

---

# 10

## Bénéfices de l'activité physique sur l'équilibre

Les bénéfices de l'activité physique dans de nombreux domaines sont bien identifiés mais la littérature est peu abondante en ce qui concerne l'effet d'une telle activité au long cours sur le vieillissement de la fonction d'équilibration, la force musculaire et sur le risque de chute. Ceci s'explique au plan méthodologique d'une part par la rareté des études longitudinales sur une pratique régulière et d'autre part, par les difficultés de l'évaluation des effets sur les facteurs de risque de chute, le nombre de chutes ou de fractures.

Quelques études rapportent que les sujets pratiquant une activité physique conservent de meilleures performances posturales que les sujets sédentaires. Une étude française incluant un nombre limité de sujets (43 femmes et 22 hommes, âgés de 60 à 85 ans) indique que les sujets ayant pratiqué une activité physique au long cours ont de meilleures performances d'équilibre statique (mesuré sur plateforme de posturographie) que les sujets sédentaires (Perrin et coll., 1999). De même, une étude observationnelle chez 66 sujets de plus de 65 ans, pratiquant régulièrement la marche, montre de meilleures performances sur plateforme de force, en simple et double-tâche (Melzer et coll., 2003). Plus récemment, Carvalho et coll. (2010) ont observé que les sujets pratiquant une activité physique conservent des meilleures performances posturales que les sujets sédentaires. Ce volet du contrôle postural témoigne de la coordination entre posture et mouvement qui semble particulièrement fragile au cours du vieillissement. Dans cette étude, malgré des effectifs faibles, la population était séparée en trois groupes : les sujets pratiquant depuis longtemps, les sujets initiés récemment et les sédentaires. Les données électromyographiques des muscles de la cheville lors de l'élévation du bras, révèlent un effet positif sur la préservation qualitative des stratégies d'anticipation.

Dans le cadre de la prévention de la chute, la construction de programmes d'exercices s'appuie sur les connaissances actuelles du contrôle de la posture et de la motricité. L'objectif de ces programmes est de favoriser l'élaboration de nouvelles stratégies se substituant aux fonctions déficitaires, c'est-à-dire la mise en place de nouvelles réponses à une même situation. Les exercices doivent mettre l'accent sur l'amélioration de l'équilibre dynamique, lors de mouvements volontaires, mais également lors de perturbations imprévisibles.

## Programmes d'exercices pour l'amélioration de la posture, de l'équilibre et de la marche

L'efficacité de l'entraînement de la fonction d'équilibration et de la marche interroge à la fois le champ de l'activité physique, de la rééducation ainsi que celui de la recherche fondamentale afin de comprendre les mécanismes d'action de l'entraînement sur le contrôle central de la posture, le traitement des informations sensorielles et l'activité musculaire.

### Types d'exercice pour améliorer l'équilibre

Le maintien de l'équilibre lors de la station debout ou assise et lors des déplacements résulte de la coopération entre d'une part, les systèmes sensoriels capables de détecter les positions et déplacements du corps et des objets dans l'espace, et d'autre part, la mise en jeu des réponses musculaires qui fournissent les réactions posturo-cinétiques appropriées.

Les programmes visant la fonction d'équilibration reposent sur différents types d'exercices comme l'indique la revue *Cochrane* 2011 (Howe et coll., 2011). Cette revue qui a analysé 94 essais contrôlés randomisés, soit 9 917 participants âgés de 60 ans et plus, permet une classification des différents types d'exercices les plus souvent utilisés pour améliorer l'équilibre (tableau 10.I). Ont été inclus des individus en bonne santé et des personnes fragiles, vivant à domicile ou en institution. En général, les programmes qui se sont révélés efficaces, avaient lieu trois fois par semaine pendant trois mois.

**Tableau 10.I : Classification des différents types d'exercices le plus souvent utilisés pour l'amélioration de l'équilibre dans la revue *Cochrane* de 2011\* (d'après Howe et coll., 2011)**

Types d'exercices	Résultats
Marche/équilibre/coordination, exercices fonctionnels	Effets significatifs positifs (10 études analysables)
Entraînement musculaire (exercices de résistance ou de puissance)	Effets positifs significatifs à la fin du programme d'exercice (11 études analysables)
<i>Tai chi, danse, qi gong, yoga</i>	Effets positifs significatifs (7 études analysables)
Activité physique générale : marche	Absence d'effets positifs significatifs (5 études analysables)
Activité physique générale : vélo	1 étude (54 participants) ; pas d'effet significatif
Technologies avec feed-back visuel	Aucun effet significatif (2 études analysables)
Plateformes vibrantes	Aucun effet significatif (1 étude analysable)
Combinaison d'exercices multiples (combinaisons de ce qui précède)	Effets positifs significatifs à la fin du programme ; seul le TUG reste amélioré à 3 mois de suivi (28 études analysables)

\* La significativité porte sur 4 critères principaux : TUG (*Timed Up and Go*), station unipodale, vitesse de marche, échelle d'équilibre de Berg

Cette revue montre un niveau de preuve assez modeste en raison de différences majeures dans les méthodes. Les études futures devront prendre en compte le type d'exercices détaillé dans cette classification et harmoniser les critères d'évaluation.

## Améliorer l'équilibre dynamique

L'équilibre dynamique correspond à la capacité de contrôler la position du corps alors que le centre de masse est déplacé au-delà de la base de sustentation. La défaillance du contrôle de l'équilibre dynamique étant fréquemment retrouvée dans les mécanismes de la chute chez le sujet âgé, plusieurs études récentes suggèrent l'intérêt du travail des réactions « para-chute », c'est-à-dire en situation d'instabilité (*perturbation-based balance training*). En effet, un entraînement dans des situations de perturbation de l'équilibre rencontrées dans la réalité, pourrait réduire le temps de réaction et avoir un intérêt pour prévenir les chutes (Granacher et coll., 2011).

Nous porterons un regard particulier sur les interventions comprenant spécifiquement des exercices d'équilibre dynamique (rattrapage de l'équilibre en position debout, passage d'obstacles...) et/ou des méthodes d'évaluation mesurant les stratégies de contrôle de l'équilibre dynamique.

Ainsi, dans l'étude de Weerdesteyn et coll. (2008), 95 sujets chuteurs de plus de 65 ans ont bénéficié d'un programme de 5 semaines, à raison de 2 séances par semaine, associant particulièrement des exercices assis-debout, de double-tâche motrice et cognitive, des exercices de marche, avec variations de vitesse et de direction. L'évaluation de ce programme a été réalisée sur tapis roulant lors de la marche avec passage d'obstacles : la mesure des temps de réaction, des stratégies et des caractéristiques du pas lors du passage d'obstacles montrait un effet de l'entraînement susceptible d'intervenir favorablement sur le risque de chute.

Le demi-tour est une stratégie importante dans les actes de la vie quotidienne. Jusqu'à présent, elle n'a fait essentiellement l'objet que d'une étude susceptible d'éclairer la construction de programmes d'équilibre dynamique adaptés à la population âgée (Akram, 2010). Les stratégies, utilisées par des sujets âgés en bonne santé lors de demi-tours, analysées en images consistent à utiliser le tronc contrairement aux sujets jeunes qui, par anticipation, orientent la pointe du pied du côté du changement de direction. Ce résultat témoigne d'une modification précoce de la capacité au demi-tour, suggérant que certaines stratégies complexes se fragilisent progressivement avec l'âge, mais aussi que l'on peut intervenir précocement pour prévenir ce déclin. Une étude met l'accent sur le risque de chute dans cette activité chez les sujets parkinsoniens (Cheng et coll., 2014).

