

ÉNONCÉ DE PRINCIPE DE L'AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE

"**Activité physique et santé osseuse**". Med. Sci. Sports Exerc., 36(11) : 1985-1996, 2004.

Cet énoncé fut rédigé pour l'American College of Sports Medicine par Wendy M. Kohrt, Ph.D., FACSM (présidente); Susan A. Bloomfield, Ph.D., FACSM; Kathleen D. Little, Ph.D.; Mirian E. Nelson, Ph.D., FACSM; et Vanessa R. Yingling, Ph.D.

RÉSUMÉ

L'activité physique avec support du poids a des effets bénéfiques sur la santé osseuse tout au long de la vie. Les activités physiques qui génèrent des forces de charge relativement élevées, comme la plyométrie, la gymnastique, et l'entraînement de musculation à intensité élevée, favorisent l'accumulation des minéraux dans les os chez les enfants et les adolescents. De plus, il y a des évidences que les gains de masse osseuse produits par l'exercice chez les enfants sont maintenus à l'âge adulte, suggérant que les habitudes d'activité physique pendant l'enfance peuvent avoir des effets bénéfiques de longue durée sur la santé osseuse. Il n'est pas encore possible de décrire en détail un programme d'exercice pour les enfants et les adolescents qui optimisera la masse osseuse maximale, à cause du manque d'études quantitatives dose-réponse. Cependant, l'évidence provenant de nombreux petits essais contrôlés randomisés suggère que la prescription d'exercice suivante augmente l'accumulation des minéraux dans les os chez les enfants et les adolescents :

- Type : activités avec impact comme la gymnastique, la plyométrie et les sauts et l'entraînement de musculation d'intensité modérée; la participation à des sports qui comprennent de la course et des sauts (soccer, basketball) a potentiellement des effets bénéfiques, mais il y a un manque d'évidences scientifiques
- Intensité : élevée, en terme de forces de charge sur l'os; pour des raisons de sécurité, l'entraînement de musculation devrait être <60% à la valeur de 1 répétition maximale (1RM)
- Fréquence : au moins 3 j•sem⁻¹
- Durée : 10-20 min (2 fois par jour ou plus peut être plus efficace)

À l'âge adulte, l'objectif principal de l'activité physique devrait être de maintenir la masse osseuse. Le potentiel que les adultes puissent augmenter la densité minérale osseuse (DMO) avec l'entraînement par l'exercice reste ambigu. Les augmentations observées, l'ont été en réponse à un exercice en endurance avec support du poids ou de musculation à intensité relativement élevée. Les gains de DMO ne semblent pas être préservés quand le programme d'exercice est arrêté. Les études observationnelles suggèrent que la diminution de DMO avec l'âge est atténuée, et que le risque relatif de fracture est réduit chez les personnes actives physiquement, même quand l'activité n'est pas particulièrement intense. Cependant, il n'y a pas eu de grands essais contrôlés, randomisés pour confirmer ces observations, ni d'études dose-réponse adéquates pour déterminer le volume d'activité physique requis pour de tels effets bénéfiques. Il est important de noter que bien que l'activité physique puisse contrecarrer jusqu'à un certain point la diminution de la masse osseuse *avec l'âge*, il n'y a actuellement aucune évidence solide qu'une activité physique intense atténue la perte des minéraux des os *reliée à la ménopause* chez les femmes. Ainsi, la pharmacothérapie pour la prévention de

l'ostéoporose peut être indiquée même pour les femmes post-ménopausées qui sont habituellement physiquement actives. Compte tenu de l'état actuel des connaissances provenant de petits essais contrôlés, randomisés et de grandes études observationnelles, la prescription d'exercice suivante est recommandée pour aider à préserver la santé osseuse à l'âge adulte :

Type :	activités d'endurance avec support du poids (tennis; montée de marches; jogging, au moins de façon intermittente pendant la marche), activités qui impliquent des sauts (volleyball, basketball), et exercices de musculation (levée de poids)
Intensité :	modérée à élevée, en termes de forces qui surchargent les os
Fréquence;	activités en endurance avec support du poids 3-5 fois par semaine; exercice de musculation 2-3 fois par semaine
Durée :	30-60 min•j ⁻¹ d'une combinaison d'activités d'endurance avec support du poids, d'activités avec des sauts ou de musculation qui ciblent tous les principaux groupes musculaires

Il n'est actuellement pas facile de quantifier l'intensité de l'exercice en termes de forces sur l'os, particulièrement pour les activités d'endurance avec support du poids. Cependant, en général, l'ampleur des forces sur l'os augmente proportionnellement avec l'intensité de l'exercice quantifiée par des méthodes conventionnelles (ex., pourcentage de la fréquence cardiaque maximale ou pourcentage de 1 RM).

La recommandation générale pour les adultes de maintenir un niveau relativement élevé d'activité physique avec support du poids pour la santé osseuse n'a pas de limite supérieure pour l'âge. Mais à mesure que l'âge augmente, il devient encore plus important de s'assurer que les activités physiques soient exécutées de façon sécuritaire. En considérant les effets rapides et prononcés de l'immobilisation et du repos au lit sur la perte de tissu osseux, et du mauvais pronostic de récupération des minéraux après la remobilisation, même les personnes âgées les plus fragiles devraient être physiquement actives quand leur santé permet de préserver l'intégrité du squelette. Les programmes d'exercice pour les personnes âgées devraient inclure non seulement des activités d'endurance avec support du poids et de musculation qui ont pour objectif de préserver la masse osseuse mais aussi des activités visant à améliorer l'équilibre et à prévenir les chutes. Le maintien d'un niveau élevé d'activité physique au cours de la vie devrait être considéré comme un élément essentiel pour atteindre et maintenir une bonne santé osseuse.

INTRODUCTION

Chez les femmes caucasiennes post-ménopausées, l'ostéoporose est définie comme une valeur de densité minérale osseuse (DMO) de plus de 2.5 écart-type sous la valeur moyenne des jeunes adultes (52), avec ou sans fracture. Que l'on puisse appliquer le même critère à des femmes pré-ménopausées, à des femmes de toutes les races, ou à des hommes reste à être confirmé. Dans les pays industrialisés, l'incidence d'ostéoporose est en augmentation à des taux plus rapides qu'il ne serait prédit par l'augmentation de la proportion des individus âgés. Les fractures vertébrales multiples et, en particulier, celles de la hanche ont un effet dévastateur sur les capacités fonctionnelles et la qualité de vie. Le taux de mortalité chez les individus âgés lors de la première année après une fracture de la hanche atteint 15-20% (105). Même sans modification des taux d'incidence actuels, il a été estimé que le nombre de fractures de la hanche doublera pour atteindre 2.6 millions en l'an 2025 avec une plus grande augmentation relative chez les hommes que chez les femmes (38).

Parce qu'un faible taux de DMO augmente beaucoup le risque de fractures lors d'un traumatisme minime, comme lors d'une chute au sol, les stratégies qui maximisent la masse osseuse et/ou réduisent le risque de chute ont le potentiel de réduire la morbidité et la mortalité résultant de fractures ostéoporotiques. Bien que la masse osseuse puisse être augmentée par la pharmacothérapie, l'activité physique est la seule intervention en mesure 1) d'augmenter la masse et la force des os et 2) de réduire le risque de chute chez les populations âgées. Il existe aussi d'autres problèmes de santé osseuse associés à l'exercice, incluant le risque de fractures de stress avec l'entraînement à volume élevé et la perte osseuse associée à l'aménorrhée. Cependant, l'emphase de cet énoncé de principe est mise sur l'efficacité de l'activité physique pour réduire le risque de fracture ostéoporotique, sans référence spécifique aux influences nutritionnelles ou génétiques.

