredith, C.N., O'Reilly, K.P., et Evans, W.J. 1990. Strength training and determinants of $\dot{V}O_{2\max}$ in older men. *J. Appl. Physiol.* **68** : 329–333. PMID:2312474.
- Fujita, Y., Nakamura, Y., Hiraoka, J., Kobayashi, K., Sakata, K., Nagai, M., et Yanagawa, H. 1995. Physical-strength tests and mortality among visitors to health-promotion centers in Japan. *J. Clin. Epidemiol.* **48** : 1349–1359. doi:10.1016/0895-4356(95)00533-1. PMID:7490598.
- Fulle, S., Belia, S., et Di Tano, G. 2005. Sarcopenia is more than a muscular deficit. *Arch. Ital. Biol.* **143** : 229–234. PMID:16097500.
- Gajdosik, R.L., Vander Linden, D.W., McNair, P.J., Williams, A.K., et Riggan, T.J. 2005. Effects of an eight-week stretching program on the passive-elastic properties and function of the calf muscles of older women. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)*, **20** : 973–983. doi:10.1016/j.clinbiomech.2005.05.011. PMID:16054737.
- Galganski, M.E., Fuglevand, A.J., et Enoka, R.M. 1993. Reduced control of motor output in a human hand muscle of elderly subjects during submaximal contractions. *J. Neurophysiol.* **69** : 2108–2115. PMID:8350134.
- Gardner, M.M., Robertson, M.C., et Campbell, A.J. 2000. Exercise in preventing falls and fall related injuries in older people: a review of randomised controlled trials. *Br. J. Sports Med.* **34** : 7–17. doi:10.1136/bjism.34.1.7. PMID:10690444.
- Gass, G., Gass, E., Wicks, J., Browning, J., Bennett, G., et Morris, N. 2004. Rate and amplitude of adaptation to two intensities of exercise in men aged 65–75 yr. *Med. Sci. Sports Exerc.* **36** : 1811–1818. doi:10.1249/01.MSS.0000142405.51319.FB. PMID:15595305.
- Gerson, L.W., et Stevens, J.A. 2004. Recreational injuries among older Americans 2001. *Inj. Prev.* **10** : 134–138. doi:10.1136/ip.2004.005256. PMID:15178667.
- Gill, T.M., Gahbauer, E.A., Allore, H.G., et Han, L. 2006. Transitions between frailty states among community-living older persons. *Arch. Intern. Med.* **166** : 418–423. doi:10.1001/418. PMID:16505261.
- Gillespie, L.D., Gillespie, W.J., Robertson, M.C., Lamb, S.E., Cumming, R.G., et Rowe, B.H. 2003. Interventions for preventing falls in elderly people. *Cochrane Database Syst. Rev.* (4) : CD000340. doi:10.1002/14651858.CD000340. PMID:14583918.
- Goldspink, G., et Harridge, S.D. 2004. Growth factors and muscle ageing. *Exp. Gerontol.* **39** : 1433–1438. doi:10.1016/j.exger.2004.08.010. PMID:15501012.
- Govindasamy, D., Paterson, D.H., Poulin, M.J., et Cunningham, D.A. 1992. Cardiorespiratory adaptation with short term training in older men. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **65** : 203–208. doi:10.1007/BF00705082. PMID:1396647.
- Grabiner, M.D., et Enoka, R.M. 1995. Changes in movement capabilities with aging. *Exerc. Sport Sci. Rev.* **23** : 65–104. doi:10.1249/00003677-199500230-00005. PMID:7556361.
- Guralnik, J.M., Simonsick, E.M., Ferrucci, L., Glynn, R.J., Berkman, L.F., Blazer, D.G., et al. 1994. A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J. Gerontol.* **49** : M85–M94. PMID:8126356.
- Guralnik, J.M., Ferrucci, L., Simonsick, E.M., Salive, M.E., et Wallace, R.B. 1995. Lower-extremity function in persons over the age of 70 years as a predictor of subsequent disability. *N. Engl. J. Med.* **332** : 556–561. doi:10.1056/NEJM199503023320902. PMID:7838189.
- Guralnik, J.M., Ferrucci, L., Pieper, C.F., Leveille, S.G., Markides, K.S., Ostir, G.V., et al. 2000. Lower extremity function and subsequent disability: consistency across studies, predictive models, and value of gait speed alone compared with the short physical performance battery. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **55** : M221–M231. PMID:10811152.
- Hagerman, F.C., Walsh, S.J., Staron, R.S., Hikida, R.S., Gilders, R.M., Murray, T.F., et al. 2000. Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I. Strength, cardiovascular, and metabolic responses. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **55** : B336–B346. PMID:10898247.
- Hakim, A.A., Petrovitch, H., Burchfiel, C.M., Ross, G.W., Rodriguez, B.L., White, L.R., et al. 1998. Effects of walking on mortality among nonsmoking retired men. *N. Engl. J. Med.* **338** : 94–99. doi:10.1056/NEJM199801083380204. PMID:9420340.
- Hardman, A.E. 2001. Issues of fractionization of exercise (short vs. long bouts). *Med. Sci. Sports Exerc.* **33**(Suppl. 6) : S421–S427. doi:10.1097/00005768-200106001-00010. PMID:11427766.
- Harris, C., DeBeliso, M.A., Spitzer-Gibson, T.A., et Adams, K.J. 2004. The effect of resistance-training intensity on strength-gain response in the older adult. *J. Strength Cond. Res.* **18** : 833–838. doi:10.1519/14758.1. PMID:15574091.
- Haykowsky, M., McGavock, J., Vonder Muhll, I., Koller, M., Mandic, S., Welsh, R., et Taylor, D. 2005. Effect of exercise training on peak aerobic power, left ventricular morphology, and muscle strength in healthy older women. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **60** : 307–311. PMID:15860465.
- Hebert, R., Brayne, C., et Spiegelhalter, D. 1997. Incidence of functional decline and improvement in a community-dwelling, very elderly population. *Am. J. Epidemiol.* **145** : 935–944. PMID:9149665.
- Hein, H.O., Suadicani, P., et Gyntelberg, F. 1992. Physical fitness or physical activity as a predictor of ischaemic heart disease? A 17-year follow-up in the Copenhagen Male Study. *J. Intern. Med.* **232** : 471–479. PMID:1474346.
- Henwood, T.R., et Taaffe, D.R. 2005. Improved physical performance in older adults undertaking a short-term programme of high-velocity resistance training. *Gerontology*, **51** : 108–115. doi:10.1159/000082195. PMID:15711077.
- Hepple, R.T. 2003. Sarcopenia – a critical perspective. *Sci. Aging Knowledge Environ.* **2003**(46) : pe31. PMID:14627844.
- Hepple, R.T., Mackinnon, S.L., Goodman, J.M., Thomas, S.G., et Plyley, M.J. 1997a. Resistance and aerobic training in older men: effects on $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ and the capillary supply to skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* **82** : 1305–1310. doi:10.1063/1.365903. PMID:9104869.
- Hepple, R.T., Mackinnon, S.L., Thomas, S.G., Goodman, J.M., et Plyley, M.J. 1997b. Quantitating the capillary supply and the response to resistance training in older men. *Pflugers Arch.* **433** : 238–244. doi:10.1007/s004240050273. PMID:9064638.
- Hepple, R.T., Ross, K.D., et Rempfer, A.B. 2004. Fiber atrophy and hypertrophy in skeletal muscles of late middle-aged Fischer 344 Brown Norway F1-hybrid rats. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **59** : 108–117. PMID:14999023.
- Herbert, R.D., et Gandevia, S.C. 1999. Twitch interpolation in human muscles: mechanisms and implications for measurement of voluntary activation. *J. Neurophysiol.* **82** : 2271–2283. PMID:10561405.
- Hirvensalo, M., Rantanen, T., et Heikkinen, E. 2000. Mobility difficulties and physical activity as predictors of mortality and loss

- of independence in the community-living older population. *J. Am. Geriatr. Soc.* **48** : 493–498. PMID:10811541.
- Hollenberg, M., Yang, J., Haight, T.J., et Tager, I.B. 2006. Longitudinal changes in aerobic capacity: implications for concepts of aging. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **61** : 851–858. PMID:16912104.
- Hootman, J.M., Macera, C.A., Ainsworth, B.E., Addy, C.L., Martin, M., et Blair, S.N. 2002. Epidemiology of musculoskeletal injuries among sedentary and physically active adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34** : 838–844. doi:10.1097/00005768-200205001-00875. PMID:11984303.
- Horak, F.B., Henry, S.M., et Shumway-Cook, A. 1997. Postural perturbations: new insights for treatment of balance disorders. *Phys. Ther.* **77** : 517–533. PMID:9149762.
- Hortobagyi, T., et DeVita, P. 2000. Favorable neuromuscular and cardiovascular responses to 7 days of exercise with an eccentric overload in elderly women. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **55** : B401–B410. PMID:10952362.
- Huang, Y., Macera, C.A., Blair, S.N., Brill, P.A., Kohl, H.W., 3rd, et Kronenfeld, J.J. 1998. Physical fitness, physical activity, and functional limitation in adults aged 40 and older. *Med. Sci. Sports Exerc.* **30** : 1430–1435. doi:10.1097/00005768-199809000-00013. PMID:9741613.
- Hunter, G.R., McCarthy, J.P., et Bamman, M.M. 2004. Effects of resistance training on older adults. *Sports Med.* **34** : 329–348. doi:10.2165/00007256-200434050-00005. PMID:15107011.
- Hunter, G.R., Treuth, M.S., Weinsier, R.L., Kekes-Szabo, T., Kell, S.H., Roth, D.L., et Nicholson, C. 1995. The effects of strength conditioning on older women's ability to perform daily tasks. *J. Am. Geriatr. Soc.* **43** : 756–760. PMID:7602026.
- Hurley, B.F., et Hagberg, J.M. 1998. Optimizing health in older persons: aerobic or strength training? *Exerc. Sport Sci. Rev.* **26** : 61–89. doi:10.1249/00003677-199800260-00005. PMID:9696985.
- Hurley, B.F., et Roth, S.M. 2000. Strength training in the elderly: effects on risk factors for age-related diseases. *Sports Med.* **30** : 249–268. doi:10.2165/00007256-200030040-00002. PMID:11048773.
- Jakobi, J.M., et Rice, C.L. 2002. Voluntary muscle activation varies with age and muscle group. *J. Appl. Physiol.* **93** : 457–462. PMID:12133850.
- Jakobi, J.M., Connelly, D.M., et Roos, M.R. 1999. Age-related changes of neuromuscular properties in three human limb muscles. *Dans Proceedings from Activity for Older Adults: From Research to Action ALCOA National Forum on Older Adults and Active Living*, London, Ont., 13–16 mai 1999. *Sous la direction de* A.W. Taylor, N.A. Ecclestone, G.R. Jones et D.H. Paterson. Canadian Centre for Activity and Aging, London, Ont. p. 111–121.
- Janssen, I., et Ross, R. 2005. Linking age-related changes in skeletal muscle mass and composition with metabolism and disease. *J. Nutr. Health Aging.* **9** : 408–419. PMID:16395513.
- Janssen, I., Katzmarzyk, P.T., et Ross, R. 2005. Body mass index is inversely related to mortality in older people after adjustment for waist circumference. *J. Am. Geriatr. Soc.* **53** : 2112–2118. doi:10.1111/j.1532-5415.2005.00505.x. PMID:16398895.
- Jiang, X., Cooper, J., Porter, M.M., et Ready, A.E. 2004. Adoption of Canada's physical activity guide and handbook for older adults: impact on functional fitness and energy expenditure. *Can. J. Appl. Physiol.* **29** : 395–410. PMID:15317981.
- Jones, C.S., et Turner, L.W. 2005. Non-equipment exercise-related injuries among US women 65 and older: emergency department visits from 1994–2001. *J. Women Aging.* **17** : 71–81. doi:10.1300/J074v17n01_06. PMID:15914420.
- Jozsi, A.C., Dupont-Versteegden, E.E., Taylor-Jones, J.M., Evans, W.J., Trappe, T.A., Campbell, W.W., et Peterson, C.A. 2000. Aged human muscle demonstrates an altered gene expression profile consistent with an impaired response to exercise. *Mech. Ageing Dev.* **120** : 45–56. doi:10.1016/S0047-6374(00)00178-0. PMID:11087903.
- Kadhiresan, V.A., Hassett, C.A., et Faulkner, J.A. 1996. Properties of single motor units in medial gastrocnemius muscles of adult and old rats. *J. Physiol.* **493** : 543–552. PMID:8782115.
- Kalapotharakos, V.I., Michalopoulos, M., Tokmakidis, S.P., Godolias, G., et Gourgoulis, V. 2005. Effects of a heavy and a moderate resistance training on functional performance in older adults. *J. Strength Cond. Res.* **19** : 652–657. doi:10.1519/15284.1. PMID:16095421.
- Kasprisin, J.E., et Grabiner, M.D. 2000. Joint angle-dependence of elbow flexor activation levels during isometric and isokinetic maximum voluntary contractions. *Clin. Biomech. (Bristol, Avon)*, **15** : 743–749. doi:10.1016/S0268-0033(00)00036-X. PMID:11050356.
- Katzmarzyk, P.T., et Craig, C.L. 2002. Musculoskeletal fitness and risk of mortality. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34** : 740–744. doi:10.1097/00005768-200205001-01269. PMID:11984288.
- Kesaniemi, Y.K., Danforth, E., Jr., Jensen, M.D., Kopelman, P.G., Lefebvre, P., et Reeder, B.A. 2001. Dose-response issues concerning physical activity and health: an evidence-based symposium. *Med. Sci. Sports Exerc.* **33**(6 Suppl.) : S351–S358. doi:10.1097/00005768-200106001-00003. PMID:11427759.
- King, A.C., Rejeski, W.J., et Buchner, D.M. 1998. Physical activity interventions targeting older adults. A critical review and recommendations. *Am. J. Prev. Med.* **15** : 316–333. doi:10.1016/S0749-3797(98)00085-3. PMID:9838975.
- Klein, C.S., Marsh, G.D., Petrella, R.J., et Rice, C.L. 2003. Muscle fiber number in the biceps brachii muscle of young and old men. *Muscle Nerve*, **28** : 62–68. doi:10.1002/mus.10386. PMID:12811774.
- Kohl, H.W., 3rd. 2001. Physical activity and cardiovascular disease: evidence for a dose response. *Med. Sci. Sports Exerc.* **33**(6 Suppl.) : S472–S483. doi:10.1097/00005768-200105001-01015. PMID:11427773.
- Kohrt, W.M., Malley, M.T., Coggan, A.R., Spina, R.J., Ogawa, T., Ehsani, A.A., et al. 1991. Effects of gender, age, and fitness level on response of $\dot{V}O_2$ max to training in 60–71 yr olds. *J. Appl. Physiol.* **71** : 2004–2011. PMID:1761503.
- Kraemer, W.J., Adams, K., Cafarelli, E., Dudley, G.A., Dooly, C., Feigenbaum, M.S., et al. 2002. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34** : 364–380. doi:10.1097/00005768-200205001-00389. PMID:11828249.
- Lakka, T.A., Venalainen, J.M., Rauramaa, R., Salonen, R., Tuomilehto, J., et Salonen, J.T. 1994. Relation of leisure-time physical activity and cardiorespiratory fitness to the risk of acute myocardial infarction. *N. Engl. J. Med.* **330** : 1549–1554. doi:10.1056/NEJM199406023302201. PMID:8177243.
- Lancet. 1986. Physical activity in old age. *Lancet*, **2** : 1431. PMID:2878281.
- LaStayo, P.C., Ewy, G.A., Pierotti, D.D., Johns, R.K., et Lindstedt, S. 2003. The positive effects of negative work: increased muscle strength and decreased fall risk in a frail elderly population. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **58** : M419–M424. PMID:12730250.
- Latham, N.K., Bennett, D.A., Stretton, C.M., et Anderson, C.S. 2004. Systematic review of progressive resistance strength train-