Les retards dans la modification de la base de sustentation étant à l'origine de nombreuses chutes chez le sujet âgé, il semble particulièrement intéressant d'inclure des sollicitations de ce type dans les programmes d'intervention.

Dans une étude menée chez 38 sujets de 65 à 75 ans, répartis en deux groupes expérimentaux et un groupe témoin, l'entraînement proposé au premier groupe expérimental était un programme d'équilibre dynamique basé sur des modifications de la base de sustentation dans tous les plans de l'espace (Arampatzis et coll., 2011). Dans le deuxième groupe expérimental, les sujets bénéficiaient d'un programme identique auquel était ajouté du renforcement musculaire selon les méthodes classiques. L'entraînement durait 14 semaines à raison de 1,5 h, 2 fois par semaine. La modification de la base de sustentation était recherchée en se laissant tomber en avant et en déclenchant une réaction de protection d'un membre inférieur. L'évaluation était réalisée sur plateforme de force, avec un système d'analyse du mouvement et un système Biodex pour la force musculaire. Comparés au groupe témoin, les deux groupes expérimentaux affichaient des améliorations similaires (marge de stabilité, temps de réaction, moment de flexion de hanche). Bien que le nombre de sujets évalués soit faible, cette étude suggère qu'un entraînement spécifique de la capacité à modifier plus ou moins rapidement la base de sustentation, sans effet ajouté d'un entraînement musculaire traditionnel, présente une certaine efficacité pour la capacité à recouvrer son équilibre.

Des effets assez similaires étaient recherchés dans l'étude d'Aragao et coll. (2011) qui ont testé l'efficacité d'un programme contrôlé d'exercices sur mini trampoline chez 38 sujets de  $67 \pm 4$  ans. Après 14 semaines d'entraînement, les sujets entraînés indiquaient une meilleure capacité à rétablir l'équilibre suite à un déséquilibre.

Selon l'analyse comparative de Granacher et coll. (2011), le travail de l'équilibre dynamique (para-chute) aurait un effet supérieur à l'entraînement de l'équilibre classique sur la capacité à rétablir l'équilibre. Cette donnée nécessite d'être confirmée ainsi que les mécanismes sous-jacents impliqués dans ce processus adaptatif.

En plus des processus de type réactif lors des déséquilibres, il existe par ailleurs des réactions proactives destinées à anticiper le déséquilibre. L'étude de Kubicki et coll. (2012) menée chez 16 personnes saines et autonomes, âgées de 68 ans ou plus, porte spécifiquement sur la capacité à améliorer les adaptations posturales anticipées. Les résultats ont mis en évidence, en six séances d'entraînement, une optimisation des composantes focales et posturales du mouvement de pointage rapide du membre supérieur. Les patients pointaient plus rapidement vers la cible (sans dégradation associée de la précision du mouvement), et leur centre de pression se déplaçait plus rapidement, notamment pendant la phase de contrôle postural anticipé.

Il est à noter que des exercices d'équilibre dynamique sont retrouvés dans de nombreux programmes ou méthodes sans pour cela être identifiés comme tels.

### Améliorer la marche

La marche est avant tout une activité d'équilibre dynamique, nécessitant le rattrapage permanent de l'équilibre en regard d'une base de sustentation qui se déplace. Elle est modifiée chez le sujet âgé parallèlement aux altérations de la fonction d'équilibration (voir chapitre 7). Avec l'âge, la marche se modifie de manière insidieuse avec une tendance à la diminution de la vitesse de marche et de la longueur du pas, et à l'augmentation du temps de double appui ; elle requiert une attention plus soutenue pour compenser la faiblesse de l'automatisme.

L'amélioration de la vitesse de marche et des paramètres cinématiques (longueur du pas, cadence...) constitue un objectif important dans les programmes de prévention de la chute.

Un entraînement direct à la marche pendant 60 à 75 mn, 3 fois par semaine pendant 7 semaines, dans une population d'âge moyen égal à  $73,4 \pm 3,9$  ans montre une diminution du coût énergétique et une augmentation de la vitesse confortable de marche (Malatesta et coll., 2010).

Plusieurs études suggèrent que les exercices d'équilibre sont susceptibles d'améliorer la marche. Certains programmes comportent des exercices spécifiques avec des variations de la vitesse, des changements de direction, des passages d'obstacles et des sollicitations cognitives couplées à la marche selon le principe de double-tâche.

Dans une méta-analyse comprenant 117 études, Lopopolo et coll. (2006) ont étudié l'impact de l'exercice thérapeutique (entraînement de la force et programmes combinés d'exercices, incluant exercices aérobiques à d'autres exercices) sur la vitesse de marche : 24 études (n=1 302 sujets) répondaient aux critères d'inclusion pour l'évaluation de la vitesse de marche habituelle et 18 études (n=752 sujets) aux critères d'inclusion pour l'évaluation de la vitesse de marche rapide. Les exercices de musculation (renforcement musculaire des muscles des membres inférieurs) et les programmes combinés avaient des effets significatifs sur la vitesse de marche habituelle. En revanche, il n'existe pas d'effet sur la vitesse de marche rapide.

En ce qui concerne les caractéristiques cinématiques de la marche, Cao et coll. (2007) ont analysé chez 20 sujets les effets d'un programme combiné comportant du renforcement musculaire des membres inférieurs, des exercices d'équilibre et de marche, appliqués pendant 12 semaines, 2 fois par semaine. Les résultats montrent une augmentation de la vitesse de marche

et une augmentation de la flexion de hanche, de genoux et de cheville au cours de la phase oscillante.

De même, Persch et coll. (2009) ont montré une augmentation significative de la vitesse de marche et des paramètres cinématiques comme la longueur du pas et la cadence chez 14 femmes de plus de 60 ans qui avaient bénéficié d'un entraînement musculaire des membres inférieurs pendant 12 semaines, à raison de 3 séances par semaine, en comparaison de 13 femmes témoins sans entraînement.

Au plan énergétique, l'entraînement aérobique permet de lutter contre la réduction de la vitesse de marche. Il est utilisé pour améliorer la vitesse et la qualité de la marche (Roma et coll., 2013).

En résumé, un certain nombre de recommandations ont été faites sur le type d'exercices devant rentrer prioritairement dans les programmes d'entraînement de l'équilibre et de la marche (Rose, 2011 ; Sherrington et coll., 2011).

Les axes principaux sont les suivants :

- optimisation du fonctionnement sensoriel, les ressources fonctionnelles venant compenser les entrées sensorielles déficitaires ;
- entraînement des stratégies posturales : hanche, cheville, maintien de l'équilibre sur différentes surfaces, déplacements volontaires du centre de masse, résistance à des forces extérieures, ajustements posturaux anticipés ;
- exercices de marche : variation de la vitesse et la direction, alternance des petits pas et grands pas, tâches additionnelles.

De même, l'*American College of Sport Medicine* propose 3 types d'exercices : un travail de posture de difficulté progressive (sur deux pieds, position pieds joints, position pieds tandem – talon d'un pied contre pointe de l'autre pied ; puis appui unipodal) ; des exercices comportant des mouvements dynamiques qui perturbent le centre de gravité (marche tandem, demi-tour par exemple) ; et un travail des muscles posturaux sur les talons, sur les chevilles, en réduisant progressivement l'aide sensorielle (fermeture progressive des yeux lors des exercices) (Chodzko-Zajko et coll., 2009).