Les principes bien connus de l'entraînement physique s'appliquent aussi aux effets de l'activité physique sur les os. Par exemple, les forces qui surchargent doivent être appliquées à l'os pour stimuler une réponse adaptative, et une adaptation qui se continue exige une surcharge augmentant progressivement. Il est important de comprendre que le stimulus sur l'os est littéralement une déformation physique des cellules osseuses, plutôt que les stress métaboliques ou cardio-vasculaires typiquement associés à l'exercice d'endurance (ex. % $\dot{V}O_2$ max). La déformation physique peut être mesurée par des jauges de contrainte placées sur la surface de l'os, mais est plus communément estimée par des mesures résultantes comme les forces de réaction au sol engendrées pendant les activités de support du poids. Les forces de contraction du muscle en l'absence des forces de réaction au sol (ex. natation) peuvent aussi stimuler la formation de l'os, mais ceci est plus difficile à estimer. Un facteur unique aux adaptations du squelette à l'entraînement est la faible vitesse de renouvellement du tissu osseux. Parce que 3-4 mois sont nécessaires pour qu'un cycle de remodelage complète la séquence de résorption, de formation et de minéralisation des os (85), un minimum de 6-8 mois est requis pour obtenir une nouvelle masse osseuse stable et mesurable.

La mesure la plus souvent utilisée pour évaluer les effets de l'activité physique sur la masse osseuse chez les humains est la DMO, qui décrit la quantité de minéraux mesurée par unité de surface ou volume de tissu osseux (51). L'absorptiométrie biénergétique aux rayons X (ABX) est la méthode standard pour mesurer la DMO de surface dans des cadres cliniques et de recherche. La colonne lombaire et le fémur proximal sont les sites de mesure les plus communs par ABX parce qu'ils sont sujets aux fractures ostéoporotiques débilantes. D'autres méthodes d'évaluation du risque d'ostéoporose incluent la mesure par tomodensitométrie de la DMO volumétrique de la colonne vertébrale, et l'échographie du calcaneum, qui fournit un indice de la rigidité de l'os. L'échographie est largement disponible, facile à exécuter, et

n'implique pas d'exposition à des rayonnements ionisants, mais devrait être utilisée seulement comme test de dépistage.

Actuellement, la DMO est la meilleure mesure indirecte de la force de l'os chez les humains et il a été estimé que la DMO rend compte d'environ 60% ou plus de la variance de la force de l'os (20,125).

Cependant, des études chez les animaux suggèrent que les modifications de DMO en réponse à des stress mécaniques sous-estiment les effets sur la force des os. Par exemple, des augmentations de 5-8% de DMO sont associées à des augmentations de 64-87% de la force des os (48, 116). La grosseur de l'os contribue significativement à la force de l'os parce que la résistance de l'os à des charges de flexion ou de torsion augmente exponentiellement avec son diamètre; de plus, la grosseur de l'os peut continuer à augmenter à l'âge adulte (93). Parce que l'architecture (i.e., géométrie) de l'os est un déterminant important de la force (104), l'évaluation des effets du stress mécanique sur l'os devrait prendre en considération non seulement les modifications de la masse osseuse, mais des modifications de la force structurelle et des propriétés matérielles et géométriques lorsque c'est possible (120).

Les deux stratégies généralement acceptées pour rendre le squelette plus résistant à la fracture sont de 1) maximiser le gain de DMO dans les trois premières décennies de la vie et de 2) minimiser la diminution de DMO après l'âge de 40 ans causée par des modifications hormonales, le vieillissement, une diminution de l'activité physique, et d'autres facteurs. Parce que la force de l'os et la résistance à une fracture dépendent non seulement de la quantité d'os (estimée par la DMO) mais aussi de la géométrie de l'os, des méthodes sont présentement développées qui permettent l'évaluation de la géométrie transversale avec la technologie ABX existante ou une tomographie quantitative périphérique (TQp) ou une imagerie par résonance magnétique à haute résolution (IRM). La micro-architecture de l'os spongieux, ou trabéculaire (i.e., le réseau d'os dans les corps vertébraux ou les extrémités des os longs) est importante pour la force mécanique du col du fémur, des corps vertébraux, et des autres régions riches en os spongieux. Cependant, la micro-architecture de l'os spongieux peut être évaluée présentement chez les humains seulement par une biopsie osseuse, des analyses sophistiquées par IRM ou les appareils de micro-tomographie les plus avancés généralement peu disponibles. De l'information supplémentaire précieuse peut être obtenue à partir de l'évaluation mécanique d'échantillons d'os provenant de cadavres humains et d'animaux soumis à divers protocoles d'entraînement, d'analyses histologiques et de l'expression génétique chez les animaux entraînés. Les progrès récents dans les protocoles qui favorisent la réponse ostéogénique suite à une charge mécanique chez les animaux n'ont pas encore été évalués chez les humains, mais on s'attend à ce qu'ils stimulent une recherche nouvelle dans ce secteur (116).

L'objectif de cet énoncé de principe est de fournir des recommandations pour les types d'activités physiques les plus susceptibles de favoriser la santé osseuse. L'état actuel des connaissances sur l'activité physique capable 1) d'augmenter la masse osseuse maximale, 2) de minimiser la perte osseuse reliée à l'âge, et 3) de prévenir les chutes avec blessure et les fractures, sera ici discuté.

ÉTUDES CHEZ LES ANIMAUX

Divers modèles animaux ont été utilisés pour étudier la charge mécanique sur le squelette, mais cette section traitera principalement du modèle couramment utilisé chez le rat. De nombreux facteurs caractérisent les activités physiques susceptibles d'influencer les propriétés de l'os, incluant le type, l'intensité, la durée, et la fréquence de l'activité de charge sur l'os. Les études chez l'animal permettent de contrôler ces facteurs pour déterminer leurs contributions relatives à la réponse ostéogénique (i.e., la formation de l'os).

Type de charge

Les forces mécaniques ont des effets ostéogéniques seulement si le stress appliqué à l'os est de nature unique, variable et dynamique. La charge statique sur l'os (i.e., application d'une force prolongée, unique) ne déclenche pas la réponse adaptative qui survient avec une charge dynamique (11). Les études chez les rats ont évalué les réponses ostéogéniques à divers types d'interventions d'exercice (i.e., autre que la cage d'activité habituelle), incluant la course (tapis roulant et volontaire), la natation, les sauts, rester debout, grimper, et l'entraînement avec résistance. Les résultats ont été mitigés, le stress mécanique pouvant augmenter (26, 40, 47, 48, 121, 127, 131) ou parfois compromettre (8, 26, 92, 132) la masse, la formation, et/ou les propriétés mécaniques des os. En général, il a été trouvé que la course et la natation à une intensité modérée ont des effets positifs sur la masse osseuse et les propriétés matérielles dans les régions corticales et trabéculaires du tibia et du fémur chez le rat en croissance ou à maturité (8, 26, 47, 121, 127, 131). Cependant, des diminutions de la masse osseuse, un amincissement trabéculaire et des propriétés structurelles ont été observées en réponse à l'exercice qui est très intense et/ou excessif, particulièrement chez l'animal en croissance (26, 47, 92, 132). Il a été observé que les activités qui simulent l'entraînement de musculation chez l'humain, incluant les sauts jusqu'à une plate-forme, l'ascension volontaire d'une tour, et des exercices de "flexion des jambes" simulés, ont des effets positifs sur les régions osseuses corticales et trabéculaires du tibia et du fémur (91, 92, 126).