- ing in older adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **59** : 48–61. PMID:14718486.
- Lawrenson, L., Hoff, J., et Richardson, R.S. 2004. Aging attenuates vascular and metabolic plasticity but does not limit improvement in muscle VO_2 max. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* **286** : H1565–H1572. doi:10.1152/ajpheart.01070.2003. PMID:14684375.
- Lee, I.M., et Paffenbarger, R.S., Jr. 2000. Associations of light, moderate, and vigorous intensity physical activity with longevity. The Harvard Alumni Health Study. *Am. J. Epidemiol.* **151** : 293–299. PMID:10670554.
- Lee, I.M., et Skerrett, P.J. 2001. Physical activity and all-cause mortality: what is the dose-response relation? *Med. Sci. Sports Exerc.* **33**(6 Suppl.) : S459–S471. doi:10.1097/00005768-200106001-00016. PMID:11427772.
- Lee, I.M., Hsieh, C.C., et Paffenbarger, R.S., Jr. 1995. Exercise intensity and longevity in men. The Harvard Alumni Health Study. *JAMA*, **273** : 1179–1184. doi:10.1001/jama.273.15.1179. PMID:7707624.
- Leon, A.S., Connett, J., Jacobs, D.R., Jr., et Rauramaa, R. 1987. Leisure-time physical activity levels and risk of coronary heart disease and death. The Multiple Risk Factor Intervention Trial. *JAMA*, **258** : 2388–2395. doi:10.1001/jama.258.17.2388. PMID:3669210.
- Leveille, S.G., Guralnik, J.M., Ferrucci, L., et Langlois, J.A. 1999. Aging successfully until death in old age: opportunities for increasing active life expectancy. *Am. J. Epidemiol.* **149** : 654–664. PMID:10192313.
- Levy, W.C., Cerqueira, M.D., Abrass, I.B., Schwartz, R.S., et Stratton, J.R. 1993. Endurance exercise training augments diastolic filling at rest and during exercise in healthy young and older men. *Circulation*, **88** : 116–126. PMID:8319324.
- Li, F., Harmer, P., Fisher, K.J., McAuley, E., Chaumeton, N., Eckstrom, E., et Wilson, N.L. 2005. Tai Chi and fall reductions in older adults: a randomized controlled trial. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **60** : 187–194. PMID:15814861.
- Lie, H., Mundal, R., et Erikssen, J. 1985. Coronary risk factors and incidence of coronary death in relation to physical fitness. Seven-year follow-up study of middle-aged and elderly men. *Eur. Heart J.* **6** : 147–157. PMID:4006967.
- Liebman, J.L., et Cafarelli, E. 1994. Physiology of range of motion in human joints: A critical review. *Crit. Rev. Phys. Rehabil. Med.* **6** : 131–160.
- Lindle, R.S., Metter, E.J., Lynch, N.A., Fleg, J.L., Fozard, J.L., Tobin, J., et al. 1997. Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20–93 yr. *J. Appl. Physiol.* **83** : 1581–1587. PMID:9375323.
- Lord, S.R., et Ward, J.A. 1994. Age-associated differences in sensori-motor function and balance in community dwelling women. *Age Ageing*, **23** : 452–460. doi:10.1093/ageing/23.6.452. PMID:9231937.
- Macaluso, A., et De Vito, G. 2004. Muscle strength, power and adaptations to resistance training in older people. *Eur. J. Appl. Physiol.* **91** : 450–472. doi:10.1007/s00421-003-0991-3. PMID:14639481.
- Maki, B.E., et McIlroy, W.E. 2006. Control of rapid limb movements for balance recovery: age-related changes and implications for fall prevention. *Age Ageing*, **35**(Suppl. 2) : ii12–ii18. doi:10.1093/ageing/af1078. PMID:16926197.
- Makrides, L., Heigenhauser, G.J., et Jones, N.L. 1990. High-intensity endurance training in 20- to 30- and 60- to 70-yr-old healthy men. *J. Appl. Physiol.* **69** : 1792–1798. PMID:2272973.
- Malbut-Shennan, K., et Young, A. 1999. The physiology of physical performance and training in old age. *Coron. Artery Dis.* **10** : 37–42. doi:10.1097/00019501-199901000-00007. PMID:10196686.
- Malbut, K.E., Dinan, S., et Young, A. 2002. Aerobic training in the 'oldest old': the effect of 24 weeks of training. *Age Ageing*, **31** : 255–260. doi:10.1093/ageing/31.4.255. PMID:12147562.
- Manini, T.M., Everhart, J.E., Patel, K.V., Schoeller, D.A., Colbert, L.H., Visser, M., et al. 2006. Daily activity energy expenditure and mortality among older adults. *JAMA*, **296** : 171–179. doi:10.1001/jama.296.2.171. PMID:16835422.
- Manson, J.E., Greenland, P., LaCroix, A.Z., Stefanick, M.L., Mouton, C.P., Oberman, A., et al. 2002. Walking compared with vigorous exercise for the prevention of cardiovascular events in women. *N. Engl. J. Med.* **347** : 716–725. doi:10.1056/NEJMoa021067. PMID:12213942.
- Marcell, T.J. 2003. Sarcopenia: causes, consequences, and preventions. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **58** : M911–M916. PMID:14570858.
- Martin Ginis, K.A., Latimer, A.E., Brawley, L.R., Jung, M.E., et Hicks, A.L. 2006. Weight training to activities of daily living: helping older adults make a connection. *Med. Sci. Sports Exerc.* **38** : 116–121. doi:10.1249/01.mss.0000183200.64996.ef. PMID:16394963.
- Mazzeo, R.S., et Tanaka, H. 2001. Exercise prescription for the elderly: current recommendations. *Sports Med.* **31** : 809–818. doi:10.2165/00007256-200131110-00003. PMID:11583105.
- Mazzeo, R.S., Cavanagh, P., Evans, W.J., Fiatarone Singh, M.A., Hagberg, J.M., McAuley, E., et Startzell, J. 1998. American College of Sports Medicine Position Stand. Exercise and physical activity for older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* **30** : 992–1008. doi:10.1097/00005768-199806000-00033. PMID:9624662.
- McBride, T. 2000. Increased depolarization, prolonged recovery and reduced adaptation of the resting membrane potential in aged rat skeletal muscles following eccentric contractions. *Mech. Ageing Dev.* **115** : 127–138. doi:10.1016/S0047-6374(00)00111-1. PMID:10906508.
- McNeil, C.J., Doherty, T.J., Stashuk, D.W., et Rice, C.L. 2005. Motor unit number estimates in the tibialis anterior muscle of young, old, and very old men. *Muscle Nerve*, **31** : 461–467. doi:10.1002/mus.20276. PMID:15685623.
- Meijer, E.P., Westerterp, K.R., et Verstappen, F.T. 1999. Effect of exercise training on total daily physical activity in elderly humans. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **80** : 16–21. doi:10.1007/s004210050552. PMID:10367718.
- Meredith, C.N., Frontera, W.R., Fisher, E.C., Hughes, V.A., Herland, J.C., Edwards, J., et Evans, W.J. 1989. Peripheral effects of endurance training in young and old subjects. *J. Appl. Physiol.* **66** : 2844–2849. PMID:2745349.
- Meuleman, J.R., Brechue, W.F., Kubilis, P.S., et Lowenthal, D.T. 2000. Exercise training in the debilitated aged: strength and functional outcomes. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **81** : 312–318. PMID:10724076.
- Miller, M.E., Rejeski, W.J., Reboussin, B.A., Ten Have, T.R., et Ettinger, W.H. 2000. Physical activity, functional limitations, and disability in older adults. *J. Am. Geriatr. Soc.* **48** : 1264–1272. PMID:11037014.
- Ministre d'État à la Condition physique et au Sport amateur. 1986. Canadian standardized test of fitness. Minister of State, Fitness and Amateur Sport, Ottawa, Ont.
- Mishra, S.K., et Misra, V. 2003. Muscle sarcopenia: an overview. *Acta Myol.* **22** : 43–47. PMID:14959562.
- Mizsko, T.A., Cress, M.E., Slade, J.M., Covey, C.J., Agrawal, S.K., et Doerr, C.E. 2003. Effect of strength and power training on physical function in community-dwelling older adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **58** : 171–175. PMID:12586856.