## Exercices pour l'amélioration de la fonction musculaire

La force musculaire diminue de 40 % entre 20 et 80 ans (Walston, 2012). La perte de force musculaire est associée à une réduction de la vitesse de marche (Buchner et coll., 1996), une perte d'autonomie (Guralnik et coll., 1995) et des capacités fonctionnelles (Samuel et coll., 2012), à un risque accru de chute (Tinetti et coll., 1996) et à une mauvaise qualité de vie liée à la santé perçue.

L'activité physique permet de maintenir les capacités fonctionnelles après 65 ans (Yorston et coll., 2012). Ainsi, de nombreuses études montrent la possibilité d'une augmentation considérable de la force musculaire par l'activité physique, les exercices à haute intensité étant possibles même après 90 ans (Serra-Rexach et coll., 2011).

## Renforcement musculaire

Le renforcement musculaire peut être envisagé par 3 types d'exercices :

- un entraînement contre résistance à haute intensité (*High Intensity Resistive Training*) à vitesse modérée avec une charge correspondant à 70-80 % du maximum de charge pouvant être levée 1 fois (*One-repetition maximum* ou RM) ;
- un travail en puissance à vitesse élevée (*High-Velocity* ou *Power Training*), à vitesse maximum durant une phase concentrique et à vitesse modérée lors du relâchement (phase excentrique) avec une charge de 20 à 80 % RM ;
- un travail contre-résistance excentrique (*Eccentric Resistance Training* ou *Negative Resistance Training*). Dans ce cas, il est demandé au sujet de résister au maximum à un étirement musculaire, le coût énergétique d'un travail excentrique étant 4 fois moindre qu'un travail concentrique pour une même charge. Ce type d'entraînement demande habituellement un équipement isocinétique et un personnel qualifié ; ses effets ne seront pas abordés ici. Effectuer des mouvements tels que la descente d'escaliers ou des sauts par exemple est une manière d'effectuer ce type de travail sans équipement.

### **Effets d'un entraînement progressif contre résistance**

Plusieurs méta-analyses ont évalué dans plus de 100 essais les bénéfices d'un entraînement progressif contre résistance dans différentes populations de sujets âgés (soit plus de 6 000 participants de 60 ans et plus, résidant à domicile ou en institution, incluant des personnes en bonne santé, des sujets fragiles et des individus avec des maladies ou des problèmes de santé identifiés) (Liu et Latham, 2009 ; Steib et coll., 2010 ; Peterson et coll., 2011) (tableau 10. II). Globalement, ces études montrent que ce type d'entraînement améliore significativement la force musculaire, la capacité à se relever d'une chaise et à monter les escaliers, la mobilité (mesurée par exemple, par le test *Timed Up and Go*) et diminue les douleurs arthrosiques. En revanche, il n'a qu'un effet modeste sur la vitesse de marche, peu ou pas d'effet sur l'autonomie dans les activités instrumentales de la vie quotidienne et pas d'effet antalgique en général. Les premiers effets sur la force musculaire apparaissent pour des exercices d'intensité faible mais les bénéfices sont proportionnels à leur intensité. Les effets sont aussi sites-spécifiques, ne bénéficiant qu'aux muscles sollicités. La rémanence des effets musculaires de l'entraînement est faible, meilleure

pour des programmes durant plus de 12 mois. L'effet musculaire de ce type d'entraînement est observé, que les sujets aient ou non une pathologie chronique ou une limitation fonctionnelle, mais semble supérieur chez les sujets en bonne santé.

**Tableau 10.II : Résultats de 121 essais d'entraînement progressif contre résistance, 6 700 participants, 2-3 fois par semaine à haute intensité, extraits de l'étude *Cochrane* (d'après Liu et Latham, 2009)\***

Nombre d'études	Nombre de participants	Résultats
73	3 059	Amélioration significative de la force musculaire
11	384	Amélioration significative du lever de chaise
33	2 172	Effet significatif sur la capacité physique
12	691	Effet significatif sur la mobilité (test <i>Timed Up and Go</i> )
8	268	Effet positif sur la montée d'escaliers
6	503	Amélioration des douleurs si arthrose
24	1 179	Effet modeste sur la vitesse de marche
10	587	Pas d'amélioration de l'autonomie dans les IADL ( <i>Instrumental Activities of Daily Living</i> ) ni de la douleur en général
17	996	Effets non significatifs sur l'équilibre
13	1 125	Seule étude montrant une réduction de l'incidence des chutes
29	1 138	Effet positif sur la capacité aérobie
10	611	Qualité de vie (vitalité du SF36) : pas d'effet en général mais effet positif en cas de haute intensité

\* 49 études avec participants dont la moyenne d'âge est entre 60-69 ans ; 57 études : 70-79 ans ; 20 études : 80 ans et plus

L'entraînement contre résistance seul a un effet non significatif sur l'équilibre et sur les chutes. Dans une revue systématique (intégrant 29 études incluant 2 174 participants), ce type d'entraînement isolé montre un faible niveau de preuve sur l'équilibre (Orr et coll., 2008). Il est à noter une grande hétérogénéité en termes de populations et de méthodes. De même, une seule étude sur les 13 de la méta-analyse de Liu et Latham a montré une réduction significative de l'incidence des chutes liée à des programmes de renforcement musculaire (Liu et Latham, 2009). Dans la revue *Cochrane* de Gillespie et coll. (2012), le renforcement musculaire contre résistance et en puissance ne réduit pas l'incidence des chutes ni le nombre de chuteurs.

Cependant, les muscles fléchisseurs de hanche et extenseurs du genou étant impliqués dans le nombre de pas requis en cas de déséquilibre, un renforcement de ces muscles est cependant recommandé chez les sujets à risque de

chute, même si ce renforcement musculaire n'a pas d'effet propre sur l'équilibre (Carty et coll., 2012).

Le renforcement musculaire a un effet indirect positif sur les capacités aérobies (Liu et Latham, 2009). Il reste à déterminer si cet effet sur les capacités aérobies est intensité-dépendante. En outre, le renforcement musculaire, à condition d'être effectué à une intensité suffisante, améliore la qualité de vie (Lui et coll., 2008). Enfin, le renforcement musculaire augmente la masse maigre mais n'a pas d'effet sur la masse grasse (Sillanpää et coll., 2009).

Les données de la littérature suggèrent l'intérêt d'un entraînement en résistance au long cours et d'intensité suffisante pour avoir des bénéfices significatifs et durables sur la force musculaire (Karinkanta et coll., 2009 ; Korpelainen et coll., 2010 ; Granacher et coll., 2011). Différents programmes ont été proposés, tels que le soulever de poids, l'utilisation de bandes élastiques ou d'appareillage de renforcement musculaire. Un entraînement avec des vestes lestées a été envisagé en cas de mobilité faible des personnes âgées (Bean et coll., 2002). Chez les sujets les plus fragiles, un renforcement musculaire est possible dans le cadre de mouvements utilisés dans la vie quotidienne (mouvements à composante verticale, portée d'objets, passer de coucher/assis à debout) et ce type de renforcement musculaire pourrait être plus efficace sur l'autonomie des patients que les programmes de renforcement musculaire traditionnel.