Un autre paradigme expérimental qui a été utilisé pour évaluer les effets ostéogéniques du stress mécanique chez l'animal est une charge externe *in vivo* contrôlée, incluant la compression du cubitus et la flexion en quatre points du tibia. Cette approche a un avantage sur les interventions d'activité physique du fait qu'elle permet un contrôle et une quantification précis des forces de la charge mécanique. Les études utilisant des charges externes confirment fortement les adaptations favorables de l'os au stress mécanique (116). Par exemple, le modèle de flexion en quatre points fut utilisé chez le rat pour démontrer que la réponse ostéogénique à une charge est grandement améliorée quand un nombre donné de cycles de charge quotidiens est réparti en plusieurs séances séparées par des périodes de repos (116). Il n'a pas encore été déterminé si de telles observations sont pertinentes pour l'humain.

Intensité de la charge

Les principales variables mécaniques associées à l'intensité de la charge incluent l'amplitude et le taux de contrainte. La contrainte est une mesure de la déformation de l'os causée par une charge externe et elle est exprimée comme le rapport de la quantité de déformation sur la longueur originale. Il est reconnu depuis longtemps que l'amplitude de la contrainte est reliée positivement à la réponse ostéogénique, mais l'accumulation de l'évidence suggère que le taux de contrainte est aussi un facteur important (11). L'augmentation du taux de contrainte, tout en gardant constant la fréquence de la charge et le maximum de la contrainte était un déterminant positif des modifications de la masse osseuse (11). Des taux élevés de contrainte ont aussi augmenté le taux de formation de l'os endocortical dans un protocole d'impact-charge *in vivo* (27,50). De telles observations mettent l'accent sur le besoin d'effectuer d'autres études sur les effets ostéogéniques des exercices qui génèrent des amplitudes et des taux de contrainte élevés, comme les activités de saut.

Durée et fréquence de la charge

Le travail fondamental de Rubin et Lanyon (102), utilisant une charge externe a démontré que seulement quelques cycles de charge (ex., 36 par jour) d'amplitude relativement élevée étaient nécessaires pour optimiser la réponse de formation de l'os; une augmentation du nombre de cycles de charge de 10 fois n'avait aucun effet supplémentaire. De plus, dans un modèle de charge plus physiologique dans lequel les rats sautaient d'une hauteur de 40 cm, aussi peu que 5 sauts par jour augmentaient la masse osseuse et la

force du tibia; une augmentation du nombre de sauts au-delà de 10 par jour ne donnait pas plus d'effet bénéfique (118). Il doit être noté que dans ces études, les niveaux de contrainte excédaient vraisemblablement ceux générés pendant les activités physiques humaines typiques. Nous ne connaissons pas les interactions entre la fréquence (répétitions par jour et séances par semaine) et l'intensité des cycles de charge en ce qui a trait à la réponse ostéogénique résultante chez les humains.

Il y a une évidence intrigante émanant d'études récentes que l'application d'un nombre donné de cycles de charge en plusieurs séances quotidiennes est plus ostéogénique que l'application du même nombre de cycles dans une séance quotidienne unique (116). Les cubitus de rat qui furent chargés 360 fois par jour en une seule séance (1x360) pendant 16 sem pouvaient absorber 94% plus d'énergie avant de se briser que les cubitus controlatéraux non chargés. Cependant, les cubitus ayant reçu 360 cycles de charge quotidiens mais sur 4 séances (4X90) absorbaient 165% plus d'énergie avant de se briser que les os non chargés (116). Ces résultats suggèrent que les cellules osseuses perdent de la sensibilité à la stimulation mécanique après un certain nombre de cycles de charge, et que des périodes de récupération sont nécessaires pour restaurer leur sensibilité à la charge. Il a été estimé que la restauration complète de la sensibilité à la charge exige un temps de récupération de 8 h chez les rats, mais des temps de récupération aussi courts que 0.5-1.0 h ont été observés comme étant plus ostéogénique qu'aucune période de récupération (116). Il sera important de déterminer chez l'humain si des périodes d'exercice courtes, quotidiennes et multiples sont plus ostéogéniques qu'une séance d'exercice quotidienne unique plus longue.

Autres considérations

La capacité du squelette à répondre à une charge mécanique peut être restreinte ou favorisée par des facteurs nutritionnels ou endocriniens. Un exemple de ceci est l'insuffisance de calcium, qui diminue l'efficacité de la charge mécanique à augmenter la masse osseuse (66). Le bilan œstrogénique est un autre exemple. Les effets indépendants des œstrogènes sur le métabolisme osseux sont bien décrits, mais des études récentes ont déterminé que la réponse adaptative des cellules osseuses au stress mécanique implique les récepteurs aux œstrogènes; le blocage des récepteurs aux œstrogènes diminue la réponse ostéogénique au stress mécanique (133). Cette observation a conduit à l'hypothèse qu'une régulation négative des récepteurs aux œstrogènes a comme conséquence qu'un déficit post-ménopausal en œstrogènes diminue la sensibilité de l'os à une charge mécanique.

Les mécanismes de mécanotransduction dans l'os (i.e., comment les forces mécaniques sont traduites en signaux métaboliques) restent à être élucidés. La découverte des éléments clés dans les voies mécanistiques révélera vraisemblablement des facteurs, potentiellement modifiables, qui influencent la réponse ostéogénique à une charge. Par exemple, il a été démontré que les prostaglandines et l'oxyde nitrique sont produits par les cellules osseuses en réponse à une charge mécanique, et que le blocage de leur production diminue la réponse de formation de l'os (16, 115). La compréhension de ces informations à partir d'études chez l'animal et de cellules osseuses en culture sera critique pour trouver des stratégies afin de maximiser les effets ostéogéniques de l'activité physique chez l'humain.

ÉTUDES CHEZ L'HUMAIN

Chez l'humain, l'activité physique semble jouer un rôle important dans *la maximisation de la masse osseuse* pendant l'enfance et le début des années adultes, *le maintien de la masse osseuse* jusqu'à

la cinquième décennie, *l'atténuation de la perte osseuse* avec le vieillissement, et *la réduction des chutes et des fractures* chez les personnes âgées. Les effets bénéfiques de l'activité physique sur la santé osseuse ont typiquement été jugés en mesurant les associations du niveau d'activité physique avec la masse osseuse et, dans moins d'études, sur l'incidence de fractures, ou par l'évaluation des modifications de la masse osseuse qui survient en réponse à une modification du niveau d'activité physique ou à un programme d'entraînement spécifique par l'exercice. Dans l'évaluation des effets ostéogéniques des programmes d'entraînement par l'exercice, les principes suivants devraient être considérés :

Spécificité. Seules les régions du squelette exposées quotidiennement à une modification des forces de charge subissent une adaptation.

Surcharge. Une réponse adaptative survient seulement si le stimulus de charge excède les conditions habituelles de charge. L'adaptation continue exige une surcharge augmentant progressivement.