- Mor, V., Murphy, J., Masterson-Allen, S., Willey, C., Razmpour, A., Jackson, M.E., et al. 1989. Risk of functional decline among well elders. *J. Clin. Epidemiol.* **42** : 895–904. doi:10.1016/0895-4356(89)90103-0. PMID:2778468.
- Morey, M.C., Pieper, C.F., et Cornoni-Huntley, J. 1998. Physical fitness and functional limitations in community-dwelling older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* **30** : 715–723. doi:10.1097/00005768-199805000-00012. PMID:9588614.
- Morley, J.E. 2003. Editorial: sarcopenia revisited. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **58** : M909–M910.
- Morris, J.N., Chave, S.P., Adam, C., Sirey, C., Epstein, L., et Sheehan, D.J. 1973. Vigorous exercise in leisure-time and the incidence of coronary heart-disease. *Lancet*, **1** : 333–339. doi:10.1016/S0140-6736(73)90128-1. PMID:4121934.
- Morris, J.N., Everitt, M.G., Pollard, R., Chave, S.P., et Semmence, A.M. 1980. Vigorous exercise in leisure-time: protection against coronary heart disease. *Lancet*, **2** : 1207–1210. doi:10.1016/S0140-6736(80)92476-9. PMID:6108391.
- Morris, J.N., Clayton, D.G., Everitt, M.G., Semmence, A.M., et Burgess, E.H. 1990. Exercise in leisure time: coronary attack and death rates. *Br. Heart J.* **63** : 325–334. doi:10.1136/hrt.63.6.325. PMID:2375892.
- Morris, N., Gass, G., Thompson, M., Bennett, G., Basic, D., et Morton, H. 2002. Rate and amplitude of adaptation to intermittent and continuous exercise in older men. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34** : 471–477. doi:10.1097/00005768-200203000-00014. PMID:11880812.
- Morse, C.I., Thom, J.M., Reeves, N.D., Birch, K.M., et Narici, M.V. 2005. In vivo physiological cross-sectional area and specific force are reduced in the gastrocnemius of elderly men. *J. Appl. Physiol.* **99** : 1050–1055. doi:10.1152/jappphysiol.01186.2004. PMID:15905324.
- Morse, C.I., Thom, J.M., Mian, O.S., Birch, K.M., et Narici, M.V. 2007. Gastrocnemius specific force is increased in elderly males following a 12-month physical training programme. *Eur. J. Appl. Physiol.* **100** : 563–570. doi:10.1007/s00421-006-0246-1. PMID:16858613.
- Muhlberg, W., et Sieber, C. 2004. Sarcopenia and frailty in geriatric patients: implications for training and prevention. *Z. Gerontol. Geriatr.* **37** : 2–8. doi:10.1007/s00391-004-0203-8. PMID:14991289.
- Myers, J., Prakash, M., Froelicher, V., Do, D., Partington, S., et Atwood, J.E. 2002. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N. Engl. J. Med.* **346** : 793–801. doi:10.1056/NEJMoa011858. PMID:11893790.
- Myers, J., Kaykha, A., George, S., Abella, J., Zaheer, N., Lear, S., et al. 2004. Fitness versus physical activity patterns in predicting mortality in men. *Am. J. Med.* **117** : 912–918. doi:10.1016/j.amjmed.2004.06.047. PMID:15629729.
- NACA. 2006. Seniors in Canada 2006 Report Card (Cat. N^{bre} HP30–1/2006E). National Advisory Council on Aging (NACA), Ottawa, Ont.
- Narici, M.V., Bordini, M., et Cerretelli, P. 1991. Effect of aging on human adductor pollicis muscle function. *J. Appl. Physiol.* **71** : 1277–1281. PMID:1757349.
- Narici, M.V., Maganaris, C.N., Reeves, N.D., et Capodaglio, P. 2003. Effect of aging on human muscle architecture. *J. Appl. Physiol.* **95** : 2229–2234. PMID:12844499.
- Newman, A.B., Simonsick, E.M., Naydeck, B.L., Boudreau, R.M., Kritchevsky, S.B., Nevitt, M.C., et al. 2006. Association of long-distance corridor walk performance with mortality, cardiovascular disease, mobility limitation, and disability. *JAMA*, **295** : 2018–2026. doi:10.1001/jama.295.17.2018. PMID:16670410.
- Nikolic, M., Bajek, S., Bobinac, D., Vranic, T.S., et Jerkovic, R. 2005. Aging of human skeletal muscles. *Coll. Antropol.* **29** : 67–70. PMID:16117301.
- Oguma, Y., et Shinoda-Tagawa, T. 2004. Physical activity decreases cardiovascular disease risk in women: review and meta-analysis. *Am. J. Prev. Med.* **26** : 407–418. doi:10.1016/j.amepre.2004.02.007. PMID:15165657.
- Oguma, Y., Sesso, H.D., Paffenbarger, R.S., Jr., et Lee, I.M. 2002. Physical activity and all cause mortality in women: a review of the evidence. *Br. J. Sports Med.* **36** : 162–172. doi:10.1136/bjbm.36.3.162. PMID:12055109.
- OMS. 1996. Heidelberg guidelines for physical activity and aging [en ligne]. Disponible à <http://www.who.int/ageing/publications/active/en/> [cité le 16 février 2007].
- Paffenbarger, R.S., Jr., Wing, A.L., et Hyde, R.T. 1978. Physical activity as an index of heart attack risk in college alumni. *Am. J. Epidemiol.* **108** : 161–175. PMID:707484.
- Paffenbarger, R.S., Jr., Hyde, R.T., Wing, A.L., et Hsieh, C.C. 1986. Physical activity, all-cause mortality, and longevity of college alumni. *N. Engl. J. Med.* **314** : 605–613. PMID:3945246.
- Paffenbarger, R.S., Jr., Hyde, R.T., Wing, A.L., Lee, I.M., Jung, D.L., et Kampert, J.B. 1993. The association of changes in physical-activity level and other lifestyle characteristics with mortality among men. *N. Engl. J. Med.* **328** : 538–545. doi:10.1056/NEJM199302253280804. PMID:8426621.
- Paffenbarger, R.S., Jr., Kampert, J.B., Lee, I.M., Hyde, R.T., Leung, R.W., et Wing, A.L. 1994. Changes in physical activity and other lifeway patterns influencing longevity. *Med. Sci. Sports Exerc.* **26** : 857–865. PMID:7934759.
- Pahor, M., Blair, S.N., Espeland, M., Fielding, R., Gill, T.M., Guralnik, J.M., et al. 2006. Effects of a physical activity intervention on measures of physical performance: results of the Lifestyle Interventions and Independence for Elders Pilot (LIFE-P) Study. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **61** : 1157–1165. PMID:17167156.
- Pate, R.R., Pratt, M., Blair, S.N., Haskell, W.L., Macera, C.A., Bouchard, C., et al. 1995. Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA*, **273** : 402–407. doi:10.1001/jama.273.5.402. PMID:7823386.
- Paterson, D.H. 1999. Fit to be active: importance of aerobic function for healthy aging. *Dans Proceedings from Activity for Older Adults: From Research to Action ALCOA National Forum on Older Adults and Active Living*, London, Ont., 13–16 mai 1999. *Sous la direction de A.W. Taylor, N.A. Ecclestone, G.R. Jones et D.H. Paterson*. Canadian Centre for Activity and Aging, London, Ont. p. 44–54.
- Paterson, D.H., Cunningham, D.A., Koval, J.J., et St. Croix, C.M. 1999. Aerobic fitness in a population of independently living men and women aged 55–86 years. *Med. Sci. Sports Exerc.* **31** : 1813–1820. doi:10.1097/00005768-199912000-00018. PMID:10613433.
- Paterson, D.H., Govindasamy, D., Vidmar, M., Cunningham, D.A., et Koval, J.J. 2004. Longitudinal study of determinants of dependence in an elderly population. *J. Am. Geriatr. Soc.* **52** : 1632–1638. doi:10.1111/j.1532-5415.2004.52454.x. PMID: 15450038.
- Patla, A.E., et Shumway-Cook, A. 1999. Dimensions of mobility: defining the complexity and difficulty associated with community mobility. *J. Aging Phys. Activ.* **7** : 7–19.
- Pedersen, B.K., et Saltin, B. 2006. Evidence for prescribing exercise as therapy in chronic disease. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, **16**(Suppl. 1) : 3–63. doi:10.1111/j.1600-0838.2006.00520.x. PMID:16451303.
- Penninx, B.W., Ferrucci, L., Leveille, S.G., Rantanen, T., Pahor,

- M., et Guralnik, J.M. 2000. Lower extremity performance in nondisabled older persons as a predictor of subsequent hospitalization. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **55** : M691–M697. PMID:11078100.
- Perini, R., Fisher, N., Veicsteinas, A., et Pendergast, D.R. 2002. Aerobic training and cardiovascular responses at rest and during exercise in older men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34** : 700–708. doi:10.1097/00005768-200204000-00022. PMID:11932582.
- Pogliaghi, S., Terziotti, P., Cevese, A., Balestreri, F., et Schena, F. 2006. Adaptations to endurance training in the healthy elderly: arm cranking versus leg cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* **97** : 723–731. doi:10.1007/s00421-006-0229-2. PMID:16799819.
- Polkey, M.I., Harris, M.L., Hughes, P.D., Hamnegard, C.H., Lyons, D., Green, M., et Moxham, J. 1997. The contractile properties of the elderly human diaphragm. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* **155** : 1560–1564. PMID:9154857.
- Pope, R.P., Herbert, R.D., Kirwan, J.D., et Graham, B.J. 2000. A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Med. Sci. Sports Exerc.* **32** : 271–277. doi:10.1097/00005768-200002000-00004. PMID:10694106.
- Porter, M.M. 2001. The effects of strength training on sarcopenia. *Can. J. Appl. Physiol.* **26** : 123–141. PMID:11173673.
- Porter, M.M. 2006. Power training for older adults. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **31** : 87–94. doi:10.1139/h05-034. PMID:16604125.
- Posner, J.D., Gorman, K.M., Windsor-Landsberg, L., Larsen, J., Bleiman, M., Shaw, C., et al. 1992. Low to moderate intensity endurance training in healthy older adults: physiological responses after four months. *J. Am. Geriatr. Soc.* **40** : 1–7. PMID:1727835.
- Posner, J.D., McCully, K.K., Landsberg, L.A., Sands, L.P., Ty-censki, P., Hofmann, M.T., et al. 1995. Physical determinants of independence in mature women. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **76** : 373–380. doi:10.1016/S0003-9993(95)80664-4. PMID:7717839.
- Poulin, M.J., Paterson, D.H., Govindasamy, D., et Cunningham, D.A. 1992. Endurance training of older men: responses to sub-maximal exercise. *J. Appl. Physiol.* **73** : 452–457. PMID:1399965.
- Radford, J.A., Burns, J., Buchbinder, R., Landorf, K.B., et Cook, C. 2006. Does stretching increase ankle dorsiflexion range of motion? A systematic review. *Br. J. Sports Med.* **40** : 870–875. [Discussion 875.] doi:10.1136/bjism.2006.029348. PMID:16926259.
- Rantanen, T., Guralnik, J.M., Foley, D., Masaki, K., Leveille, S., Curb, J.D., et White, L. 1999. Midlife hand grip strength as a predictor of old age disability. *JAMA*, **281** : 558–560. doi:10.1001/jama.281.6.558. PMID:10022113.
- Rauch, S.D., Velazquez-Villasenor, L., Dimitri, P.S., et Merchant, S.N. 2001. Decreasing hair cell counts in aging humans. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **942** : 220–227. PMID:11710464.
- Ready, A.E., Bergeron, G., Boreskie, S.L., Naimark, B., Ducus, J., Sawatzky, J.V., et Drinkwater, D.T. 1999. Incidence and determinants of injuries sustained by older women during a walking program. *J. Aging Phys. Act.* **7** : 91–104.
- Rejeski, W.J., et Brawley, L.R. 2006. Functional health: innovations in research on physical activity with older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* **38** : 93–99. doi:10.1249/01.mss.0000183191.65316.0a. PMID:16394959.
- Rhea, M.R., Alvar, B.A., Burkett, L.N., et Ball, S.D. 2003. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med. Sci. Sports Exerc.* **35** : 456–464. doi:10.1249/01.MSS.0000053727.63505.D4. PMID:12618576.
- Rhodes, R.E., Martin, A.D., Taunton, J.E., Rhodes, E.C., Donnelly, M., et Elliot, J. 1999. Factors associated with exercise adherence among older adults. An individual perspective. *Sports Med.* **28** : 397–411. doi:10.2165/00007256-199928060-00003. PMID:10623983.
- Rice, C.L. 2000. Muscle function at the motor unit level: consequences of aging. *Top. Geriatr. Rehabil.* **15** : 70–82.
- Rice, C.L., et Cunningham, D.A. 2001. Aging of the neuromuscular system: influences of gender and physical activity. *Dans Gender, physical activity, and aging. Sous la direction de R. J. Shephard.* CRC Press, Boca Raton, Fla. p. 121–150.
- Rice, C.L., Cunningham, D.A., Taylor, A.W., et Paterson, D.H. 1988. Comparison of the histochemical and contractile properties of human triceps surae. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **58** : 165–170. doi:10.1007/BF00636621. PMID:3203663.
- Rimmer, J.H. 2001. Resistance training in health and rehabilitation. *Dans Resistance training for persons with physical disabilities. Sous la direction de J.E. Graves et B.A. Franklin.* Human Kinetics, Champaign, Ill. p. 321–346.
- Roos, M.R., Rice, C.L., et Vandervoort, A.A. 1997. Age-related changes in motor unit function. *Muscle Nerve*, **20** : 679–690. doi:10.1002/(SICI)1097-4598(199706)20:6<679::AID-MUS4>3.0.CO;2-5. PMID:9149074.
- Roos, M.R., Rice, C.L., Connelly, D.M., et Vandervoort, A.A. 1999. Quadriceps muscle strength, contractile properties, and motor unit firing rates in young and old men. *Muscle Nerve*, **22** : 1094–1103. doi:10.1002/(SICI)1097-4598(199908)22:8<1094::AID-MUS14>3.0.CO;2-G. PMID:10417793.
- Rose, D.J. 2003. FallProof. A comprehensive balance and mobility program. Human Kinetics, Champaign, Ill.
- Rose, D.J. 2005. Balance and mobility training. *Dans Physical activity instruction of older adults. Sous la direction de C.J. Jones et D.J. Rose.* Human Kinetics, Campaign, Ill. p. 212–225.
- Roth, S.M., Martel, G.F., Ivey, F.M., Lemmer, J.T., Metter, E.J., Hurley, B.F., et Rogers, M.A. 2000. High-volume, heavy-resistance strength training and muscle damage in young and older women. *J. Appl. Physiol.* **88** : 1112–1118. PMID:10710410.
- Roubenoff, R. 2000. Sarcopenia and its implications for the elderly. *Eur. J. Clin. Nutr.* **54**(Suppl. 3) : S40–S47. PMID:11041074.
- Rubenstein, L.Z., et Josephson, K.R. 2002. The epidemiology of falls and syncope. *Clin. Geriatr. Med.* **18** : 141–158. doi:10.1016/S0749-0690(02)00002-2. PMID:12180240.
- Salem, G.J., Wang, M.Y., Young, J.T., Marion, M., et Greendale, G.A. 2000. Knee strength and lower-and higher-intensity functional performance in older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* **32** : 1679–1684. doi:10.1097/00005768-200010000-00003. PMID:11039637.
- Sandvik, L., Erikssen, J., Thaulow, E., Erikssen, G., Mundal, R., et Rodahl, K. 1993. Physical fitness as a predictor of mortality among healthy, middle-aged Norwegian men. *N. Engl. J. Med.* **328** : 533–537. doi:10.1056/NEJM199302253280803. PMID:8426620.
- Santé Canada et la Société canadienne de physiologie de l'exercice. 1999. Canada's physical activity guide to health active living for older adults. Cat. N^{bre} H39-429/1999-1E. Health Canada, Ottawa, Ont.
- Seals, D.R., Hagberg, J.M., Hurley, B.F., Ehsani, A.A., et Holloszy, J.O. 1984. Endurance training in older men and women. I. Cardiovascular responses to exercise. *J. Appl. Physiol.* **57** : 1024–1029. PMID:6501023.
- Seguin, R., et Nelson, M.E. 2003. The benefits of strength training for older adults. *Am. J. Prev. Med.* **25**(Suppl. 2) : 141–149. doi:10.1016/S0749-3797(03)00177-6. PMID:14552938.
- Seynnes, O., Fiatarone Singh, M.A., Hue, O., Pras, P., Legros, P.,