Ces données sont en faveur de l'hypothèse qu'un renforcement musculaire à visée fonctionnelle est utile pour renforcer la capacité à effectuer des activités de la vie quotidienne (DeVreede, 2005 ; Bean et coll., 2009 ; Liu et Latham, 2009).

### ***Effets d'un entraînement en puissance***

La puissance correspond au niveau de force mobilisée en un temps donné (force mobilisée multipliée par la vitesse à laquelle la force est mobilisée). Avec l'avancée en âge, la puissance musculaire diminue davantage que la force musculaire. La diminution de puissance serait en outre un meilleur prédicteur de chute et de l'état fonctionnel que la diminution de force musculaire liée à l'âge (Perry et coll., 2007). La mesure de la puissance, c'est-à-dire la capacité à mobiliser suffisamment de force musculaire pour ne pas tomber, semble ainsi être le paramètre le plus pertinent pour évaluer le risque de chute.

L'entraînement en puissance, c'est-à-dire 6 à 8 répétitions de 40 à 75 % RM à la plus grande vitesse possible, a un effet supérieur sur la puissance musculaire que l'entraînement en résistance (Fielding et coll., 2002). Dans une autre étude, l'effet d'un entraînement en puissance sur la force et la puissance musculaire serait proche de celui observé avec un entraînement contre résistance, avec cependant un besoin de charge de travail par session moindre

pour obtenir un effet comparable (Henwood et coll., 2008).

La diminution de puissance semblant constituer un meilleur prédicteur de chute et de l'état fonctionnel que la diminution de force musculaire chez les sujets âgés, un entraînement en puissance pourrait être davantage indiqué qu'un entraînement en résistance chez les sujets chuteurs ayant une force et une puissance musculaires faibles, et en perte d'autonomie. En outre, les bénéfices obtenus lors d'un entraînement en puissance semblent plus durables que ceux obtenus lors d'un renforcement musculaire traditionnel (Pereira et coll., 2012).

Il a aussi été montré qu'un entraînement en puissance à faible intensité (20 % RM) pourrait avoir un effet sur l'équilibre chez les sujets sédentaires, contrairement au même type d'entraînement effectué à une plus haute intensité ou contre résistance traditionnel (Orr et coll., 2006 ; Granacher et coll., 2011).

Dans la revue *Cochrane* de Gillespie et coll. (2012), l'analyse de 159 études d'intervention randomisées-contrôlées chez 79 193 participants montre que le renforcement musculaire en puissance ne réduit pas l'incidence des chutes ni le nombre de chuteurs.

L'*American College of Sports Medicine* recommande d'adapter l'entraînement aux capacités de la personne, en différenciant les novices, ce qui est le plus souvent le cas chez les sujets âgés, les sujets ayant au moins une expérience de 6 mois de renforcement musculaire, dits intermédiaires, et les sujets entraînés (expérience de plusieurs années de renforcement musculaire). En fonction des situations, il est proposé de commencer par exemple par 1 à 5 séries de 6 à 10 répétitions à haute vélocité à un niveau d'intensité allant progressivement de 0 à 60 % RM pour le bas du corps et de 30 à 60 % pour le haut du corps, avec 3 à 5 minutes de repos entre les répétitions, les sessions étant proposées progressivement de 2 à 4 fois par semaine. Il est important d'effectuer un travail mettant en jeu le plus grand nombre possible d'articulations. Enfin, si les mouvements doivent être effectués à haute vitesse, le relâché doit être effectué à vitesse modérée, avec vérification de la tolérance des exercices. La répétition d'exercices à fréquence élevée (> 15 fois) avec des charges de 40 à 60 % RM, avec un temps de récupération court (< 90 s) permet d'améliorer la capacité musculaire à répéter les efforts musculaires (*American College of Sports Medicine*, 2009 ; Chodzko-Zajko et coll., 2009 ; Granacher et coll., 2011).

## **Endurance et capacité aérobie**

Comme pour la force musculaire et la puissance, on observe une diminution avec l'avancée en âge de l'aptitude aérobie de 5 ml/kg.minute/10 ans, cette diminution se poursuivant aux âges extrêmes. Or, on estime qu'à 80-85 ans, il faut une consommation maximale d'oxygène ( $VO_2$  max) supérieure à 18 ml/

kg.minute pour conserver son niveau d'indépendance et qu'une augmentation de 5 à 6 ml/kg.minute de la consommation maximale d'oxygène par un programme d'exercices aérobies pourrait repousser l'entrée dans la dépendance de 10 à 12 ans (Shephard, 2009).

Différentes activités peuvent augmenter l'endurance, qu'il s'agisse du vélo, de la marche ou de la natation par exemple, ou de pratiques d'activités quotidiennes qui recrutent un nombre important de segments musculaires, telles que laver les vitres, passer l'aspirateur ou faire du jardinage par exemple (Chodzko-Zajko et coll., 2009 ; Shephard, 2009).

L'*American College of Sports Medicine* recommande d'effectuer si possible des activités 5 à 7 fois/semaine, 30 mn/jour de manière continue. Il s'agit d'effectuer des activités d'intensité basse à modérée, progressives et adaptées aux performances de la personne. Cette intensité sera déterminée par la fréquence cardiaque et respiratoire, l'objectif étant d'effectuer ces activités à 50 % de la fréquence cardiaque de réserve (c'est-à-dire la différence entre la fréquence cardiaque maximale et la fréquence de repos). En fonction de l'âge, il existe des abaques pour connaître la fréquence cardiaque cible (tableau 10.III).

**Tableau 10.III : Fréquence cardiaque moyenne (50-75 % de la fréquence de réserve) dans les recommandations de l'*American Heart Association* (d'après Hautier et Bonnefoy, 2007)**

Âge (années)	Fréquence cardiaque en battements par minute
60	80 à 120
65	78 à 116
70	75 à 113
75	73 à 109
80	70 à 106

Si une surveillance de la fréquence cardiaque n'est pas envisageable, il est recommandé d'utiliser le *Talk Test*, c'est-à-dire de réduire l'intensité de l'exercice si parler devient difficile. L'exercice fractionné, le plus efficace sur les capacités aérobies, par exemple 30 secondes à haute intensité (marche rapide) puis 30 secondes à marche lente, ne peut être envisagé chez les sujets sédentaires que dans un second temps (Hautier et Bonnefoy, 2007 ; Chodzko-Zajko et coll., 2009 ; Shephard, 2009).

Outre ses effets sur la capacité aérobie et les capacités fonctionnelles (Liu et Latham, 2009), l'entraînement en endurance provoque une réduction de masse grasse (Sillanpää et coll., 2009).

Selon plusieurs études comparatives (méta-analyse *Cochrane* de Liu et Latham, 2009), l'entraînement aérobie et le renforcement musculaire par des exercices contre résistance semblent avoir des effets proches sur la fonction physique

et les capacités aérobies. En revanche, l'entraînement contre résistance a un effet supérieur à l'entraînement aérobique sur la force musculaire, les deux types d'entraînement ayant peu d'effet sur la vitesse de marche et l'équilibre. Ainsi, le renforcement musculaire et les activités aérobies auraient des effets additifs sur la force musculaire, les capacités fonctionnelles et aérobies, et la masse grasse tronculaire, facteurs associés au risque de chute. Pour renforcer la force musculaire et les capacités d'endurance, il peut être proposé aux personnes de marcher avec des poids de 1 kg aux chevilles ou en mixant les exercices (Yoo et coll., 2010). Cependant, ces deux types d'activités n'ont pas d'efficacité à prévenir les chutes en l'absence d'exercices d'équilibre (Gillespie et coll., 2012).