Réversibilité. Les effets bénéfiques de l'exercice sur l'os peuvent ne pas persister si l'exercice est réduit de façon marquée. Cependant, le volume d'exercice sous lequel la perte osseuse survient ainsi que les différences entre les jeunes individus et les plus vieux, restent à être déterminées.

L'association de l'activité physique et en particulier l'effet des types d'exercice spécifiques sur la masse osseuse ont été évalués selon une variété de paradigmes de recherche. Tel qu'indiqué plus tôt, la majorité des études ont été transversales, comparant des non-athlètes à des athlètes qui participent dans une variété de sports, ou en comparant des personnes qui rapportent être sédentaires à d'autres qui rapportent des niveaux variés d'activité physique. À cause de nombreux facteurs confondants inhérents aux études transversales, celles-ci seront discutées seulement de façon brève. La réponse de l'os aux modifications d'activité physique et de l'entraînement par l'exercice a aussi été évaluée, incluant des études prospectives (ex. athlètes suivis au cours de cycles d'entraînement de pointe et hors-saison) et d'études d'intervention contrôlées dans lesquelles l'activité physique est augmentée (ex. entraînement par l'exercice) ou diminué (ex. repos au lit). L'évidence la plus convaincante que la charge mécanique est essentielle à l'intégrité osseuse provient d'études de repos au lit, de voyages dans l'espace, et de blessure à la moelle épinière, qui démontrent que la perte osseuse est rapide et importante quand les forces mécaniques agissant sur le squelette sont diminuées de façon marquée (31).

Une recherche plus poussée est nécessaire pour mieux comprendre les interactions de l'activité physique avec l'hérédité, la diète, les hormones, la sur-utilisation, et d'autres facteurs influençant la santé des os. Cependant, à cause d'un manque d'évidence jusqu'à maintenant, ces questions ne seront pas traitées ici.

Activité physique et la maximisation de la masse osseuse chez les enfants et les adolescents

Un facteur important influençant le risque d'ostéoporose est la masse osseuse maximale développée pendant l'enfance et le début des années adultes. Des données transversales suggèrent que la perte d'os trabéculaire débute aussi tôt que dans la troisième décennie, alors que l'os cortical augmente ou reste constant jusqu'à la cinquième décennie (74, 100). Une étude longitudinale a montré que les masses osseuses corticale et trabéculaire continuaient à augmenter légèrement chez les jeunes femmes en santé jusqu'à la fin de la troisième décennie (99).

Il a été observé que la masse osseuse est plus élevée chez les enfants physiquement actifs que chez les moins actifs (108). La masse osseuse est plus élevée chez les enfants qui participent à des activités qui génèrent des forces d'impact élevées (ex. gymnastique et ballet) que chez ceux qui participent à des activités qui occasionnent des forces d'impact plus faibles (ex. marche) ou sans support du poids (ex. natation) (12, 19, 58). Des études récentes ont mis l'emphase sur les sauts et d'autres activités à impact

élevé en se basant sur la théorie que les forces à haute intensité, imposées rapidement, produisent des gains plus importants de masse osseuse que des forces d'intensité faible- à modéré (29, 70, 72, 78, 83, 96). Les forces de réaction au sol pendant les sauts peuvent atteindre 6-8 fois le poids corporel et certains mouvements de gymnastique génèrent des forces qui sont 10-15 fois le poids corporel. En comparaison, les forces de réaction au sol pendant la marche ou la course sont 1-2 fois le poids corporel (79). La plupart des études interventionnelles chez les enfants étaient exécutées à l'intérieur des programmes scolaires et duraient entre 7 et 20 mois (29, 70, 72, 78, 83, 96). Ces études ont trouvé de façon uniforme que les enfants qui participent aux programmes expérimentaux de sauts et d'exercices à mains libres à impact élevé augmentaient leur masse osseuse à un niveau plus élevé que les enfants qui participaient à des activités habituelles. Une étude qui ajoutait la levée de poids à d'autres exercices de charge à impact élevé a trouvé des augmentations importantes de masse osseuse de la hanche, de la colonne vertébrale et de tout le corps (83). En se basant sur cette évidence, il est recommandé que l'activité physique pour les enfants inclut des activités qui génèrent des forces de réaction au sol relativement élevées, comme les sauts, le saut à la corde, et la course et possiblement, les exercices de musculation.

Le taux maximal d'accumulation des minéraux dans l'os survient à la puberté (2), avec 26% de l'acquisition des minéraux des os de l'adulte réalisée en 2 ans durant cette période (3). Ainsi, la période péri-pubertaire peut représenter une fenêtre de temps relativement courte pour maximiser la masse osseuse maximale. Les études transversales indiquent que les athlètes masculins et féminins ont une DMO spécifique au site plus élevée que les adolescents non-athlètes (123). L'effet est plus prononcé chez les athlètes qui participent à des sports qui génèrent des forces de réaction de haute intensité au sol ou aux articulations (ex. gymnastique, levée de poids) et moins prononcé chez les athlètes qui participent à des sports qui génèrent des forces de charge d'intensité plus basse.

Il y a eu peu d'études d'intervention par l'exercice chez les adolescents, toutes n'impliquant que des filles, avec des résultats contradictoires. Aucune modification significative de DMO ne fut trouvée en réponse à 6 mois d'entraînement de musculation (7), 9 mois d'entraînement de musculation et de plyométrie avec des vestes lestées (129), ou 9 mois de step aérobie et de plyométrie (44). Au contraire, des augmentations significatives de DMO sont survenues en réponse à 3 ans de gymnastique artistique (65), ou 15 mois d'entraînement de musculation (89). La différence la plus manifeste entre les études qui ont montré un effet de l'exercice et celles qui n'en ont pas montré était la durée de l'intervention. Cependant, ces études impliquaient un très petit nombre de participants et doivent être interprétées avec précaution. Il n'y a eu aucune étude bien contrôlée qui isolait les effets de la durée de l'entraînement par l'exercice sur la réponse de l'os, indépendamment des modifications du volume ou de l'intensité de l'exercice.

Trois études ont essayé de déterminer à quel point c'est dans la période péri-pubertaire que le squelette est le plus réceptif aux effets bénéfiques de l'activité physique ou de l'entraînement par l'exercice. Une étude a déterminé l'effet de 9 mois de step aérobie et de plyométrie sur le contenu minéral des os (CMO) chez des filles pré-ménarchées et post-ménarchées; des sujets contrôles furent pairés selon le statut ménarchal. Le CMO augmentait en réponse à l'exercice uniquement chez les filles pré-ménarchées (44). Une autre étude a évalué l'effet de 7 mois de plyométrie sur le CMO et la DMO chez des filles pré-pubères (stade I de Tanner) et au début de la puberté (stades II et III de Tanner). Des gains osseux significatifs furent observés chez les filles au début de la puberté, mais non chez les pré-pubères en comparaison avec des contrôles (71). Une étude transversale a évalué la DMO de l'humérus à la fois du bras dominant et non-dominant de joueuses de tennis junior pairées à des contrôles du même stade de maturité de Tanner (39). Les différences bilatérales de DMO furent semblables chez les athlètes et les contrôles au stade I de Tanner (9.4 ans), mais sont devenues progressivement plus grandes chez les

athlètes aux stades de Tanner II (10.8 ans), III (12.6 ans) et IV (13.5 ans) avec un plateau au stade V (15.5 ans). En se basant sur ces observations, l'os semble être plus sensible au stress mécanique pendant les stades II jusqu'à IV de Tanner, correspondant à la fenêtre de 2 ans qui a été identifiée (3) pour une croissance maximale minérale osseuse autour du moment de la puberté.