- et Bernard, P.L. 2004. Physiological and functional responses to low-moderate versus high-intensity progressive resistance training in frail elders. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **59** : 503–509. PMID:15123761.
- Shaper, A.G., et Wannamethee, G. 1991. Physical activity and ischaemic heart disease in middle-aged British men. *Br. Heart J.* **66** : 384–394. doi:10.1136/hrt.66.5.384. PMID:1747302.
- Sheldahl, L.M., Tristani, F.E., Hastings, J.E., Wenzler, R.B., et Levandoski, S.G. 1993. Comparison of adaptations and compliance to exercise training between middle-aged and older men. *J. Am. Geriatr. Soc.* **41** : 795–801. PMID:8340555.
- Shephard, R.J. 2001. Absolute versus relative intensity of physical activity in a dose-response context. *Med. Sci. Sports Exerc.* **33**(6 Suppl.) : S400–S418. doi:10.1097/00005768-200106001-00008. PMID:11427764.
- Sherrington, C., Lord, S.R., et Finch, C.F. 2004. Physical activity interventions to prevent falls among older people: update of the evidence. *J. Sci. Med. Sport*, **7**(Suppl. 1) : 43–51. doi:10.1016/S1440-2440(04)80277-9. PMID:15214601.
- Signorile, J.F., Carmel, M.P., Lai, S., et Roos, B.A. 2005. Early plateaus of power and torque gains during high-and low-speed resistance training of older women. *J. Appl. Physiol.* **98** : 1213–1220. doi:10.1152/jappphysiol.00742.2004. PMID:15772058.
- Singh, M.A. 2002. Exercise comes of age: rationale and recommendations for a geriatric exercise prescription. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **57** : M262–M282. PMID:11983720.
- Skelton, D.A., et Beyer, N. 2003. Exercise and injury prevention in older people. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, **13** : 77–85. doi:10.1034/j.1600-0838.2003.00300.x. PMID:12535321.
- Skelton, D.A., Young, A., Greig, C.A., et Malbut, K.E. 1995. Effects of resistance training on strength, power, and selected functional abilities of women aged 75 and older. *J. Am. Geriatr. Soc.* **43** : 1081–1087. PMID:7560695.
- Slentz, C.A., Houmard, J.A., et Kraus, W.E. 2007. Modest exercise prevents the progressive disease associated with physical inactivity. *Exerc. Sport Sci. Rev.* **35** : 18–23. doi:10.1249/01.jes.0000240019.07502.01. PMID:17211189.
- Smilios, I., Piliandis, T., Karamouzis, M., Parlavantzas, A., et Tokmakidis, S.P. 2007. Hormonal responses after a strength endurance resistance exercise protocol in young and elderly males. *Int. J. Sports Med.* **28** : 401–406. doi:10.1055/s-2006-924366. PMID:17024619.
- Smith, D.O., et Rosenheimer, J.L. 1984. Factors governing speed of action potential conduction and neuromuscular transmission in aged rats. *Exp. Neurol.* **83** : 358–366. PMID:6319172.
- Snow, L.M., McLoon, L.K., et Thompson, L.V. 2005. Adult and developmental myosin heavy chain isoforms in soleus muscle of aging Fischer Brown Norway rat. *Anat. Rec. A Discov. Mol. Cell. Evol. Biol.* **286** : 866–873. PMID:16086433.
- Sobolski, J., Kornitzer, M., De Backer, G., Dramaix, M., Abramowicz, M., Degre, S., et Denolin, H. 1987. Protection against ischemic heart disease in the Belgian Physical Fitness Study: physical fitness rather than physical activity? *Am. J. Epidemiol.* **125** : 601–610. PMID:3826040.
- Speechley, M., Belfry, S., Borrie, M.J., Jenkyn, K.B., Crilly, R., Gill, D.P., et al. 2005. Risk factors for falling among community-dwelling veterans and their caregivers. *Can. J. Aging*, **24** : 261–274. PMID:16421850.
- Spina, R.J., Ogawa, T., Kohrt, W.M., Martin, W.H., 3rd, Holloszy, J.O., et Ehsani, A.A. 1993a. Differences in cardiovascular adaptations to endurance exercise training between older men and women. *J. Appl. Physiol.* **75** : 849–855. PMID:8226490.
- Spina, R.J., Ogawa, T., Miller, T.R., Kohrt, W.M., et Ehsani, A.A. 1993b. Effect of exercise training on left ventricular performance in older women free of cardiopulmonary disease. *Am. J. Cardiol.* **71** : 99–104. doi:10.1016/0002-9149(93)90718-R. PMID: 8420244.
- Spina, R.J., Miller, T.R., Bogenhagen, W.H., Schechtman, K.B., et Ehsani, A.A. 1996. Gender-related differences in left ventricular filling dynamics in older subjects after endurance exercise training. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **51** : B232–B237. PMID: 8630701.
- Spina, R.J., Meyer, T.E., Peterson, L.R., Villareal, D.T., Rinder, M.R., et Ehsani, A.A. 2004. Absence of left ventricular and arterial adaptations to exercise in octogenarians. *J. Appl. Physiol.* **97** : 1654–1659. doi:10.1152/jappphysiol.01303.2003. PMID: 15475554.
- Spirduso, W.W., et Cronin, D.L. 2001. Exercise dose-response effects on quality of life and independent living in older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* **33**(6 Suppl.) : S598–S608. doi:10.1097/00005768-200106001-00028. PMID:11427784.
- Stanley, S.N., et Taylor, N.A. 1993. Isokinetic muscle mechanics in four groups of women of increasing age. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **66** : 178–184. doi:10.1007/BF01427060. PMID:8472701.
- Stathokostas, L., Jacob-Johnson, S., Petrella, R.J., et Paterson, D.H. 2004. Longitudinal changes in aerobic power in older men and women. *J. Appl. Physiol.* **97** : 781–789. doi:10.1152/jappphysiol.00447.2003. PMID:15047671.
- Statistique Canada. 2007. A portrait of seniors in Canada (Cat. N^{br} 89-519-XIE). *Sous la direction de M. Turcotte et G. Schellenberg*. Statistics Canada, Ottawa, Ont.
- Stratton, J.R., Levy, W.C., Cerqueira, M.D., Schwartz, R.S., et Abrass, I.B. 1994. Cardiovascular responses to exercise. Effects of aging and exercise training in healthy men. *Circulation*, **89** : 1648–1655. PMID:8149532.
- Strojnik, V. 1995. Muscle activation level during maximal voluntary effort. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **72** : 144–149. doi:10.1007/BF00964129. PMID:8789585.
- Suetta, C., Aagaard, P., Rosted, A., Jakobsen, A.K., Duus, B., Kjaer, M., et Magnusson, S.P. 2004. Training-induced changes in muscle CSA, muscle strength, EMG, and rate of force development in elderly subjects after long-term unilateral disuse. *J. Appl. Physiol.* **97** : 1954–1961. doi:10.1152/jappphysiol.01307.2003. PMID:15247162.
- Suetta, C., Aagaard, P., Magnusson, S.P., Andersen, L.L., Sipila, S., Rosted, A., et al. 2006. Muscle size, neural activation and rapid force characteristics in elderly men and women – effects of unilateral long-term disuse due to hip-osteoarthritis. *J. Appl. Physiol.* **102** : 942–948. doi:10.1152/jappphysiol.00067.2006. PMID:17122381.
- Sullivan, D.H., Roberson, P.K., Smith, E.S., Price, J.A., et Bopp, M.M. 2007. Effects of muscle strength training and megesterol acetate on strength, muscle mass, and function in frail older people. *J. Am. Geriatr. Soc.* **55** : 20–28. doi:10.1111/j.1532-5415.2006.01010.x. PMID:17233681.
- Suominen, H., Heikkinen, E., Liesen, H., Michel, D., et Hollmann, W. 1977. Effects of 8 weeks' endurance training on skeletal muscle metabolism in 56–70-year-old sedentary men. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **37** : 173–180. doi:10.1007/BF00421772. PMID:913382.
- Symons, T.B., Vandervoort, A.A., Rice, C.L., Overend, T.J., et Marsh, G.D. 2005. Effects of maximal isometric and isokinetic resistance training on strength and functional mobility in older adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **60** : 777–781. PMID:15983182.
- Taaffe, D.R., et Marcus, R. 2000. Musculoskeletal health and the