Entraînement contre résistance et exercices sollicitant la puissance musculaire semblent avoir un effet additif sur la force musculaire, et les combiner a donc probablement un intérêt dans la conservation de l'autonomie dans les activités de la vie quotidienne sollicitant pour la plupart l'équilibre. Au centre de cette question se trouvent les adaptations neuromusculaires qui sont tout particulièrement nécessaires dans les situations de déséquilibre. Les liens qui unissent activité musculaire et équilibre méritent d'être davantage explorés comme le proposent Granacher et coll. (2012). L'auteur recommande un entraînement en puissance d'une durée minimum de 4 à 6 semaines, 2 à 3 fois par semaine avec 6 à 12 répétitions de résistances modérées. Pour la prévention des chutes, il recommande de coupler des exercices en puissance avec des exercices d'équilibre associant des exercices en multitâche et des modifications de la base de sustentation.

## Effets des programmes d'exercices sur l'os

### Effets sur la masse osseuse

Les activités physiques provoquent des contraintes qui vont, à condition d'atteindre un certain seuil d'intensité, par le biais de la stimulation de mécano-récepteurs osseux, se traduire par un processus de modelage de l'os (en première période de vie, en phase de croissance osseuse) ou des modifications de remodelage osseux (après la période d'acquisition du pic de masse osseuse). Les os corticaux (extrémité supérieure du fémur en particulier), dont le remodelage est plus lent, sont davantage sensibles à la contrainte que les os trabéculaires (rachis en particulier), dont le remodelage est plus rapide et davantage influencé par des déterminants hormonaux (estrogènes en particulier) (Bonewald et Johnson, 2008).

Si l'augmentation de la force et de la puissance musculaire est rapide lors d'activités de renforcement musculaire, le modelage et remodelage osseux des os corticaux sont des processus lents. Ainsi, seules les contraintes au long cours vont avoir un effet significatif sur l'os. La progression des contraintes lors

d'une reprise d'activités doit tenir compte de ce phénomène, sous peine de pouvoir entraîner des fractures par excès relatif de contrainte. La contrainte exercée sur l'os va avoir un effet positif sur sa masse à condition d'être effectuée en situation de gravité, les exercices non gravitaires (natation, cyclisme ou aviron par exemple) n'ayant pas d'effet significatif sur la masse osseuse (Nikander et coll., 2010).

L'effet des contraintes sur l'os est le plus important en phase de modelage, c'est-à-dire lors de l'enfance et de l'adolescence, avec un pic d'efficacité pendant la période péri-pubertaire et pubertaire (Daly, 2007). L'activité physique exercée dans cette période aura un effet positif sur le pic de masse osseuse atteint vers 20 à 25 ans (Baxter-Jones et coll., 2008). Par la suite, l'activité physique va ralentir la perte de la masse et de la qualité osseuses, qui s'accélère au moment de la ménopause. Si l'activité doit atteindre un certain seuil de contrainte osseuse pour stimuler les mécano-récepteurs, ce seuil de sensibilité osseuse à la contrainte semble plus élevé chez la femme, en particulier ménopausée, contribuant à une efficacité moindre à conserver la masse osseuse pour un même niveau de contrainte après la ménopause (Guadalupe-Grau et coll., 2009 ; Nikander et coll., 2010).

L'impact osseux des exercices entraînant des contraintes élevées sur l'os reste discuté (McNamara et Gunter, 2012). Les contraintes variées, avec en particulier des modifications rapides de ces contraintes, semblent être celles dont l'effet ostéogénique est le plus important (Marques et coll., 2011a et b).

Les activités d'endurance, telles que marcher ou courir, semblent avoir un effet peu important sur la masse osseuse. Chez les sujets de plus de 65 ans, les activités à basse énergie, telles que la marche, la montée ou la descente d'escaliers, la marche rapide (*brisk walking*) ou la marche avec veste lestée, associées à des exercices en résistance, entraînent des résultats positifs mais faibles sur la densité minérale osseuse du rachis et du col du fémur (Chodzko-Zajko et coll., 2009).

Les premiers effets sur la masse osseuse d'une activité physique en résistance sont remarqués après au moins 4 à 6 mois d'exercice, l'augmentation de la masse osseuse étant significative si le programme est poursuivi un an ou davantage. Ainsi, il est recommandé de proposer pour obtenir un effet positif osseux durable des activités en charge, d'intensité suffisante et variées, menées au long cours (Englund et coll., 2009 ; Karinkanta et coll., 2009). Si les activités telles que des sauts sont les plus bénéfiques sur l'os, elles seront remplacées par des activités en charge variées, favorisant le renforcement musculaire, et des exercices de contraintes variées et d'intensité suffisante, en charge. Les exercices sur plateformes vibrantes n'ont pas clairement montré de bénéfice osseux. Les exercices de renforcement musculaire en charge seront particulièrement utiles chez les personnes ayant une ostéopénie (de Kam et coll., 2009).

Les effets osseux sont sites-spécifiques (Blain et coll., 2001 et 2009) et la combinaison de différents types d'exercices est donc souhaitable pour avoir un

effet sur les différents segments osseux à risque de fracture. Tout entraînement qui va entraîner une perte de poids ou toute situation qui va conduire à une diminution de masse maigre va avoir un effet négatif sur la masse osseuse. En effet, plus que l'activité physique, c'est le poids et la masse maigre qui sont fortement associés à la densité minérale osseuse des segments osseux porteurs (Blain et coll., 2004 et 2010 ; Schöffl et coll., 2008). Des programmes tels que le *tai chi* par exemple, ou d'équilibre n'entraînent pas suffisamment de contrainte pour avoir un effet significatif sur l'os (Zehnacker et coll., 2007 ; Lui et coll., 2008 ; Chodzko-Zajko et coll., 2009 ; Guadalupe-Grau et coll., 2009 ; Marques et coll., 2011a, 2011b et 2012).

### **Effets sur l'incidence des fractures**

Environ 1,6 à 6 % des chutes s'accompagnent de fractures, à l'origine d'une importante morbidité et mortalité (voir chapitre 1).

Dans une revue de la littérature assez générale, incluant à la fois des études épidémiologiques et des études d'efficacité de programmes, Gregg et coll. (2000) indiquent une diminution de 20 à 40 % du risque de fracture chez les sujets pratiquant l'activité physique et ayant un mode de vie actif.

Chez les sujets ayant au moins un antécédent de fracture vertébrale, la marche et le renforcement musculaire permettent de réduire la perte de hauteur vertébrale suggérant une efficacité de ce type d'activité en prévention secondaire (Webber et coll., 2003 ; De Kam et coll., 2009).

Des recherches complémentaires sont nécessaires pour préciser les effets anti-fracturaires au long cours des programmes d'activité physique, car les études ne dépassent le plus souvent pas 6 mois (Melzer et Oddsson, 2013).

Les activités physiques permettant d'améliorer l'équilibre et les performances fonctionnelles réduisent de 30 % environ le nombre de chutes par personne sans pour autant réduire le nombre de personnes qui chutent. L'entraînement sur plateforme de posture n'a pas montré d'efficacité sur l'incidence des chutes (Hall et coll., 2010 ; Gillespie et coll., 2012). Dans une étude prospective observationnelle incluant 8 188 femmes, Heesch et coll. (2008) montrent que la pratique soutenue d'une activité physique à l'âge de 70 à 75 ans, réduit le risque de chute de 33 % à 3 ans et de 36 % 6 ans plus tard. Pour celles pratiquant une activité modérée, la diminution n'est que de 15 %, 3 ans plus tard. Il est à noter cependant que seules 9 % des femmes dans la population étudiée pratiquaient une activité physique importante.