Des recherches plus poussées doivent élucider les meilleurs types et durées d'exercice pour augmenter la croissance osseuse et le moment pendant la période de croissance quand l'accrétion osseuse est la plus efficace. L'évidence jusqu'à maintenant supporte la même prescription indiquée précédemment pour les enfants (i.e. activités à impact relativement élevé et activités de renforcement, comme la plyométrie, la gymnastique, le soccer, le volleyball, et l'entraînement de musculation). Ces activités semblent plus efficaces pour favoriser la croissance minérale des os quand elles ont débuté avant ou au début de la période pubertaire. De plus, parce que les mesures de la géométrie osseuse peuvent émerger comme des déterminants importants de la force de l'os qui sont indépendants de la DMO (96), et qu'il semble plausible que les facteurs géométriques puissent être particulièrement responsables du stress mécanique pendant les périodes de croissance, il sera important de déterminer l'influence de l'exercice sur la géométrie de l'os chez les enfants et les adolescents.

Rôle de l'activité physique chez les jeunes adultes

Parce que l'on pense que la masse osseuse maximale est atteinte vers la fin de la troisième décennie, le début des années adultes peut être la dernière opportunité pour son augmentation. Plusieurs études transversales chez des athlètes masculins et féminins représentant une variété de sports suggèrent que les athlètes ont des valeurs de DMO spécifiques au site, plus élevées en comparaison avec les non-athlètes (123). Les valeurs de DMO ont tendance à être les plus élevées chez les athlètes qui participent à des sports avec des forces de charge très intenses, comme la gymnastique, la levée de poids, et le culturisme, et les plus basses chez des athlètes qui participent à des sports sans support du poids comme la natation. Tel qu'indiqué précédemment, les limitations inhérentes des études transversales incluent des variables confondantes comme l'hérédité, l'auto-sélection, la diète, les hormones, et d'autres facteurs.

De nombreuses études prospectives contrôlées sur des athlètes ont étudié les modifications de masse osseuse lors de périodes d'entraînement ou de désentraînement. Des différences bilatérales du CMO de joueurs de tennis de niveau national (13-25%) étaient significativement plus grandes que chez les contrôles (1-5%) et persistaient après 4 ans de retraite (63). Les études d'une durée de 7 mois à 2 ans chez des coureurs, des rameurs, des athlètes de puissance, et des gymnastes, ont toutes montré des augmentations significatives (1-5%) du CMO ou de la DMO des régions du squelette chargées par le type d'exercice spécifique exécuté pendant les périodes d'entraînement (123). Chez des gymnastes de compétition suivies pendant 2 ans (111), la DMO augmentait pendant les saisons compétitives (2-4%) et diminuaient pendant les périodes hors-saison (1%).

Certaines études d'intervention d'une durée de 6 à 36 mois ont évalué les effets des exercices qui génèrent des forces de réaction au sol et/ou de réaction articulaire relativement élevées (ex., entraînement de musculation, plyométrie) sur la masse osseuse de femmes antérieurement sédentaires. La majorité de ces études ont trouvé des augmentations significatives de la DMO du col du fémur et/ou de la colonne lombaire (1-5%) (4, 5, 28, 43, 68, 77, 112, 128). Dans deux des trois études sur l'entraînement de musculation qui n'ont pas observé d'effet significatif sur la DMO, l'intensité de l'exercice était basse à modérée (i.e., 60% de 1 RM) (34, 107). L'intensité de l'exercice était élevée dans la troisième étude (i.e., >80% de 1 RM; 5 séries; 10 répétitions; 4 j•sem⁻¹) (122), mais seulement l'exercice de poussée unilatérale de la jambe fut exécuté et cet exercice peut ne pas avoir été assez spécifique aux sites étudiés pour l'adaptation de la colonne vertébrale et le col du fémur, parce qu'il fut

exécuté dans une position assise (109). Deux études ont trouvé une diminution non-attendue de DMO en réponse à un exercice ayant un impact relativement élevé. Dans une des études (101), il n'y a pas eu de modification de la DMO du col du fémur mais une diminution de 4% de la DMO de la colonne lombaire après 9 mois d'entraînement de musculation. L'intensité de l'exercice était modérée (i.e., 70% de 1RM). Dans l'autre étude (124), il y a eu une augmentation significative du CMO de tout l'organisme (1-2%), une augmentation non-significative de la DMO vertébrale (1%), et une diminution significative de DMO du col fémoral (1.5%) en réponse à 2 années d'entraînement en résistance et de saut à la corde; cependant, l'assiduité à l'exercice était faible (i.e., 45%). Alors, bien qu'il y a des évidences que l'entraînement par l'exercice puisse augmenter la DMO chez les jeunes femmes adultes, un certain nombre de facteurs comme l'intensité des forces de charge, la spécificité du site de l'exercice, et l'adhésion au programme peuvent être des déterminants importants de l'efficacité relative.

L'entraînement par l'exercice qui génère des forces de charge d'intensité élevée (i.e., contrainte élevée) peut aussi produire des modifications de la composition corporelle (i.e., masse grasse et masse maigre) et de la force musculaire. Ceci a stimulé l'intérêt pour les effets additionnels et interactifs potentiels des modifications de la composition corporelle et de la force avec les effets directs de la charge mécanique sur la DMO. Dans plusieurs études, des corrélations significatives de la masse corporelle, de la masse grasse, de la masse maigre, et de la force musculaire avec la DMO totale et régionale ont été observées. Ces facteurs expliquaient jusqu'à 50% de la variance de la DMO (109, 113). Les haltérophiles ont typiquement des niveaux élevés de masse maigre et de force en comparaison avec les autres athlètes et la DMO a aussi tendance à être la plus élevée chez ces athlètes. Pour les exercices, comme la l'haltérophilie, qui génèrent des forces de charge au squelette principalement grâce à des forces de réaction articulaires (i.e., contractions musculaires) plutôt que des forces de réaction au sol, il semble vraisemblable que des augmentations de la masse osseuse surviendront seulement si l'exercice est suffisamment intense pour causer une augmentation de la masse musculaire.

Bien que des activités physiques impliquant une charge d'intensité élevée sur le squelette soient recommandées pour optimiser et maintenir la masse osseuse chez les jeunes adultes, les effets bénéfiques peuvent ne pas être atteints en présence d'insuffisances hormonales ou de carences nutritives ou d'un syndrome de sur-utilisation. La *Triade de la Femme Sportive*, qui consiste en des troubles de l'alimentation, de l'aménorrhée, et de l'ostéoporose, est un exemple de l'inefficacité de l'exercice pour contre-carrer pleinement les effets nuisibles des autres facteurs de la santé des os. Ceci est révisé dans l'Énoncé de Principe de l'ACSM sur ce sujet (94). Des carences en calcium et en d'autres nutriments qui peuvent limiter les effets ostéogéniques de l'exercice ont été rapportés antérieurement (67), ainsi que les syndromes de sur-utilisation comme les fractures de stress causées par des forces de charge répétitives ou extrêmes (10).