- older adult. *J. Rehabil. Res. Dev.* **37** : 245–254. PMID:10850831.
- Takeshima, N., Rogers, M.E., Islam, M.M., Yamauchi, T., Watanabe, E., et Okada, A. 2004. Effect of concurrent aerobic and resistance circuit exercise training on fitness in older adults. *Eur. J. Appl. Physiol.* **93** : 173–182. doi:10.1007/s00421-004-1193-3. PMID:15293053.
- Talbot, L.A., Metter, E.J., et Fleg, J.L. 2000. Leisure-time physical activities and their relationship to cardiorespiratory fitness in healthy men and women 18–95 years old. *Med. Sci. Sports Exerc.* **32** : 417–425. doi:10.1097/00005768-200002000-00024. PMID:10694126.
- Talbot, L.A., Morrell, C.H., Metter, E.J., et Fleg, J.L. 2002. Comparison of cardiorespiratory fitness versus leisure time physical activity as predictors of coronary events in men aged < or = 65 years and > 65 years. *Am. J. Cardiol.* **89** : 1187–1192. doi:10.1016/S0002-9149(02)02302-0. PMID:12008173.
- Tamaki, T., Uchiyama, S., Uchiyama, Y., Akatsuka, A., Yoshimura, S., Roy, R.R., et Edgerton, V.R. 2000. Limited myogenic response to a single bout of weight-lifting exercise in old rats. *Am. J. Physiol. Cell Physiol.* **278** : C1143–C1152. PMID:10837342.
- Taylor, A.H., Cable, N.T., Faulkner, G., Hillsdon, M., Narici, M., et Van Der Bij, A.K. 2004. Physical activity and older adults: a review of health benefits and the effectiveness of interventions. *J. Sports Sci.* **22** : 703–725. doi:10.1080/02640410410001712421. PMID:15370483.
- Thacker, S.B., Gilchrist, J., Stroup, D.F., et Kimsey, C.D., Jr. 2004. The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Med. Sci. Sports Exerc.* **36** : 371–378. doi:10.1249/01.MSS.0000117134.83018.F7. PMID:15076777.
- Thomas, S.G., Cunningham, D.A., Rechnitzer, P.A., Donner, A.P., et Howard, J.H. 1985. Determinants of the training response in elderly men. *Med. Sci. Sports Exerc.* **17** : 667–672. doi:10.1249/00005768-198512000-00008. PMID:3908879.
- Tinetti, M.E., Speechley, M., et Ginter, S.F. 1988. Risk factors for falls among elderly persons living in the community. *N. Engl. J. Med.* **319** : 1701–1707. PMID:3205267.
- Tomlinson, B.E., et Irving, D. 1977. The numbers of limb motor neurons in the human lumbosacral cord throughout life. *J. Neurol. Sci.* **34** : 213–219. doi:10.1016/0022-510X(77)90069-7. PMID:925710.
- Trappe, S., Williamson, D., Godard, M., Porter, D., Rowden, G., et Costill, D. 2000. Effect of resistance training on single muscle fiber contractile function in older men. *J. Appl. Physiol.* **89** : 143–152. PMID:10904046.
- Trappe, S., Williamson, D., et Godard, M. 2002. Maintenance of whole muscle strength and size following resistance training in older men. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **57** : B138–B143. PMID:11909878.
- Tseng, B.S., Marsh, D.R., Hamilton, M.T., et Booth, F.W. 1995. Strength and aerobic training attenuate muscle wasting and improve resistance to the development of disability with aging. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **50** : 113–119. PMID:7493203.
- Tudor-Locke, C., Jones, R., Myers, A.M., Paterson, D.H., et Ecclestone, N.A. 2002. Contribution of structured exercise class participation and informal walking for exercise to daily physical activity in community-dwelling older adults. *Res. Q. Exerc. Sport*, **73** : 350–356. PMID:12230344.
- van der Bij, A.K., Laurant, M.G., et Wensing, M. 2002. Effectiveness of physical activity interventions for older adults: a review. *Am. J. Prev. Med.* **22** : 120–133. doi:10.1016/S0749-3797(01)00413-5. PMID:11818183.
- Vandervoort, A.A., et Symons, T.B. 2001. Functional and metabolic consequences of sarcopenia. *Can. J. Appl. Physiol.* **26** : 90–101. PMID:11173671.
- Verney, J., Kadi, F., Saafi, M.A., Piehl-Aulin, K., et Denis, C. 2006. Combined lower body endurance and upper body resistance training improves performance and health parameters in healthy active elderly. *Eur. J. Appl. Physiol.* **97** : 288–297. doi:10.1007/s00421-006-0175-z. PMID:16770464.
- Vincent, K.R., Braith, R.W., Feldman, R.A., Kallas, H.E., et Lowenthal, D.T. 2002. Improved cardiorespiratory endurance following 6 months of resistance exercise in elderly men and women. *Arch. Intern. Med.* **162** : 673–678. doi:10.1001/archinte.162.6.673. PMID:11911721.
- Volpi, E., Nazemi, R., et Fujita, S. 2004. Muscle tissue changes with aging. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, **7** : 405–410. doi:10.1097/01.mco.0000134362.76653.b2. PMID:15192443.
- Warburton, D.E., Glendhill, N., et Quinney, A. 2001. The effects of changes in musculoskeletal fitness on health. *Can. J. Appl. Physiol.* **26** : 161–216. PMID:11312416.
- Weiss, E.P., Spina, R.J., Holloszy, J.O., et Ehsani, A.A. 2006. Gender differences in the decline in aerobic capacity and its physiological determinants during the later decades of life. *J. Appl. Physiol.* **101** : 938–944. doi:10.1152/jappphysiol.01398.2005. PMID:16497840.
- Whang, W., Manson, J.E., Hu, F.B., Chae, C.U., Rexrode, K.M., Willett, W.C., et al. 2006. Physical exertion, exercise, and sudden cardiac death in women. *JAMA*, **295** : 1399–1403. doi:10.1001/jama.295.12.1399. PMID:16551711.
- White, M.J., et Harridge, S.D.R. 1990. At high angular velocities activation limits maximal isokinetic torque generation in elderly and young human triceps surae. *J. Physiol.* **429** : 53P.
- Wieser, M., et Haber, P. 2007. The effects of systematic resistance training in the elderly. *Int. J. Sports Med.* **28** : 59–65. doi:10.1055/s-2006-924057. PMID:16761216.
- Wilson, T.M., et Tanaka, H. 2000. Meta-analysis of the age-associated decline in maximal aerobic capacity in men: relation to training status. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* **278** : H829–H834. PMID:10710351.
- Wister, A.V. 2005. Baby boomer health dynamics. University of Toronto Press Inc., Toronto, Ont. p. 6–10.
- Witvrouw, E., Mahieu, N., Danneels, L., et McNair, P. 2004. Stretching and injury prevention: an obscure relationship. *Sports Med.* **34** : 443–449. doi:10.2165/00007256-200434070-00003. PMID:15233597.
- Wolf, S.L., Sattin, R.W., Kutner, M., O'Grady, M., Greenspan, A.I., et Gregor, R.J. 2003. Intense Tai Chi exercise training and fall occurrences in older, transitionally frail adults: a randomized, controlled trial. *J. Am. Geriatr. Soc.* **51** : 1693–1701. doi:10.1046/j.1532-5415.2003.51552.x. PMID:14687346.
- Wolfson, L., Whipple, R., Derby, C., Judge, J., King, M., Amerman, P., et al. 1996. Balance and strength training in older adults: intervention gains and Tai Chi maintenance. *J. Am. Geriatr. Soc.* **44** : 498–506. PMID:8617896.
- Woo, J., Ho, S.C., et Yu, A.L. 1999. Walking speed and stride length predicts 36 months dependency, mortality, and institutionalization in Chinese aged 70 and older. *J. Am. Geriatr. Soc.* **47** : 1257–1260. PMID:10522962.
- Woollacott, M.H. 2000. Systems contributing to balance disorders in older adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **55** : M424–M428. PMID:10952363.
- Wu, G. 2002. Evaluation of the effectiveness of Tai Chi for improving balance and preventing falls in the older population – a review. *J. Am. Geriatr. Soc.* **50** : 746–754. doi:10.1046/j.1532-5415.2002.50173.x. PMID:11982679.

Wu, S.C., Leu, S.Y., et Li, C.Y. 1999. Incidence of and predictors for chronic disability in activities of daily living among older people in Taiwan. *J. Am. Geriatr. Soc.* **47** : 1082–1086. PMID:10484250.

Yue, G.H., Ranganathan, V.K., Siemionow, V., Liu, J.Z., et Sahgal, V. 1999. Older adults exhibit a reduced ability to fully activate

their biceps brachii muscle. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **54** : M249–M253. PMID:10362008.

Annexe A

L'annexe est présenté en page suivante.

Tableau A1. Études sur l'entraînement par l'exercice et mesures de résultats cardiorespiratoires chez les adultes âgés en santé (>65 ans).

Auteur	Participants	Programme d'entraînement
Broman et al. 2006	24 ♀ 64–74 a	Groupes : GE (69±4 a) / Tém. (70±4 a). Entraînement : 30' EI course en eau profonde avec veste 2×semaine / 8 semaines à 75 % FC _{max}
Charles et al. 2006	12 ♂ 74±4 a	72' 3×semaine combinant en séances de 12' d'entraînement en résistance HC et en endurance BC (2×4' à 70–80 % FC _{max} + 1' à 80–95 % + 2' de récupération active) pendant 14 semaines
Pogliaghi et al. 2006	18 ♂ sédentaires 68±1 (65–75) a	Groupes : bras (n = 6) / bicyclette (n = 6) / Tém. (n = 6). Entraînement : 30' / 3×semaine / 12 semaines. Int. 90–110 % FC _{VT}
Verney et al. 2006	10 ♂ actifs de 73 (70–76) a	72' 3×semaine combiné en séances de 12' d'entraînement en résistance HC et d'entraînement en endurance BC (2×4' à 75–85 % FC _{max} + 1' à 80–95 % + 2' de récupération active) pendant 14 semaines
Woo et al. 2006	16 ♀ non entraînées (65–79 a) et 18 ♂ (65–77 a)	Marche/course et bicyclette 30' / 3×semaine / 6 mo. à 50–60 % FCR pendant ~3 mo. et 80–85 % FCR le reste du temps
Evans et al. 2005	10 (8 ♂, 2 ♀) 80,3±2,5 (77–87) a	Marche, course, montée d'escaliers et rameuse 45–60' / 3×semaine / 10–12 mo. commençant à 60–75 % du VO ₂ pointe et augmentant à 85 %.
Haykowsky et al. 2005	31 ♀ en santé 60–78 a	Groupes : EA (66±3 a) / ER (70±4 a) / combiné (68±6 a) / Tém. (67±4 a). Entraînement : 3×semaine / 12 semaine. EA bicyclette à 60–80 % de la FCR de 15' jusqu'à 45'. ER 2 séries de 10 rép à partir de 50 % 1RM jusqu'à 75 %. Combiné même que EA + ER
Charifi et al. 2004	11 ♂ actifs 73±3 a	45' bicyclette, 4×semaine pendant 14 semaines, répétition de 7 séances successives de 4' à 65–75 % du VO ₂ pointe avec une minute subséquente à 85–95 % du VO ₂ pointe
Gass et al. 2004	54 ♂ 68±1 (65–75) a	Groupes : EC à 70 % et 50 % VO ₂ pointe / Tém. Entraînement : ~30' bicyclette, 3×semaine / 12 semaines. Les deux groupes avaient le même volume d'effort.
Lawrenson et al. 2004	6 ♂ âgés (67±2, 61–77 a) et 6 jeunes (20±1 a)	60' exercice extensions du genou, 3×semaine / 8 semaines, protocoles variés à une intensité variant de 30–90 % du taux max d'effort.
Spina et al. 2004	36 ♂ et ♀ frêles en santé >78 a	Groupes : GE (83±4 a) / Tém. (83±4 a) Entraînement : Trois phases de 3 mois. Phase 1, physiothérapie; Phase 2 : ER; Phase 3, EA 3×semaine / 3 mo. à 70–75 % du VO ₂ pointe, passant de 15 à 60' + EI avec 3–5' séances à 85–90 % du VO ₂ pointe (pause de 2–3') après la 6 ^e semaine.
Takeshima et al. 2004	35 ♂ et ♀ sédentaires ~68±1 (60–83) a	Groupes : GE (8 ♂ / 10 ♀) / Tém. (7 ♂ / 10 ♀) Entraînement : Entraînement en circuit combinant entraînement aérobique (~70 % VO ₂ pointe) et contre résistance, 50', 3×semaine / 12 semaines
Charifi et al. 2003	11 ♂ actifs 73±3 a	45' bicyclette, 4×semaine pendant 14 semaines, répétant 7 épisodes successifs de 4' à 65–75 % du VO ₂ pointe avec une minute subséquente à 85–95 % du VO ₂ pointe
Ehsani et al. 2003	46 ♂ et ♀ frêles en santé ~83 a	Groupes : GE (83±4 a) / Tém. (84±4 a) Entraînement : Trois phases de 3 mois. Phase 1, physiothérapie; Phase 2 : ER; Phase 3, EA 3×semaine / 3 mo. à 70–75 % FC _{pointe} en augmentant de 20 à 60' + EI comportant épisodes de 3–5' à 85–90 % FC _{pointe} (pause de 3–4') après la 6 ^e semaine
Binder et al. 2002	115 ♂ et ♀ frêles >78 a	Groupes : GE (83±4 a) / Tém. (83±4a). Entraînement : Trois phases de 3 mois. Phase 1, flexibilité et équilibre; Phase 2 : VO ₂ pointe en augmentant de 15 to 30' + EI avec épisodes de 3–5' à 85–90 % du VO ₂ pointe (2–3' ou repos)
Malbut et al. 2002	18 sujets de 79 à 91 a (9 ♂, 87±2; 12 ♀, 83±5 a)	3×semaine / 24 semaines consistant en ~20' d'EA à entre 13 et 15 + TEP utilisant le poids du corps et des poids
Morris et al. 2002	25 ♂ ~64±1 a	Groupes : EC (n = 10) / EI (n = 10) / Tém. (n = 5) Entraînement : bicyclette 70–75 % VO ₂ pointe 30' (EC); 60'(EI). 3×semaine / 10 semaines. Les deux groupes ont effectué le même volume de travail.