L'activité physique modérée telle que la marche est associée à un risque diminué de fracture de hanche chez les femmes ménopausées (Feskanich et coll., 2002).

Paradoxalement, la pratique de l'exercice physique peut dans certains cas augmenter le risque de chute et de traumatismes. Ce risque ne semble être réellement présent que dans la pratique du sport à haut niveau (Peeters et coll., 2010). Pour 1 329 sujets de plus de 65 ans suivis pendant 3 ans, ces mêmes auteurs (Peeters et coll., 2010) ne trouvent pas d'association entre la pratique de l'activité physique et une augmentation du risque de chute. Donath et coll. (2013) ont toutefois observé que des efforts importants pouvaient altérer l'équilibre chez 19 sujets âgés de 65 ans en moyenne, en bonne santé.

Il existe probablement une courbe en forme de U en ce qui concerne la relation entre activité physique et fracture : l'activité physique pourrait favoriser les fractures chez les sujets les plus robustes par la prise de risque (le vélo est le 1<sup>er</sup> facteur de risque de fracture) et chez les plus fragiles (la reprise d'autonomie pouvant augmenter les situations à risque de fracture), et aurait probablement un effet positif chez les sujets ni robustes, ni fragiles sédentaires (Appley et coll., 2008 ; Moayyeri et coll., 2008).

## Combinaison d'exercices pour améliorer l'équilibre et la marche

Dans la revue *Cochrane* de 2011 (tableau 10.1), les exercices multiples (combinaisons des exercices précédemment présentés dans le chapitre) sont abordés dans 43 études dont 29 ont fourni des données pour un ou plusieurs critères principaux de jugement. Des effets positifs ont été observés sur les tests suivants : le TUG, la station sur une jambe aussi longtemps que possible les yeux ouverts et les yeux fermés, la vitesse de marche et l'échelle d'équilibre de Berg.

Plusieurs études montrent l'intérêt de compléter les programmes d'exercices extérieurs par des exercices à domicile (renforcement musculaire, vélo d'appartement ou autre...), pour en prolonger les effets (Karinkanta et coll., 2009 ; Korpelainen et coll., 2010 ; Granacher et coll., 2011).

Les effets complémentaires du renforcement musculaire en puissance et équilibre sont défendus par Granacher et coll. (2012a). L'auteur recommande, pour réduire le risque de chute, un entraînement en puissance d'une durée minimum de 4 à 6 semaines, 2 à 3 fois par semaine avec 6 à 12 répétitions contre résistance modérée, et de coupler des exercices en puissance avec des exercices d'équilibre associant des exercices en multitâche et des modifications de la base de sustentation.

De façon générale, il est recommandé d'associer aux exercices d'équilibre, des exercices de renforcement musculaire (Skelton et Beyer, 2003 ; Rose et Hernandez, 2010 ; Sherrington et coll., 2011). Bien qu'apparemment ces derniers ne soient pas essentiels pour obtenir un effet bénéfique sur la prévention

des chutes, ils présentent d'autres intérêts pour la santé et le maintien des capacités physiques fonctionnelles (Nelson et coll., 2007). De plus, comme une force musculaire diminuée est un facteur de risque important de chute et de fracture, les exercices de renforcement musculaire pourraient avoir des effets bénéfiques à long terme sur la prévention des chutes, effets qui ne sont pas détectés dans les essais d'intervention généralement de durée relativement courte. Ce travail musculaire apparaît particulièrement intéressant pour les groupes musculaires qui contribuent à l'alignement postural et à la stabilité pendant la marche (cheville, genou, hanche, tronc), d'autant que ces groupes musculaires sont également importants pour maintenir un bon niveau de capacités fonctionnelles.

Parmi les programmes qui associent renforcement musculaire et exercices d'équilibre, le programme Otago (*Otago Exercise Program*, OEP) apparaît comme bien structuré (Liu-Ambrose et coll., 2008). Ce programme est spécifiquement dédié à la prévention des chutes des personnes âgées de plus de 65 ans (voir chapitre 12). Il repose, d'une part, sur des exercices de musculation des jambes dont le rythme et l'intensité vont croissant et, d'autre part, sur un programme de marche à l'extérieur du domicile des personnes. Ces exercices sont prescrits à chaque personne de façon adaptée à ses besoins. La progression se fait graduellement, au fur et à mesure des cinq visites à domicile effectuées par un professionnel (physiothérapeute ou infirmier) spécialement formé dans le cadre du programme. Chaque personne âgée reçoit un manuel d'instruction et des poids à fixer aux poignets et aux chevilles pour rendre les exercices plus difficiles à réaliser. Les séances de musculation ne dépassent pas 30 minutes mais doivent être réalisées de manière régulière, trois fois par semaine. Les personnes sont par ailleurs incitées à marcher à l'extérieur au moins deux fois par semaine.

Un autre programme, *Life (Life style Integrated Functional Exercise)*, a la particularité de proposer des exercices pouvant être réalisés en effectuant les tâches quotidiennes (enjamber des objets, porter son poids d'une jambe à l'autre, tourner et changer de direction...) (Clemson et coll., 2012) (voir chapitre 12).

Dans la population des sujets âgés fragiles, les interventions comportant des exercices de force associés à des exercices d'endurance et d'équilibre semblent constituer la meilleure stratégie pour diminuer le risque de chute (Cadore et coll., 2013).

Lorsqu'on considère l'impact du renforcement musculaire sur la fonction d'équilibration, il apparaît donc que les exercices en puissance doivent être privilégiés afin de favoriser des réponses rapides lors des déséquilibres. Ils doivent par ailleurs être couplés à des exercices d'équilibre et semblent être particulièrement efficaces lorsqu'ils sont structurés sous la forme de programmes journaliers au domicile.

## Autres activités physiques

Dans la revue *Cochrane* (Howe et coll., 2011), parmi les 94 essais cliniques analysés sur les effets des exercices sur l'équilibre et le risque de chute, 15 études se sont intéressées au *tai chi chuan* (*tai chi*), au *qi gong*, à la danse et au yoga. Ces études montrent des effets bénéfiques pour le TUG, la station unipodale et l'échelle d'équilibre de Berg. Concernant les exercices sur plateformes vibrantes, une étude sur les 3 a examiné l'effet pour le TUG avec des résultats non significatifs. Quant aux études sur les technologies avec feedback, aucune n'a montré d'amélioration de l'équilibre, mais, selon des travaux plus récents (Chen et coll., 2012a), dans une population âgée présentant des déficits visuels, le *tai chi* permet d'améliorer la proprioception du genou et le contrôle visuel et vestibulaire.

### *Tai chi chuan*

Le *tai chi chuan*, discipline située entre gymnastique douce et art martial, sollicite tout particulièrement la réalisation de changements posturaux coordonnés. Il a fait l'objet d'une littérature abondante montrant son efficacité tant au plan physique que psychologique particulièrement dans le cadre du vieillissement. Il semblerait ainsi que les personnes de plus de 60 ans qui le pratiquent au long cours ont des stratégies de passage d'obstacles plus efficaces que les marcheurs (Zhang et coll., 2011).