Rôle de l'activité physique chez les adultes d'âge moyen et plus âgés

La masse osseuse diminue à un taux d'environ 0.5% par année ou plus après 40 ans, indépendamment du sexe ou de la race. Dans ce contexte, il est important de reconnaître que les bénéfices de l'exercice chez les personnes d'âge moyen et plus âgées peuvent être reflétés par une atténuation du taux de perte osseuse. Le taux de perte varie selon la région du squelette et est vraisemblablement influencé par des facteurs comme l'hérédité, l'alimentation, le bilan hormonal, et l'activité physique habituelle, rendant difficile de déterminer l'ampleur jusqu'où la diminution de la masse osseuse est une conséquence inévitable du processus de vieillissement. Chez les femmes, la baisse des oestrogènes à la ménopause cause une perte osseuse rapide qui est distincte de la perte plus lente reliée à l'âge. Les comparaisons des athlètes pré- et post-ménopausées suggèrent que même des niveaux très intenses d'activité physique ne préviennent pas la perte de minéraux des os produite par la

ménopause (32, 41, 59, 81, 103). Aucune étude interventionnelle chez des femmes péri-ménopausées n'a déterminé si l'exercice atténue la perte osseuse pendant la transition ménopausale. Cependant, la Nurses' Health Study (24) a étudié l'interaction entre l'utilisation de l'hormonothérapie et l'activité physique sur le risque relatif de fracture de la hanche. Le risque de fracture de la hanche fut réduit de 60-70% chez les femmes sous hormonothérapie de remplacement indépendamment du niveau d'activité physique quand elles sont comparées à des femmes sédentaires sans hormonothérapie. Parmi les femmes ne recevant pas d'hormonothérapie, celles qui sont dans le quintile le plus élevé d'activité physique ($>24 \text{ MET}\cdot\text{h}\cdot\text{sem}^{-1}$) avaient aussi une réduction de 67% du risque de fracture de la hanche, suggérant qu'un niveau élevé d'activité physique peut prévenir les fractures même s'il n'atténue pas la perte osseuse. La masse maigre reste un déterminant plus important de la masse osseuse avec le vieillissement que ce soit la masse totale ou la masse grasse, bien que la masse grasse puisse aussi être un déterminant indépendant (1,6). Ainsi, les activités physiques qui aident à préserver la masse musculaire (ex., exercice de musculation) peuvent aussi être efficaces dans la conservation de la masse osseuse.

L'effet de l'exercice sur la masse osseuse des femmes post-ménopausées a reçu une attention considérable au cours des trois dernières décennies. Les programmes d'exercice ont inclus la marche rapide, le jogging, la montée/descente des marches, l'aviron, la levée de poids, et/ou les exercices de saut. La conclusion générale des méta-analyses des études publiées est qu'une variété de types d'exercice peut être efficace pour préserver la masse osseuse des personnes plus âgées (54,55).

Les programmes de marche d'une durée de moins d'une année n'ont donné que des effets modestes (88) ou aucun effet (13, 88) sur la préservation de la masse osseuse. Ceci n'est pas surprenant car la marche ne génère pas de force de charge d'intensité élevée, et ne représente pas un stimulus unique pour l'os chez la plupart des individus. Ces résultats n'éliminent pas la possibilité que la marche habituelle pendant plusieurs années aide à préserver les os. Les études qui incluaient les activités avec des forces de charge d'intensité plus élevée, comme la montée des marches et le jogging, ont généralement observé une réponse plus positive du squelette (17, 23, 60, 90, 95, 98).

Les essais d'intervention par l'exercice qui incluaient l'entraînement de musculation progressif d'intensité élevée ont observé des augmentations de la DMO à la hanche et à la colonne vertébrale chez des femmes ayant une insuffisance en oestrogènes (22, 56, 57, 60, 82, 87) et chez les femmes sous hormonothérapie de remplacement (HTR) (35, 82). L'entraînement en musculation à intensité modérée ne génère pas la même augmentation de DMO à la hanche qu'à intensité élevée (56, 57). Dans une étude, l'augmentation de la DMO était reliée linéairement à la quantité totale de poids levée dans un programme d'entraînement de musculation progressif (22).

La réponse oestrogénique à l'exercice avec des sauts (i.e. sauts verticaux à partir d'une position debout) semble être moins importante chez les femmes post-ménopausées que chez les enfants et les jeunes adultes. Les exercices avec sauts qui augmentaient la DMO de la hanche chez des femmes pré-ménopausées n'étaient pas efficaces chez les femmes post-ménopausées ne recevant pas d'HTR, même quand la durée du programme d'exercice fut prolongée (5). Bien que non-significative, la réponse des femmes post-ménopausées recevant de l'HTR était intermédiaire à celle des femmes pré-ménopausées et des femmes post-ménopausées ne recevant pas d'HTR. Il devrait être noté que le stimulus exercice dans l'étude était constant, plutôt que progressif tel qu'il serait typiquement prescrit. Dans une étude de 5 ans sur un petit groupe de femmes post-ménopausées, celles qui faisaient de l'exercice avec des vestes lestées d'en moyenne 5 kg pendant l'activité de saut préservaient la DMO de la hanche davantage que les sujets contrôles (110). Il y a une évidence préliminaire que la combinaison de l'exercice avec une thérapie aux bisphosphonates peut être efficace pour prévenir les fractures ostéoporotiques (119).

Les observations récentes que les antagonistes des récepteurs aux oestrogènes diminuent la réponse des cellules osseuses au stress mécanique (15) ont soulevé la possibilité qu'une rétro-régulation

des récepteurs aux oestrogènes comme conséquence d'une carence post-ménopausale en oestrogènes réduit la sensibilité de l'os à une charge mécanique (49). En effet, il y a des évidences que les exercices qui génèrent des forces de charge d'une intensité élevée sont plus efficaces pour augmenter la DMO chez les femmes post-ménopausées recevant de l'HTR que chez les femmes sans HTR (61, 62, 82,90), bien que ce ne soit pas une observation toujours présente (42). Aussi, il n'est pas clair si les effets du stress mécanique et de l'HTR sont indépendants ou si l'HTR module la réponse de l'os au stress mécanique.

La vaste majorité de la recherche sur la prévention de l'ostéoporose a mis l'emphase sur les femmes parce que l'incidence de fracture ostéoporotique n'augmente pas de façon marquée chez les hommes avant la huitième ou neuvième décennie (21). La recherche sur l'efficacité de l'activité physique pour préserver la santé des os chez les hommes est par conséquent rare, mais devient de plus en plus importante à cause de l'augmentation du nombre d'hommes âgés.

Une forte association entre la DMO et le jogging fut observée chez 4254 hommes âgés de 20-59 ans (86). Les hommes qui joggaient neuf fois ou plus par mois avaient des niveaux de DMO plus élevés que les hommes qui joggaient moins fréquemment. Dans une étude prospective d'une durée de 5 ans chez des coureurs d'âge moyen et plus vieux (81), le taux de perte osseuse était atténué chez les coureurs en comparaison avec les contrôles. Parmi les coureurs, des diminutions de la DMO furent plus prononcées chez les hommes qui diminuaient de façon substantielle leur volume de course. La conclusion générale originant d'une méta-analyse des études d'intervention d'exercice publiées était que l'exercice peut améliorer ou maintenir la DMO chez les hommes (53).