Principales mesures de résultats	Constatations cardiovasculaires
VO ₂ max, VE _{max} , FC, PP, TA	Entraînement en eau profonde ↑ VO ₂ max (11 %) bicyclette, VE _{max} , et PP, et ↓ FC sous-max. et au repos.
VO ₂ pointe, PP, CC, CC/AF, DC, mv en contact avec la fibre/PF, CS, DS, filtration mv	Entraînement ↑ VO ₂ pointe (12 %), CS et PP. Filtration microvasculaire et paroi mv en contact la fibre/PF ↑ après entraînement, aucun changement des autres indices capillaires.
VO ₂ pointe, VE _{pointe} , pouls O ₂ , PP, FC, VC, VO ₂ /W	↑ 20 % du VO ₂ pointe spécifique à l'exercice, W _{pointe} et capacité sous-max. Effets croisés 10 % ↑ rendement maximal et sous-max. (entraînement des bras ↑ bicyclette et vice-versa).
VO ₂ pointe, PP, force musculaire, surface musculaire, profil lipidique	Entraînement combiné ↑ VO ₂ pointe (jambe, bicyclette 11 %; bras 18 %) ainsi que VE _{pointe} et PP pointe dans les tests des jambes et des bras.
VO ₂ pointe, pouls O ₂ , PP, dette O ₂ , coût O ₂ (VO ₂ /W), efficacité de l'exercice.	L'entraînement a produit une ↑ de l'efficacité, de la PP de pointe, du VO ₂ pointe (~12 %) et du pouls O ₂ de pointe. Il y a eu une ↓ de la dette O ₂ , de la récupération et du coût en O ₂ à l'effort.
VO ₂ pointe, CT, TG, DET, MR, insuline, glucose.	VO ₂ pointe (15 %) et action de l'insuline ↑ après entraînement. L'ordre de grandeur des interprétations a été atténué comparativement aux sujets dans la septième décennie.
VO ₂ pointe, PP, VE, FC, pouls O ₂ , force musculaire, remplissage diastolique du VG et épaisseur de la paroi	VO ₂ pointe (~12–15 %), PP pointe et pouls O ₂ ↑ de la même façon dans tous les groupes d'entraînement. Il n'y a pas eu ↑ des dimensions de la cavité du VG, de l'épaisseur des parois ou du remplissage diastolique après l'entraînement dans aucun groupe.
VO ₂ pointe, PP, CC, CC/AF, DC, paroi mv en contact avec la fibre/PF, EPCF, CS, DS	Entraînement ↑ VO ₂ pointe (14 %), CS et PP. Paroi microvasculaire avec la fibre/PF (tortuosité mv), C/F _i , CC/AF, et EPCF ↑ après entraînement. Il y avait un lien entre CS et tortuosité mv avant et après.
VO ₂ pointe, VE _{pointe} , PP, DC, FC, VC	Deux groupes : ↑ VO ₂ pointe (~6–8 %), PP pointe et FC _{pointe} dans la même mesure. Seulement le groupe 70 % EC ↑ VE _{pointe} et VC. VS sous-max. ↑ et FC ↓ dans les deux groupes.
VO ₂ max musculaire, DS et distribution O ₂ . PP, CaO ₂ , PaO ₂ , PvO ₂ , SaO ₂ , DmO ₂ , P _{cap} O ₂ , SvO ₂ , FC, TA	Chez les deux groupes, ↑ VO ₂ max musculaire (âgés 50 %; jeunes 36 %) et PP pointe après entraînement. À int. sous-max., résistance vasculaire des jambes et a-vDO ₂ ↑ et DS et tension différentielle ↓ chez les jeunes, mais inchangée chez les sujets âgés. Les résultats indiquent une atténuation de la plasticité vasculaire et métabolique chez les sujets âgés.
VO ₂ pointe, FC, TA, raideur artérielle, adaptations du VG	Au maximum de l'exercice, seulement VO ₂ pointe (12 %) ↑ après entraînement. Au niveau sous-max., FC ↓. Aucun changement de la grosseur du VG, de la géométrie, de la masse, raccourcissement systolique ou remplissage diastolique. Adaptations moindres comparativement à celles observées chez les 60–72 ans.
VO ₂ pointe, La _{CT} , VO _{2LT} , HR _{LT} , FC, couple de pointe, profil lipidique	GE ↑ VO ₂ pointe (15 %), VO _{2LT} , HR _{LT}
VO ₂ pointe, CS, distribution du type de fibre, cellules satellites	VO ₂ pointe (14 %), CS et fréquence des cellules satellites ↑ après entraînement. Type de fibres IIA ↑ aussi après entraînement.
VO ₂ pointe, DC, VS, TPR, FC, TA, a-vDO ₂ , pouls O ₂ , adaptations du VG, élastance artérielle	VO ₂ pointe (14 %, 2 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹), DC pointe, VS pointe, travail systolique VG, FC _{pointe} et TPR (10 %, ns) ↑ après entraînement, aucun changement de a-vDO ₂ . FC à int. sous-max. ↓, aucun changement de TA, VS ou élastance artérielle. Adaptations atténuées comparativement à celles qu'on a observées chez les 60–72 ans.
VO ₂ pointe, force musculaire, fonction physique	VO ₂ pointe (hommes 14 %, femmes 13 %) et autres indicateurs fonctionnels ↑ dans le groupe de sujets entraînés.
VO ₂ max, FC, Lactate, force musculaire	Femmes ↑ VO ₂ max (15 %) et ↓ FC au repos et FC à VO ₂ = 10 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ . ↓ de la FC à VO ₂ = 10 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ chez les hommes seulement. Les résultats indiquent une meilleure réponse à l'entraînement chez les femmes que chez les hommes octogénaires.
VO ₂ pointe, VE _{pointe} , PP, DC, VS, FC	↑ de VO ₂ pointe (~13 %), VE _{pointe} , PP pointe, DC et VS ne présentaient aucune différence entre EC et EI. FC sous-max. à l'exercice ↓ de la même façon dans les deux groupes.

Tableau A1 (suite).

Auteur	Participants	Programme d'entraînement
Perini et al. 2002	18 sujets actifs de 70–80 a (8 ♂, 75±4; 10 ♀, 73±3 a)	Bicyclette EI (combinaisons variées avec et sans), 60', 3×semaine / 8 semaines à une int. de 40 % à 60 % du max. avant l'entraînement pendant 5 semaines et de 40 % à 100 % le reste du temps.
Vincent et al. 2002	62 ♂ et ♀ 60–83 a	Groupes : HI (67±7 a) / BI (68±6 a) / Tém. (71±5 a) Entraînement : 1 série / 8 rép. à 80 % 1RM (HI) ou 1 série / 13 rép. à 50 % 1RM (BI). 8 exercices de résistance (HC et BC), 3×semaine / 6 mo.
Bell et al. 2001	5 ♂ de condition physique moyenne de 77±7 a	Extension du genou 40', 4×semaine / 9 semaine à 75–85 % du VO ₂ pointe
Hagerman et al. 2000	18 ♂ non entraînés de 60–75 a	Groupes : GE (64±5 a) / Tém. (66±7 a) Entraînement : ER 2×semaine / 16 semaines. Trois exercices des jambes avec 1 série de 10 rép. à 50 % de 1 RM + 3 séries jusqu'à épuisement (6–8 rép.) à 85–90 % de 1 RM (pause de 2')
Beere et al. 1999	10 ♂ âgés (66±4 a; plage de 60–80) et 13 jeunes (28±7 a)	Groupes : âgés GE / Tém. (jeunes) GE. Entraînement : 30', 3×semaine (deux fois jambes et bras sur ergomètre en combinaison, une fois sur bicyclette) / 3 mo. à 75–90 % de FC _{max}
Ferketich et al. 1998	21 femmes non entraînées de 60–75 a	Groupes : Entraînement EA / EA + ER : les deux groupes ont fait de la bicyclette 30 min, 3 fois par semaine pendant 12 semaines à 70–80 % du VO ₂ max. Le groupe EA + ER a aussi effectué 2 séries de 12–15 rép. à 80 % 1 RM pour 4 exercices HC et 4 exercices BC.
De Vito et al. 1997	22 ♂ sans entraînement de plus de 60 a	Groupes : GE (64±3 a) / Tém. (64±4 a). Entraînement : 40–60' (réchauffement, marche avec pauses, étirement, relaxation) à une int. de moins de 50 % FC, 3×semaine / 12 semaines
Hepple et al. 1997a	20 ♂ actifs 68±1 (65–74) a	Groupe ER-EA : 4 exercices des jambes, 6–12 rép., 3×semaine / 9 semaines ER + 30' bicyclette, 3×semaine / 9 semaines suivantes.
Hepple et al. 1997b	9 ♂ 65–73 a	Groupe EA-EA : 18 semaines comme EA dans le groupe ER-EA 4 exercices contre résistance BC, 3 séries de 6–12 rép., 3×semaine / 9 semaines
Spina et al. 1996	12 ♂ 66±1 a 10 ♀ 64±1 a	Marche, course, bicyclette et rameuse à 60–70 % de FC _{max} , augmenté graduellement jusqu'à 75–85 % pendant 45–60', 3–5×semaine / 9 mo.
Carroll et al. 1995	16 ♂ sédentaires et 22 ♀ sédentaires 60–82 a	Groupes : GE (68±5 a) / Tém. (67±6 a) Entraînement : 3×semaine / 26 semaines. 4 GE, 2 EA et 2 EA + ER. EA tapis roulant ou escalier pendant 40' à partir de 40 % FCR jusqu'à 75–85 %. EA + ER même que EA + 1 série de 8–15 rép. + 1 série de 12–15 rép. jambes et bras
Babcock et al. 1994	12 ♂ 65–78 a	Groupes : GE (72±4 a) / Tém. (71±2 a) Entraînement : 40' bicyclette (5' 50 % du VO ₂ max, 30' Δ50 VO ₂ max, 5' 50 %), 3×semaine / 24 semaines.
Stratton et al. 1994	13 ♂ âgés (68±6 a) et 11 jeunes (28±3 a) non entraînés	Marche/course et bicyclette pendant 45', 4–5×semaine / 6 mo. à 50–60 % FCR pendant ~3 mo. et 80–85 % FCR par la suite.
Levy et al. 1993	14 ♂ âgés (68 a, plage 60–82 a) et 17 jeunes (28±3 a) non entraînés	45' marche, course et bicyclette, 4–5×semaine / 6 mo. à 50–60 % FCR pendant 3 mo. et passant à 80–85 % FCR le quatrième mois.
Sheldahl et al. 1993	14 ♂ âgés (64±1 a, plage 60–71 a) et 13 d'âge moyen (44±1 a) sans entraînement	Course à pied et bicyclette 40', 3×semaine / 6 mo. à 70 % de FC _{pointe} passant progressivement à 85 % de FC _{pointe} ou 80 % FCR (selon le plus élevé)
Spina et al. 1993a	15 ♂ et 16 ♀ 64±3 (60–69) a	Marche, course, bicyclette et rameuse à 60–70 % FC _{max} passant progressivement à 75–85 % pendant 45', 5×semaine / 9–12 mo.
Spina et al. 1993b	10 ♀ 63±4 (60–70) a	Marche, course, bicyclette et rameuse à 60–70 % FC _{max} passant progressivement à 75–85 % pendant 45', 5×semaine / 9–12 mo.