En 2010, la revue systématique de Liu et Frank a retenu 19 études prospectives. Les modalités les plus souvent retrouvées étaient 12 semaines et plus de pratique, à raison de 2 séances de 45 mn par semaine. Des améliorations significatives sont retrouvées sur les mesures cliniques de l'équilibre et la peur de tomber, avec des effets plus marqués chez les sujets vigoureux que chez les sujets fragiles.

La méta-analyse de Leung et coll. (2011) a inclus 13 études contrôlées randomisées, soit 2 151 sujets. Onze d'entre elles avaient pour résultat principal l'équilibre et 5 considéraient le nombre de chutes. Cette analyse révèle une efficacité du *tai chi* sur l'équilibre, mais qui n'est pas supérieure à celle d'autres formes d'intervention. Un effet significatif est obtenu sur la réduction des chutes en l'absence d'une autre intervention chez les sujets non fragiles.

Dans la revue récente de Schleicher et coll. (2012) qui a inclus 24 études menées dans des populations très hétérogènes avec un nombre de participants très variable (de 20 à 256), la plupart des études montrait une amélioration significative des mesures de l'équilibre, mais les résultats étaient moins consistants pour l'équilibre fonctionnel. Seules 2 études montraient une diminution significative du nombre de chuteurs, mais la plupart des études ne mentionnaient pas ce facteur.

Un essai randomisé contrôlé mené sur 7 sites en Nouvelle Zélande a inclus 684 personnes âgées de 65 ans et plus, vivant à domicile et ayant chuté au moins une fois au cours de l'année précédente (Taylor et coll., 2012). Pendant 20 semaines, les participants suivaient soit une séance hebdomadaire de *tai chi*, soit deux séances hebdomadaires de *tai chi*, soit d'autres exercices d'intensité modérée. Aucune différence significative n'a pu être montrée entre les trois groupes concernant l'amélioration de la force des membres inférieurs et de l'équilibre ainsi que le nombre de chutes qui avait diminué de manière similaire pendant la période de suivi de 17 mois.

Bien que quelques études présentent des résultats peu consistants, la majorité des études indique un effet du *tai chi* sur l'équilibre, mais qui n'apparaît pas supérieur à d'autres types d'exercices. Concernant la prévention des chutes (voir chapitre 12), les résultats sont plus divergents. Cette difficulté à prouver l'efficacité du *tai chi* dans la prévention des chutes est liée aux importantes différences méthodologiques rendant difficile l'interprétation des résultats : types de *tai chi* pratiqués (Yang, Sun...), populations concernées et nombre de séances réalisées (effet dose).

## Danse

La pratique de la danse qui associe un volet physique, social et émotionnel, offre des possibilités de stimuli qui apparaissent comme particulièrement pertinents pour le public âgé tant au plan physique que psychologique.

En 2009, la revue de Keogh et coll. qui interrogeait le niveau de preuve des effets de la danse chez les sujets âgés sains (60-75 ans pour la majorité des études) a porté sur 15 études interventionnelles et 3 transversales. Les programmes étaient développés sur une durée de 10 à 12 semaines, 2 ou 3 fois par semaine durant 60 à 90 minutes. Les auteurs ont établi un grade B (une probabilité moyenne que le bénéfice soit moyen à important) en ce qui concerne la performance aérobique, l'endurance musculaire des membres inférieurs, la force, la souplesse, l'équilibre et la marche. Un niveau de preuve de grade C (bénéfice faible, seulement pour des patients spécifiques pour lesquels d'autres arguments peuvent renforcer l'idée d'une efficacité) était retenu pour la réduction de la prévalence des chutes. On peut noter que la littérature ne permet pas de déterminer les effets obtenus en fonction du type de danse : jazz (Alpert et coll., 2009), salsa (Granacher et coll., 2012b) ou autres.

Bien que portant sur un nombre limité de sujets (n=24), l'étude de Kattenstroth et coll. (2010) indique que les danseurs amateurs au-delà de 60 ans démontrent des aptitudes motrices et posturales supérieures à celles des sujets ne pratiquant pas.

La pratique de la danse apparaît comme une pratique pertinente dans le maintien des capacités d'équilibration.

## Yoga

Un certain nombre d'auteurs se sont intéressés aux effets du yoga chez les personnes âgées. Certaines postures du yoga sont conçues pour normaliser la tension artérielle et l'équilibre du système nerveux. D'autres font travailler la respiration, des exercices développent la force musculaire et la flexibilité. C'est une activité qui s'installe de plus en plus dans les maisons de retraite.

La méta-analyse de Patel et coll. (2012) a considéré 18 essais contrôlés randomisés de yoga chez des sujets  $\geq 60$  ans ( $n=649$ ). La majorité des études avait moins de 35 participants. Il est suggéré que les bienfaits du yoga peuvent dépasser ceux des interventions conventionnelles pour l'état de santé auto-évalué, la capacité aérobie et la force. La précision des estimations est faible et des études plus importantes sont nécessaires pour mieux définir les populations et les types d'intervention.

À notre connaissance, il n'existe pas d'étude montrant l'efficacité du yoga dans la prévention des chutes ; il fait cependant partie des gymnastiques douces volontiers recommandées et susceptibles d'améliorer la mobilité et la qualité de vie.

## Méthode Feldenkrais

Reposant sur des principes d'arts martiaux, la méthode Feldenkrais a pour objectif la prise de conscience par les sujets de leur mouvement et des sensations kinesthésiques qui y sont reliées. Elle a été mise au point pour aider à trouver le geste juste, c'est-à-dire celui qui n'engendre ni tension ni douleur dans sa réalisation. Il s'agit d'apprendre à ne plus faire des gestes de manière automatique mais à les exécuter en toute conscience en dosant ses efforts.

Une étude randomisée a examiné les effets de la méthode Feldenkrais sur l'équilibre, la mobilité et la confiance en soi (Ullman et coll., 2010). Les participants ( $n=47$ , âge moyen=75,6 ans) étaient affectés à un groupe Feldenkrais ( $n=25$ ) ou à un groupe témoin ( $n=22$ ). L'entraînement durait 5 semaines à raison d'une heure 3 fois par semaine. Des effets significatifs étaient retrouvés sur l'équilibre, la mobilité et la peur de tomber. Les auteurs suggèrent que la méthode Feldenkrais peut être efficace dans la prévention des chutes chez le sujet âgé et avoir des effets bénéfiques sur les fonctions cognitives en double-tâche. Des conclusions assez similaires apparaissent dans l'étude de Connors et coll. (2011) avec des améliorations sur la confiance en soi et la vitesse de marche.

Malgré le peu d'études concernant les personnes âgées, certains rééducateurs (kinésithérapeutes, psychomotriciens) utilisent des exercices issus de la méthode en complément d'exercices traditionnels.

### **Jeux vidéo, interactivité et équilibre**

Les nouvelles technologies ont mis à la disposition de l'activité physique et de la rééducation de nouveaux outils, dont l'utilisation est croissante chez les sujets âgés pour favoriser le mouvement et le contrôle postural. Il peut s'agir de simples feed-back visuels connus depuis longtemps en rééducation (le sujet déplace un point rouge sur un écran placé devant lui en déplaçant le poids de son corps à droite ou à gauche) ou de jeux vidéo favorisant l'interactivité ou encore l'utilisation de la réalité virtuelle (simulation informatique interactive immersive).