Plusieurs études ont évalué les effets de l'entraînement de musculation sur la masse osseuse des hommes âgés (9, 73, 76, 80, 130). La durée de l'exercice s'échelonnait de 3 à 24 mois et l'intensité de l'exercice était de modérée à élevée. Dans toutes les études à l'exception d'une (76), des bénéfices de l'entraînement de musculation sur la DMO furent observés, plus communément au fémur. L'étude qui n'a pas trouvé un effet bénéfique utilisait une intensité d'exercice modérée. En général, les améliorations de la DMO en réponse à l'exercice furent de la même grandeur relative que celles observées chez les femmes, bien que des augmentations beaucoup plus grandes furent observées chez les patients masculins ayant subi une transplantation cardiaque qui ont exécuté un entraînement de musculation d'une durée de 6 mois (9). Ainsi, les types de programmes d'exercice qui aident à préserver la masse osseuse chez les femmes âgées semblent aussi être efficaces chez les hommes.

Activité physique et risque de fracture

Les fractures ostéoporotiques surviennent avec un traumatisme minimal dans les os affaiblis par une faible DMO ou une géométrie défavorable (ex., longueur ou angle de la région proximale du col du fémur). Les sites les plus communs de fracture ostéoporotique sont le radius distal, la colonne vertébrale le col et le trochanter du fémur. Il n'y a eu aucun essai contrôlé randomisé sur l'efficacité de l'exercice pour réduire les fractures et un tel essai serait extrêmement difficile à exécuter, en partie à cause de la grosseur de l'échantillon et de la période d'observation longue qui seraient requises. Il y a des évidences encourageantes provenant d'une étude sur un petit échantillon de femmes post-ménopausées. En effet, un essai clinique de 2 ans d'exercice de renforcement du dos réduisait l'incidence de fractures vertébrales au cours des 8 années subséquentes (106). Cependant, il existe peu d'autres évidences provenant d'essais prospectifs qui indiqueraient que l'activité physique réduit l'incidence de fracture vertébrale ou au poignet (36).

Il y a de nombreuses évidences considérables provenant d'études épidémiologiques que l'inactivité physique est un facteur de risque de la fracture de la hanche. Il a été observé que l'incidence de fracture de la hanche était 20-40% inférieure chez les individus qui rapportaient être physiquement actifs que

chez ceux qui rapportaient être sédentaires (37, 75). Les femmes et les hommes âgés qui étaient chroniquement inactifs (i.e. faible fréquence de montée des marches, jardinage, ou autres activités avec support du poids) avaient au minimum deux fois plus de chance de souffrir d'une fracture de la hanche que ceux qui étaient physiquement actifs, même après avoir contrôlé pour des différences d'indice de masse corporelle, de tabagisme, de consommation d'alcool, et manque d'autonomie (18). Une étude prospective sur plus de 30,000 Danois et Danoises a observé que l'incidence de fracture de la hanche chez les personnes actives qui devenaient sédentaires était deux fois plus élevée que chez celles qui restaient physiquement actives (45). Dans la Finnish Twin Cohort, les hommes qui rapportaient une participation à une activité physique intense avaient un risque relatif de fracture de la hanche 62% plus faible que les hommes qui rapportaient ne pas participer pas à une activité physique intense (64). La Nurses' Health Study avec plus de 61,000 femmes post-ménopausées suggérait que le risque relatif de fracture de la hanche était réduit de 6% pour chaque 3 MET•h•sem⁻¹ d'activité physique, ce qui est approximativement équivalent à 1 h de marche par semaine (24). Fait intéressant, les femmes qui déclaraient marcher au moins 4 h•sem⁻¹ avaient un risque de fracture de la hanche 41% inférieur à celui des sédentaires qui marchaient moins de 1 h•sem⁻¹. Ceci suggère que même une activité avec support du poids de basse intensité, comme la marche, peut être bénéfique pour réduire le risque de fracture, même si des modifications minimales de la DMO seraient attendues.

L'activité physique régulière peut aider à prévenir les fractures en préservant la masse osseuse et/ou en réduisant l'incidence de chutes causant des blessures. Plusieurs facteurs contribuent aux chutes, incluant une diminution du contrôle postural, une mauvaise vision, une réduction de la force musculaire, une réduction de l'amplitude de mouvement des membres inférieurs, un déficit cognitif ainsi que des facteurs extrinsèques comme des médicaments psychotropes et les obstacles qui font trébucher. Les interventions d'exercice sont efficaces pour réduire les chutes seulement si elles sont dirigées vers des individus chez lesquels la cause de chute implique des facteurs qui sont susceptibles de s'améliorer à l'exercice (ex. insuffisance de force musculaire, d'équilibre, ou d'amplitude de mouvement). Des révisions et des méta-analyses d'essais randomisés (14, 30, 37) suggèrent que les essais d'exercice qui incluaient un entraînement de l'équilibre, de la force des jambes, de la flexibilité, et/ou de l'endurance réduisaient efficacement le risque de chute chez les adultes âgés.

Il doit être noté que certaines études ont trouvé peu ou pas d'effet des interventions d'exercice sur l'incidence de chute (69,84). Une révision récente de la base de données Cochrane a conclu que l'exercice seul ne réduit pas le risque de fracture chez les femmes et les hommes âgés (33). Une raison avancée pour le manque d'effet positif était que les études ciblaient fréquemment des résidents en institution très fragiles, qui avaient vraisemblablement de nombreux facteurs de risque de chute qui ne sont pas améliorables par l'exercice (ex. mauvaise vision). De plus, si l'intensité de l'exercice est trop faible (commun dans les études chez les personnes âgées fragiles), des gains minimes de force musculaire peu susceptibles d'aider à réduire le risque de chute seront obtenus. Finalement, nous devons reconnaître que la probabilité de chuter augmente si la personne devient plus active, particulièrement chez les personnes âgées habitant en ville (97, 114).

Le type de programme d'exercice qui pourrait réduire les chutes reste à être déterminé (14). En effet, des études avec des observations positives et négatives se chevauchent beaucoup dans le type d'activité utilisé (i.e., visant la force, l'endurance, l'équilibre, ou la flexibilité), la durée de l'exercice et la fréquence des séances d'entraînement (51). Il semble que l'entraînement de l'équilibre est une composante critique de ces programmes et devrait être inclus dans les interventions d'exercice chez les individus âgés ayant un risque de chute. L'amélioration de la force musculaire a été suggérée comme étant un des moyens les plus efficaces pour réduire l'incidence de chutes et de fractures chez les personnes âgées. En effet, le développement de la force musculaire a des effets bénéfiques sur les

nombreux facteurs de risque de fracture, comme une faible DMO, une vitesse de marche lente, de faibles niveaux d'absorption de l'énergie par les tissus mous, et l'immobilité (75). Il y a des évidences nouvelles que les gains de capacités fonctionnelles après un programme de musculation augmenteraient l'activité physique volontaire chez les adultes âgés (46) ainsi que chez les personnes très âgées vivant en institution (25). La capacité des personnes âgées très fragiles à faire de l'exercice à des intensités relativement élevées est habituellement sous-estimée, bien que la faisabilité d'établir des programmes communautaires qui utilisent l'entraînement intensif, qui a montré son efficacité à augmenter la force musculaire et à améliorer la capacité fonctionnelle (25) est vraisemblablement limitée par le défi d'implanter de tels programmes hors d'un cadre de recherche.