Principales mesures de résultats	Constatations cardiovasculaires
VO ₂ pointe, VE, FC, VFC, TA, activité physique quotidienne, force musculaire	Entraînement ↓ TA au repos et exercice de faible int. Taux d'effort de pointe, VE et VO ₂ pointe (17 %) ↑ après entraînement. VFC n'a pas changé. Les résultats indiquent des adaptations à l'entraînement qui étaient de nature périphérique.
VO ₂ pointe, temps sur le tapis roulant jusqu'à l'épuisement, changement des valeurs IRM	Dans les deux cas, l'entraînement en résistance a produit ↑ du VO ₂ pointe (23,5 % BI, 20,1 % HI) et du temps jusqu'à l'épuisement. On a établi un lien entre ↑ du VO ₂ pointe et ↑ de la force des jambes IRM et de la force totale.
VO ₂ pointe, τVO ₂ , VMS, τVMS, TA, CS, conductivité vasculaire, capillarisation	VO ₂ pointe, taux d'effort et τVO ₂ ↑ dans la jambe à l'entraînement comparativement à la même jambe avant l'entraînement et à la jambe non entraînée. Aucun changement de la VMS, de la conductivité vasculaire et de EPCF avec ↑ CS dans la jambe à l'entraînement indique des adaptations des mitochondries plutôt que de la distribution de O ₂ .
VO ₂ pointe, FC, force musculaire, structure cardiaque, DC, CF _i , profil lipidique.	VO ₂ pointe (9 %) ↑ après entraînement. Aucun changement de la structure ou des dimensions cardiaques. Même si C/F _i (19 %) et les marqueurs lipidiques étaient ↑, ils n'ont pas atteint une signification statistique.
VO ₂ (système/ jambe), DC, VS, FC, TA, DS _{jambe} , a-vDO ₂ (système/ jambe)	VO ₂ max (âgés 18 %, jeunes 20 %) et a-vDO ₂ systémique ↑ dans les deux groupes. FC _{pointe} ↑ chez les sujets âgés. Sujets âgés : ↑ DS _{jambe} pointe et sous-max. et aucun changement de a-vDO ₂ . Lien entre ↑ VO ₂ jambe pointe chez les sujets plus âgés et meilleure distribution de BF _{jambe} .
VO ₂ pointe, FC, DC, VS, a-vDO ₂ , CS, temps de bicyclette jusqu'à la fatigue, distribution des types de fibre, DC.	VO ₂ pointe ↑ chez les deux GE (EA 25 %; EA + ER 30 %). ↑ du temps écoulé avant la fatigue était plus importante chez les sujets EA + ER (396 %) que chez les sujets EA (165 %). Aucun effet d'entraînement sur DC, VS et a-vDO ₂ . FC sous-max. ↓ dans les deux GE. CS presque significatif dans le groupe EA. L'entraînement n'a eu aucun effet sur la distribution des types de fibres et une ↑ de DC (~23 %) n'était pas significative.
VO ₂ pointe, VE _{pointe} , FC pointe, VO ₂ sous-max., VE, FC	Aucun changement du VO ₂ pointe et du VE _{pointe} . FC pointe ↑. Le VO ₂ sous-max. (14 %), VE et FC pour la même intensité absolue ↓ après entraînement.
VO ₂ pointe, PP, FC, CC, C/F _i , SE, AF, P, DC, EPCF	ER-EA et EA-EA ont produit une ↑ semblable du VO ₂ (~17 %) et de l'interface capillaire-fibre. Les changements de l'indice EPCF ont suivi ceux du VO ₂ pointe dans les deux groupes. Seul EA ↑ DC.
VO ₂ pointe, PP, FC, CC, C/F _i , AF, EPCF	VO ₂ pointe (7 %) ↑ après entraînement. Aire fibreuse et périmètre, et CC ↑ ce qui a produit un C/F _i inchangé. On a établi un lien entre ↑ importante de EPCF et ↑ du VO ₂ pointe.
VO ₂ max, FC, paramètres du remplissage diastolique, FEVG	Hommes (21 %) et femmes (20 %) ont ↑ VO ₂ max et ↓ FC à l'exercice sous-max. Seuls les hommes ont montré une ↑ du remplissage dynamique du ventricule gauche.
VO ₂ max, FC, TA, volume plasmatique et sanguin, Na ⁺ , K ⁺ , EPI, NE, Ald, ACTH	Tout l'entraînement a produit une ↑ du VO ₂ max (15 %), du volume plasmatique et sanguin. Les concentrations d'hormones ou d'électrolytes au repos n'ont pas changé.
VO ₂ max, VC, FC, τVO ₂ , τVCO ₂ ,	Entraînement ↑ VO ₂ max (20 %) et VC. En outre, τVO ₂ plus rapide après entraînement.
VO ₂ max, FC, PO, VS, autres réponses CV	Les deux groupes ont ↑ de la même façon VO ₂ max (21 % âgés; 17 % jeunes), PP, VS de pointe et autres variables CV. FC au repos ↓ dans les deux groupes.
VO ₂ max, FC, TA, paramètres de remplissage diastolique, taux d'effort	VO ₂ max (âgés 21 %, jeunes 17 %), taux d'effort relatif et remplissage diastolique précoce ↑ de la même façon dans les deux groupes. ↑ du remplissage diastolique peut contribuer à une ↑ de VS maximal, DC et VO ₂ max.
VO ₂ pointe, VE, FC, TA	VO ₂ pointe (âgés 11 %, âge mûr 12 %) et VE _{pointe} ont ↑ de la même façon dans les deux groupes après 3 mois. FC à différentes int. sous-max. ↓ chez les deux groupes aussi. On n'a pas observé d'autres changements à la fin de l'entraînement (6 ^e mois).
VO ₂ max, FC, DC, a-vDO ₂ , RPT	VO ₂ max ↑ chez les hommes (19 %) et les femmes (22 %). Chez les hommes, ↑ DC pointe (↑ VS et ↓ FC) a expliqué 2/3 de ↑ du VO ₂ et a-vDO ₂ a expliqué le reste. Chez les femmes, DC de pointe n'a pas changé et a-vDO ₂ a expliqué ↑ du VO ₂ .
VO ₂ max, FC, DC, TA, fonction VG, a-vDO ₂	Entraînement ↑ VO ₂ max (21 %) et ↓ TA à int. sous-max. Fonction du VG, DC et VS (repos et exercice maximal) n'ont pas changé. Une ↑ de a-vDO ₂ indique des adaptations à médiations périphériques.

Tableau A1 (suite en fin).

Auteur	Participants	Programme d'entraînement
Coggan et al. 1992	12 ♂ et 11 ♀ 64±3 (60–70) a	Marche, course, bicyclette et rameuse à 60–70 % FC _{max} passant progressivement à 80–85 % pendant 45', 4×semaine pendant 9–12 mo.
Govindasamy et al. 1992	8 ♂ actifs 67±1 a	Marche ou course à 70 % (semaines 1–3) et 75 % (semaines 4–9) du VO _{2 max} , 30', 3×semaine/ 9 semaines
Posner et al. 1992	247 ♂ et ♀ 69±5 a, plage de 60–86	Groupes : GE (<i>n</i> = 166) / Tém. (<i>n</i> = 81). Entraînement : 40' bicyclette, 3×semaine / 16 semaines à une FC représentant 70 % de celle de l'exercice de pointe pendant le test VO _{2 max}
Poulin et al. 1992	10 ♂ actifs 67±5 a, plage 60–75	Marche ou course à 70 % du VO _{2 max} , 30', 4×semaine / 9 semaines
Belman et Gaesser 1991	17 ♂ et ♀ sédentaires 65–75 a	Groupes : HI (69±1 a) / BI (68±1 a) / Tém. (67±1 a) Entraînement : 30' marche à 35 % FCR (HI, au-dessous de Lac _T) ou 75 % FCR (HI, au-dessous de Lac _T), 4×semaine / 8 semaines
Blumenthal et al. 1991	101 ♂ et ♀ 60–83 a	Groupe EA : 60' marche/course, 3×semaine commençant à 50 % de FCR pour passer à 70 % de FCR. Groupe yoga (non aérobique) : 60', 2×semaine / 4 semaines suivi par EA par la suite. Groupe d'attente : 4 mois d'attente et EA par la suite.
Cononie et al. 1991	49 ♂ et ♀ non entraînés de 72±3 a, plage de 70–79	Groupes : EA (<i>n</i> = 17) / ER (<i>n</i> = 20) / Tém. (<i>n</i> = 12) ER : 10 exercices, 12 rep., 3×semaine / 6 mo. EA : marches de 20–30', 3×semaine / 4 mo. à 50 % du VO _{2 max} . Dernier 2 mois. à 75–85 % du VO _{2 max} pendant 35–45' par séance.
Cress et al. 1991	27 ♀ 65–86 a	Groupes : GE (71±5 a) / Tém. (73±6). Entraînement : 60', 3×semaine / 50 semaines. Montée d'escalier pondérée à 60 % FCR + circuits ER + dance endurance
Ehsani et al. 1991	10 ♂ sédentaires 64±3 a, plage 60–70	EA marche, course ou bicyclette pendant 1 h, 4×semaine / 12 mo. d'intensité augmentant progressivement de 60–80 % VO _{2 max} avec brèves périodes supplémentaires d'exercice à 93 % du VO _{2 max}
Kohrt et al. 1991	72 ♂ sédentaires et 73 ♀ sédentaires 60–71 a	Groupes : EA (64±3) / Tém. (~64±4). Entraînement : 45', 4×semaine / 9–12 mo. marche, course, bicyclette et rameuse à 60–70 % FC _{max} augmentant progressivement à 75–85 %
Frontera et al. 1990	12 ♂ sédentaires 60–72 a	ER des extenseurs et des fléchisseurs du genou, 3×semaine / 12 semaines à 80 % 1 RM
Makrides et al. 1990	12 ♂ plus âgés (65±3 a, plage 60–71 a) et 10 d'âge moyen (27±3 a) sans entraînement	EI 60', 3×semaine / 12 semaines. 5' bicyclette à FC correspondant à 65 % du VO _{2 max} et 5 min à 45 %. Augmentant progressivement à 85 % et 65 % et réduction à 3' de la durée à faible intensité.
Martin et al. 1990	13 ♂ et 13 ♀ 60–72 a	Groupes : EA (9 ♂, 64±3; 10 ♀, 65±3) / Tém. (4 ♂ et 3 ♀, 66±4) Entraînement : 30–60' marche ou course, 3×semaine / 31 semaines (16–44) à 70–90 % du VO _{2 max}

Principales mesures de résultats	Constatations cardiovasculaires
VO ₂ max, type de fibre, C/Fi, CC, DC, enzymes mitochondriales.	VO ₂ max ↑ chez les hommes (29 %) et les femmes (26 %). Entraînement ↓ type de % fibres de type IIb et augmenter % fibres de type II. C/Fi et CC et activité des enzymes mitochondriales ↑ après entraînement.
VO ₂ max, VE _{max} , FC, VC	VO ₂ max (12 %), VE _{max} et VC ↑ et FC _{max} ↓ après entraînement. VO ₂ , FC, et VE à intensité sous-max. ↓.
VO ₂ max, VE _{max} , FC, TA, O ₂ pouls, VC, profil lipidique.	GE ↑ VO ₂ max (11 %), VE _{max} , VO ₂ à VC, TA diastolique max et pouls O ₂ max. TA au repos et à l'entraînement ↓ dans le groupe d'entraînement.
VO ₂ max, VE _{max} , FC, VC, TEF, TEP	VO ₂ max (11 %), VC et TEF (180 %) ↑ après l'entraînement. FC, TEP et demande O ₂ à différentes intensités sous-max. ↓.
VO ₂ max, VE _{max} , FC _{max} , Lac _T	VO ₂ max (7 %) et Lac _T ↑ de la même façon dans les deux groupes, aucun changement de FC _{max} et VE _{max} . Au cours d'un test à un seul degré effectué à 77–95 % du VO ₂ max, les deux groupes ont enregistré une ↓ semblable de VE et de FC et aucun changement de VO ₂ .
VO ₂ max, FC, An _T , Profil lipidique.	Les sujets montrent une ↑ de 10 % à 15 % du VO ₂ max après 4 mois d'EA et une ↑ supplémentaire de 1 % à 6 % avec EA prolongé. Le prolongement de ↑ de An _T attribuable à l'entraînement lorsqu'on a continué l'entraînement.
VO ₂ max, TA, FC, force musculaire, hormones vasopressives	Groupe EA ↑ VO ₂ max (20 %) après entraînement et aucun changement dans le groupe ER. TA diastolique au repos et moyenne et FC ↓ dans le groupe EA comparativement au groupe ER et au groupe témoin.
VO ₂ max, FC, distribution du type de fibres, force musculaire dans les jambes.	Entraînement ↑ VO ₂ max (16 %) et la surface transversale des fibres IIb dans le vastus lateralis. La distribution du type de fibres n'a pas changé.
VO ₂ max, FC, TA, FE, FEVG, VS	VO ₂ max ↑ 23 %. FC au repos et sous-max. ↓. ↑ du VO ₂ max reliée aux adaptations centrales reflétées par l'amélioration du rendement systolique du VG et ↑ VS à l'exercice maximal.
VO ₂ max, FC, VE,	VO ₂ max (hommes 26 % et femmes 23 %) et VE _{max} ↑ après entraînement. FC _{max} ↓ chez les hommes. On n'a pas établi de lien entre le taux ↑ et la condition physique initiale, le sexe ou l'âge. Les résultats indiquent que ↑ chez les sujets plus âgés pourrait prendre ≥ 26 semaines.
VO ₂ max, VE, Fc, force musculaire, C/Fi, AF, CS	VO ₂ max (6 %), C/Fi, AF moyenne et activité CS dans le vastus lateralis ↑ après entraînement contre résistance des jambes.
VO ₂ max, VE, FC, DC, VS, TA, a-vDO ₂ , PP, VC	Deux GE ont ↑ de la même façon leur VO ₂ max (plus âgés = 38 %) et PP. ↑ du VO ₂ max chez les sujets plus âgés s'est expliquée principalement par une ↑ DC (30 %; ↑ de VS = 21 % et FC = 7 %). En outre, ↑ de a-vDO ₂ (6 %) et de la conductance vasculaire et ↓ de la TA moyenne chez les sujets âgés.
VO ₂ max, FC, TA, conductance, DS des membres	Entraînement ↑ VO ₂ max (♂ 25 %; ♀ 21 %). FC _{max} ↓ seulement chez les ♀. On a constaté une tendance à ↓ de DS au repos et de la conductance chez ♂. ↑ de DS et conductance du mollet de pointe chez ♂. Changements vasodilatateurs chez ♀ moins prononcés que chez ♂ : ↑ de DS du mollet et tendance à ↑ de la conductance.