CONCLUSIONS

L'activité physique avec support du poids a des effets bénéfiques sur la santé des os à tous les âges. Les évidences sont que les activités physiques générant des forces de charge d'intensité relativement élevée, comme la plyométrie, la gymnastique, et l'entraînement de musculation à intensité élevée, augmentent l'accumulation des minéraux osseux chez les enfants et les adolescents. Ceci est compatible avec les conclusions d'études chez les animaux où la réponse ostéogénique au stress mécanique est maximisée par des forces de charge dynamiques qui engendrent une contrainte ayant une ampleur et un taux élevés. De plus, il y a un certain niveau d'évidence que les gains de masse osseuse engendrés par l'exercice chez les enfants et les adolescents sont maintenus à l'âge adulte, suggérant que les habitudes d'activité physique à l'enfance peuvent avoir des effets bénéfiques de longue durée sur la santé des os. Il n'est pas encore possible de décrire en détail un programme d'exercice pour les enfants et les adolescents qui optimisera le gain de la masse osseuse maximale, parce qu'il manque des études dose-réponse quantitatives. Cependant, l'évidence provenant de nombreux petits essais contrôlés randomisés suggère que *la prescription d'exercice suivante augmentera l'accumulation minérale osseuse chez les enfants et les adolescents* :

Type : activités avec impact, comme la gymnastique, la plyométrie, et des sauts, et un entraînement de musculation d'intensité modérée; la participation dans des sports qui impliquent de la course et des sauts (soccer, basketball) aura vraisemblablement des effets bénéfiques, mais il manque d'évidence scientifique

Intensité : élevée, en termes de forces de charge sur les os; pour des raisons de sécurité, l'entraînement de musculation devrait être $\leq 60\%$ de 1RM

Fréquence : au moins $3 \text{ j}\cdot\text{sem}^{-1}$

Durée : 10-20 min (2 fois par jour ou plus pour être plus efficace)

À l'âge adulte, l'objectif principal de l'activité physique devrait être de maintenir la masse osseuse. La possibilité que les adultes puissent augmenter significativement leur DMO avec l'entraînement par l'exercice reste à être déterminée. Quand des augmentations ont été rapportées, c'était en réponse à un exercice en endurance avec support du poids ou en musculation à une intensité relativement élevée. Les gains de DMO ne semblent pas être préservés quand le programme d'exercice est arrêté. Les études observationnelles suggèrent que la diminution de la DMO associée à l'âge est atténuée, et que le risque relatif de fracture est réduit, chez les personnes qui sont physiquement actives, même quand l'activité n'est pas particulièrement intense. Cependant, il n'y a aucun grand essai contrôlé randomisé qui confirme ces observations et il n'y a pas d'étude dose-réponse adéquate pour déterminer le volume d'activité physique requis pour de tels effets bénéfiques. La recherche chez l'animal a démontré que la charge mécanique génère des améliorations de la force de l'os (i.e., résistance à la

fracture) qui sont disproportionnelles aux augmentations de la masse osseuse. Ceci supporte le concept que l'activité physique peut réduire le risque de fracture même en l'absence de modifications de la DMO. La confirmation de cette hypothèse chez les humains exigera de grands essais contrôlés randomisés, sur les effets de l'activité physique sur l'incidence de fracture. Bien qu'il soit probable que des progrès technologiques permettant l'évaluation *in vivo* de la force des os apportent un éclairage pour voir si cela se produit. L'évidence provenant de nombreux petits essais contrôlés, randomisés sur l'efficacité de l'exercice à augmenter ou maintenir la DMO suggère que la santé des os des adultes sera influencée favorablement par le maintien d'un niveau élevé d'activité physique quotidien tel que recommandé par le U.S. Surgeon General (117), si l'activité implique le support du poids. Il est important de noter que, bien que l'activité physique puisse contrecarrer jusqu'à un certain point la diminution de la masse osseuse liée à l'âge, il n'y a actuellement aucune évidence majeure que même une activité physique intense puisse atténuer la perte de minéraux des os liée à la ménopause chez les femmes. Alors, la pharmacothérapie pour la prévention de l'ostéoporose peut être indiquée même pour les femmes post-ménopausées qui sont habituellement physiquement actives. Compte tenu de l'état actuel des connaissances provenant de nombreux petits essais contrôlés, randomisés et d'études épidémiologiques, *la prescription d'exercice suivante est recommandée pour aider à préserver la santé osseuse à l'âge adulte :*

Type : activités en endurance avec support du poids (tennis; montée des marches; jogging, au moins de façon intermittente pendant la marche), activités qui impliquent des sauts (volleyball, basketball), et exercices de musculation (levée de poids)

Intensité : modérée à élevée, en terme de forces de charge sur les os

Fréquence : activités en endurance avec support du poids 3-5 fois par semaine; exercices de musculation 2-3 fois par semaine

Durée : 30-60 min•j⁻¹ d'une combinaison d'activités en endurance avec support du poids, d'activités qui impliquent des exercices de saut et de musculation qui ciblent tous les principaux groupes musculaires

Présentement, il n'est pas possible de quantifier facilement l'intensité de l'exercice en termes de force de charge sur l'os, particulièrement pour les activités en endurance avec support du poids. Cependant, en général, l'ampleur des forces de charge sur l'os augmente de façon parallèle avec l'augmentation de l'intensité de l'exercice quantifiée par des méthodes conventionnelles (ex., pourcentage de la fréquence cardiaque maximale ou pourcentage de 1RM.

La recommandation générale que les adultes maintiennent un niveau relativement élevé d'activité physique avec support du poids pour la santé des os n'a pas de limite supérieure pour l'âge, mais à mesure que l'âge augmente, le besoin de s'assurer que les activités physiques peuvent être exécutées de façon sécuritaire augmente aussi. En tenant compte des effets rapides et marqués de l'immobilisation et du repos au lit sur la perte d'os et du mauvais pronostic pour la récupération des minéraux après l'immobilisation, même les personnes âgées les plus fragiles devraient rester aussi actives que leur santé le permet pour préserver l'intégrité du squelette. *Les programmes d'exercice pour les hommes et les femmes âgés devraient inclure non seulement des activités d'endurance avec support du poids et de musculation visant une préservation de la masse osseuse, mais aussi des activités visant l'amélioration de l'équilibre et la prévention des chutes.*

Le maintien d'un niveau intense d'activité physique à travers toute la vie devrait être considéré comme une composante essentielle de la prescription pour atteindre et maintenir une santé des os optimale. Plus de recherche est requise pour définir le type et la quantité d'activité physique les plus efficaces pour développer et maintenir l'intégrité du squelette et minimiser le risque de fracture.

REMERCIEMENTS

Cette déclaration fut révisée pour l'American College of Sports Medicine par les membres en général et par le Comité des Déclarations, et par Debra Bembien, Ph.D., FACSM; Patricia Fehling, Ph.D., FACSM; Scott Going, Ph.D.; Heather McKay, Ph.D.; Charlotte Sanborn, Ph.D., FACSM; et Christine Snow, Ph.D., FACSM.

Cet Énoncé de Principe remplace l'Énoncé de Principe de l'ACSM de 1995 "Ostéoporose et Exercice" Med. Sci. Sports Exerc. 27 (4) : i-vii, 1995.

RÉFÉRENCES

Veillez consulter la version originale Med. Sci. Sports Exerc., 36(11) : 1997-2003, 2004 ou sur le site www.acsm.org