Bibliographie

- Babcock, M.A., Paterson, D.H., et Cunningham, D.A. 1994. Effects of aerobic endurance training on gas exchange kinetics of older men. *Med. Sci. Sports Exerc.* **26** : 447–452. PMID:8201900.
- Beere, P.A., Russell, S.D., Morey, M.C., Kitzman, D.W., et Higginbotham, M.B. 1999. Aerobic exercise training can reverse age-related peripheral circulatory changes in healthy older men. *Circulation*, **100** : 1085–1094. PMID:10477534.
- Bell, C., Paterson, D.H., Kowalchuk, J.M., Moy, A.P., Thorp, D.B., Noble, E.G., et al. 2001. Determinants of oxygen uptake kinetics in older humans following single-limb endurance exercise training. *Exp. Physiol.* **86** : 659–665. doi:10.1113/eph8602209. PMID:11571495.
- Belman, M.J., et Gaesser, G.A. 1991. Exercise training below and above the lactate threshold in the elderly. *Med. Sci. Sports Exerc.* **23** : 562–568. PMID:2072834.
- Binder, E.F., Schechtman, K.B., Ehsani, A.A., Steger-May, K., Brown, M., Sinacore, D.R., et al. 2002. Effects of exercise training on frailty in community-dwelling older adults: results of a randomized, controlled trial. *J. Am. Geriatr. Soc.* **50** : 1921–1928. doi:10.1046/j.1532-5415.2002.50601.x. PMID:12473001.
- Blumenthal, J.A., Emery, C.F., Madden, D.J., Coleman, R.E., Riddle, M.W., Schniebolk, S., et al. 1991. Effects of exercise training on cardiorespiratory function in men and women older than 60 years of age. *Am. J. Cardiol.* **67** : 633–639. doi:10.1016/0002-9149(91)90904-Y. PMID:2000798.
- Broman, G., Quintana, M., Lindberg, T., Jansson, E., et Kaijser, L. 2006. High intensity deep water training can improve aerobic power in elderly women. *Eur. J. Appl. Physiol.* **98** : 117–123. doi:10.1007/s00421-006-0237-2. PMID:16924529.
- Carroll, J.F., Convertino, V.A., Wood, C.E., Graves, J.E., Lowenthal, D.T., et Pollock, M.L. 1995. Effect of training on blood volume and plasma hormone concentrations in the elderly. *Med. Sci. Sports Exerc.* **27** : 79–84. PMID:7898342.
- Charifi, N., Kadi, F., Feasson, L., et Denis, C. 2003. Effects of endurance training on satellite cell frequency in skeletal muscle of old men. *Muscle Nerve*, **28** : 87–92. doi:10.1002/mus.10394. PMID:12811778.
- Charifi, N., Kadi, F., Feasson, L., Costes, F., Geysant, A., et Denis, C. 2004. Enhancement of microvessel tortuosity in the vastus lateralis muscle of old men in response to endurance training. *J. Physiol.* **554** : 559–569. doi:10.1113/jphysiol.2003.046953. PMID:14578492.
- Charles, M., Charifi, N., Verney, J., Pichot, V., Feasson, L., Costes, F., et Denis, C. 2006. Effect of endurance training on muscle microvascular filtration capacity and vascular bed morphometry in the elderly. *Acta Physiol. (Oxf)*, **187** : 399–406. PMID:16776665.
- Coggan, A.R., Spina, R.J., King, D.S., Rogers, M.A., Brown, M., Nemeth, P.M., et Holloszy, J.O. 1992. Skeletal muscle adaptations to endurance training in 60- to 70-yr-old men and women. *J. Appl. Physiol.* **72** : 1780–1786. PMID:1601786.
- Cononie, C.C., Graves, J.E., Pollock, M.L., Phillips, M.I., Sumners, C., et Hagberg, J.M. 1991. Effect of exercise training on blood pressure in 70- to 79-yr-old men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.* **23** : 505–511. PMID:2056908.
- Cress, M.E., Thomas, D.P., Johnson, J., Kasch, F.W., Cassens, R.G., Smith, E.L., et Agre, J.C. 1991. Effect of training on $\dot{V}O_{2\max}$, thigh strength, and muscle morphology in septuagenarian women. *Med. Sci. Sports Exerc.* **23** : 752–758. PMID:1886486.
- De Vito, G., Hernandez, R., Gonzalez, V., Felici, F., et Figura, F. 1997. Low intensity physical training in older subjects. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, **37** : 72–77. PMID:9190129.
- Ehsani, A.A., Ogawa, T., Miller, T.R., Spina, R.J., et Jilka, S.M. 1991. Exercise training improves left ventricular systolic function in older men. *Circulation*, **83** : 96–103. PMID:1984902.
- Ehsani, A.A., Spina, R.J., Peterson, L.R., Rinder, M.R., Glover, K.L., Villareal, D.T., et al. 2003. Attenuation of cardiovascular adaptations to exercise in frail octogenarians. *J. Appl. Physiol.* **95** : 1781–1788. PMID:12857764.
- Evans, E.M., Racette, S.B., Peterson, L.R., Villareal, D.T., Greiwe, J.S., et Holloszy, J.O. 2005. Aerobic power and insulin action improve in response to endurance exercise training in healthy 77–87 yr olds. *J. Appl. Physiol.* **98** : 40–45. doi:10.1152/jappphysiol.00928.2004. PMID:15591302.
- Ferketich, A.K., Kirby, T.E., et Alway, S.E. 1998. Cardiovascular and muscular adaptations to combined endurance and strength training in elderly women. *Acta Physiol. Scand.* **164** : 259–267. doi:10.1046/j.1365-201X.1998.00428.x. PMID:9853013.
- Frontera, W.R., Meredith, C.N., O'Reilly, K.P., et Evans, W.J. 1990. Strength training and determinants of $\dot{V}O_{2\max}$ in older men. *J. Appl. Physiol.* **68** : 329–333. PMID:2312474.
- Gass, G., Gass, E., Wicks, J., Browning, J., Bennett, G., et Morris, N. 2004. Rate and amplitude of adaptation to two intensities of exercise in men aged 65–75 yr. *Med. Sci. Sports Exerc.* **36** : 1811–1818. doi:10.1249/01.MSS.0000142405.51319.FB. PMID:15595305.
- Govindasamy, D., Paterson, D.H., Poulin, M.J., et Cunningham, D.A. 1992. Cardiorespiratory adaptation with short term training in older men. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* **65** : 203–208. doi:10.1007/BF00705082. PMID:1396647.
- Hagerman, F.C., Walsh, S.J., Staron, R.S., Hikida, R.S., Gilders, R.M., Murray, T.F., et al. 2000. Effects of high-intensity resistance training on untrained older men. I. Strength, cardiovascular, and metabolic responses. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **55** : B336–B346. PMID:10898247.
- Haykowsky, M., McGavock, J., Vonder Muhll, I., Koller, M., Mandic, S., Welsh, R., et Taylor, D. 2005. Effect of exercise training on peak aerobic power, left ventricular morphology, and muscle strength in healthy older women. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **60** : 307–311. PMID:15860465.
- Hepple, R.T., Mackinnon, S.L., Goodman, J.M., Thomas, S.G., et Plyley, M.J. 1997a. Resistance and aerobic training in older men: effects on $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ and the capillary supply to skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* **82** : 1305–1310. doi:10.1063/1.365903. PMID:9104869.
- Hepple, R.T., Mackinnon, S.L., Thomas, S.G., Goodman, J.M., et Plyley, M.J. 1997b. Quantitating the capillary supply and the response to resistance training in older men. *Pflugers Arch.* **433** : 238–244. doi:10.1007/s004240050273. PMID:9064638.
- Kohrt, W.M., Malley, M.T., Coggan, A.R., Spina, R.J., Ogawa, T., Ehsani, A.A., et al. 1991. Effects of gender, age, and fitness level on response of $\dot{V}O_{2\max}$ to training in 60–71 yr olds. *J. Appl. Physiol.* **71** : 2004–2011. PMID:1761503.
- Lawrenson, L., Hoff, J., et Richardson, R.S. 2004. Aging attenuates vascular and metabolic plasticity but does not limit improvement in muscle $\dot{V}O_{2\max}$. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* **286** : H1565–H1572. doi:10.1152/ajpheart.01070.2003. PMID:14684375.
- Levy, W.C., Cerqueira, M.D., Abrass, I.B., Schwartz, R.S., et Stratton, J.R. 1993. Endurance exercise training augments diastolic filling at rest and during exercise in healthy young and older men. *Circulation*, **88** : 116–126. PMID:8319324.
- Makrides, L., Heigenhauser, G.J., et Jones, N.L. 1990. High-intensity endurance training in 20- to 30- and 60- to 70-yr-old healthy men. *J. Appl. Physiol.* **69** : 1792–1798. PMID:2272973.
- Malbut, K.E., Dinan, S., et Young, A. 2002. Aerobic training in the 'oldest old': the effect of 24 weeks of training. *Age Ageing*, **31** : 255–260. doi:10.1093/ageing/31.4.255. PMID:12147562.
- Martin, W.H., 3rd, Kohrt, W.M., Malley, M.T., Korte, E., et Stoltz,

- S. 1990. Exercise training enhances leg vasodilatory capacity of 65-yr-old men and women. *J. Appl. Physiol.* **69** : 1804–1809. PMID:2272974.
- Morris, N., Gass, G., Thompson, M., Bennett, G., Basic, D., et Morton, H. 2002. Rate and amplitude of adaptation to intermittent and continuous exercise in older men. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34** : 471–477. doi:10.1097/00005768-200203000-00014. PMID:11880812.
- Perini, R., Fisher, N., Veicsteinas, A., et Pendergast, D.R. 2002. Aerobic training and cardiovascular responses at rest and during exercise in older men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.* **34** : 700–708. doi:10.1097/00005768-200204000-00022. PMID: 11932582.
- Pogliaghi, S., Terziotti, P., Cevese, A., Balestreri, F., et Schena, F. 2006. Adaptations to endurance training in the healthy elderly: arm cranking versus leg cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* **97** : 723–731. doi:10.1007/s00421-006-0229-2. PMID:16799819.
- Posner, J.D., Gorman, K.M., Windsor-Landsberg, L., Larsen, J., Bleiman, M., Shaw, C., et al. 1992. Low to moderate intensity endurance training in healthy older adults: physiological responses after four months. *J. Am. Geriatr. Soc.* **40** : 1–7. PMID:1727835.
- Poulin, M.J., Paterson, D.H., Govindasamy, D., et Cunningham, D.A. 1992. Endurance training of older men: responses to sub-maximal exercise. *J. Appl. Physiol.* **73** : 452–457. PMID: 1399965.
- Sheldahl, L.M., Tristani, F.E., Hastings, J.E., Wenzler, R.B., et Levandoski, S.G. 1993. Comparison of adaptations and compliance to exercise training between middle-aged and older men. *J. Am. Geriatr. Soc.* **41** : 795–801. PMID:8340555.
- Spina, R.J., Ogawa, T., Kohrt, W.M., Martin, W.H., 3rd, Holloszy, J.O., et Ehsani, A.A. 1993a. Differences in cardiovascular adaptations to endurance exercise training between older men and women. *J. Appl. Physiol.* **75** : 849–855. PMID:8226490.
- Spina, R.J., Ogawa, T., Miller, T.R., Kohrt, W.M., et Ehsani, A.A. 1993b. Effect of exercise training on left ventricular performance in older women free of cardiopulmonary disease. *Am. J. Cardiol.* **71** : 99–104. doi:10.1016/0002-9149(93)90718-R. PMID:8420244.
- Spina, R.J., Miller, T.R., Bogenhagen, W.H., Schechtman, K.B., et Ehsani, A.A. 1996. Gender-related differences in left ventricular filling dynamics in older subjects after endurance exercise training. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **51** : B232–B237. PMID:8630701.
- Spina, R.J., Meyer, T.E., Peterson, L.R., Villareal, D.T., Rinder, M.R., et Ehsani, A.A. 2004. Absence of left ventricular and arterial adaptations to exercise in octogenarians. *J. Appl. Physiol.* **97** : 1654–1659. doi:10.1152/jappphysiol.01303.2003. PMID:15475554.
- Stratton, J.R., Levy, W.C., Cerqueira, M.D., Schwartz, R.S., et Abrass, I.B. 1994. Cardiovascular responses to exercise. Effects of aging and exercise training in healthy men. *Circulation*, **89** : 1648–1655. PMID:8149532.
- Takehima, N., Rogers, M.E., Islam, M.M., Yamauchi, T., Watanabe, E., et Okada, A. 2004. Effect of concurrent aerobic and resistance circuit exercise training on fitness in older adults. *Eur. J. Appl. Physiol.* **93** : 173–182. doi:10.1007/s00421-004-1193-3. PMID:15293053.
- Verney, J., Kadi, F., Saafi, M.A., Piehl-Aulin, K., et Denis, C. 2006. Combined lower body endurance and upper body resistance training improves performance and health parameters in healthy active elderly. *Eur. J. Appl. Physiol.* **97** : 288–297. doi:10.1007/s00421-006-0175-z. PMID:16770464.
- Vincent, K.R., Braith, R.W., Feldman, R.A., Kallas, H.E., et Lowenthal, D.T. 2002. Improved cardiorespiratory endurance following 6 months of resistance exercise in elderly men and women. *Arch. Intern. Med.* **162** : 673–678. doi:10.1001/archinte.162.6.673. PMID:11911721.
- Woo, J.S., Derleth, C., Stratton, J.R., et Levy, W.C. 2006. The influence of age, gender, and training on exercise efficiency. *J. Am. Coll. Cardiol.* **47** : 1049–1057. doi:10.1016/j.jacc.2005.09.066. PMID:16516092.