Dans la littérature anglo-saxonne, le terme « *exergame* » est utilisé pour définir la combinaison de jeux et d'exercices. Ces *exergames* appartiennent à la catégorie des jeux vidéo dans lesquels l'interaction n'est pas fondée uniquement sur une coordination visuo-manuelle mais sur une participation du corps entier.

Dans le cadre plus général de la réalité virtuelle, la revue de Holden (2005) en analyse l'intérêt pour la rééducation des fonctions motrices. La plupart des études bien conduites dans le domaine concernent la rééducation après un accident vasculaire cérébral ou un traumatisme crânien, dans le cadre de la maladie de Parkinson, des suites de la chirurgie orthopédique, ou encore lors d'une rééducation de l'équilibre mais sans cibler spécifiquement les personnes âgées. L'auteur propose quatre conclusions majeures sur ces travaux :

- les patients présentant des déficiences motrices semblent capables d'apprentissages moteurs en s'immergeant dans des environnements virtuels ;
- les mouvements appris par les patients en réalité virtuelle sont transférés dans la plupart des cas dans des tâches motrices de la vie courante ;
- dans les quelques études qui ont comparé entraînement « classique » et entraînement par réalité virtuelle dans le domaine de l'habileté motrice et de l'équilibre, un avantage était retrouvé pour la réalité virtuelle ;
- enfin, aucun désagrément lié à l'utilisation de la réalité virtuelle n'a été rapporté pour tous ces patients.

Plusieurs études menées sur de petits effectifs de personnes âgées ont montré l'intérêt potentiel d'associer une pratique de jeux type Wii Fit couplé à une rééducation de l'équilibre et/ou d'exercices de renforcement musculaire (Agmon et coll., 2011 ; Bateni, 2012 ; Toulotte et coll., 2012).

Même si l'utilisation de différents systèmes technologiques avec feed-back n'a pas fait réellement la preuve de son efficacité dans l'amélioration de l'équilibre

et la prévention des chutes chez le sujet âgé (Howe et coll., 2011), quelques études récentes apportent des résultats encourageants. Ainsi, Chen et coll. (2012b) ont réalisé une étude prospective, contrôlée, utilisant un dispositif interactif de réadaptation pour favoriser un travail de la puissance musculaire des membres inférieurs chez 20 sujets âgés de plus de 65 ans. Les participants ont effectué un entraînement de 30 minutes, deux fois par semaine pendant 6 semaines en réalisant des assis-debout à vitesse rapide face à un écran fournissant un feed-back visuel et les encouragements d'un coach. Le groupe témoin effectuait des exercices identiques avec la même fréquence sur la même durée mais sans le dispositif interactif. Les résultats ont montré dans le groupe « exercice en présence d'un dispositif interactif », une amélioration significative de tous les paramètres mécaniques alors que dans le groupe témoin, seule la force verticale maximale de réaction s'est améliorée de façon significative. Pour les évaluations cliniques (l'équilibre, la mobilité et la confiance en soi), le groupe « exercice en présence d'un dispositif interactif » a montré des résultats significativement meilleurs. Par ailleurs, cette étude met l'accent sur l'intérêt d'utiliser dans ce type de jeu interactif des activités de la vie quotidienne.

Chez des sujets âgés fragiles, un groupe a été soumis à des exercices d'équilibre dynamique couplés à des jeux interactifs (Szturm et coll., 2011). Les résultats montrent la faisabilité de tels programmes dans cette population et l'efficacité sur l'équilibre, sans amélioration de la marche, en comparaison avec un entraînement classique.

Chez des sujets très âgés (âge moyen=86,2±4,6 ans), Pichierri et coll. (2012) ont étudié l'apport d'un jeu vidéo fondé sur la danse chez des sujets qui pratiquaient des exercices de renforcement musculaire et des exercices d'équilibre pendant 12 semaines, 2 fois par semaine. Les résultats indiquent une amélioration significative des performances en marche rapide dans des conditions de double-tâche (vitesse, temps de double appui, longueur du pas) dans le groupe qui bénéficiait en plus de la danse.

L'examen de la littérature révèle que si des perspectives intéressantes apparaissent avec l'utilisation de jeux interactifs pour favoriser le mouvement et le contrôle postural dans la population âgée, il faut, dans l'état actuel des connaissances, rester prudent quant à leur efficacité. Un travail de recherche important reste à faire sur les contenus et la nature des interfaces proposées.

## Exercices aquatiques

Les exercices en milieu aquatique sont utilisés depuis très longtemps en rééducation, en particulier dans les affections rhumatologiques ou traumatiques.

Plus récemment, la pratique de l'aquagym associant les bienfaits de l'eau chaude, du soulagement des contraintes articulaires et le caractère ludique est devenue très populaire dans la population des plus de 60 ans.

Arnold et Faulkner (2010) ont évalué l'effet des exercices aquatiques et de l'éducation thérapeutique sur les facteurs de risque de chute chez les personnes âgées souffrant d'arthrose de la hanche. L'étude portait sur 79 sujets âgés de 65 ans. Les sujets étaient aléatoirement affectés dans trois groupes : un groupe pour lequel des exercices aquatiques étaient associés à l'éducation thérapeutique, un 2<sup>e</sup> groupe ne faisant que des exercices aquatiques et le groupe témoin. Au terme d'un entraînement de 11 semaines, deux fois par semaine, la combinaison d'exercices aquatiques et d'éducation thérapeutique a été efficace pour réduire les facteurs de risque de chute alors que les exercices seuls n'ont pas fait la preuve de leur efficacité.

Dans un essai contrôlé et randomisé, Hale et coll. (2012) ont soumis des sujets âgés de  $75 \pm 1,3$  ans ( $n=23$ ) présentant une arthrose légère à modérée et un risque de chute, à un programme d'exercices aquatiques pendant 12 semaines deux fois par semaine. Le groupe témoin ( $n=16$ ) bénéficiait pendant ce temps d'un programme d'une formation en informatique. Le risque de chute était évalué à travers une batterie de tests évaluant le temps de réaction, la sensibilité aux contrastes, la proprioception, la force du quadriceps et l'équilibre. Les résultats n'ont pas montré de différences significatives entre les deux groupes.

Elbar et coll. (2013) ont évalué les effets d'un programme spécifique en milieu aquatique proposé par Melzer et coll. (2008) qui inclut des perturbations de l'équilibre et des réactions de protection du membre inférieur. Les 36 sujets dont l'âge était compris entre 64 et 88 ans étaient répartis en 2 groupes. Une amélioration significative de l'équilibre a été observée dans le groupe bénéficiant d'un entraînement pendant 12 semaines.

Kawasaki et coll. (2011) ont testé l'efficacité d'un programme d'entraînement intensif de 6 mois, deux fois par semaine, comprenant des exercices de stretching, des exercices de musculation, de la marche dans l'eau et de la natation. Outre l'amélioration de la pression artérielle et des marqueurs du métabolisme des lipides et du glucose, le programme montre une amélioration significative de l'équilibre évalué sur plateforme de force dans le groupe exercice *versus* un groupe témoin.

Ces quelques études montrent l'intérêt de tester les effets des exercices aquatiques sur la fonction d'équilibration. Cependant, les travaux réalisés sont peu nombreux et le niveau de preuve insuffisant pour conclure avec certitude quant aux effets positifs sur la prévention de la chute chez le sujet âgé.

## Plateformes vibrantes

Les plateformes vibrantes ont connu un réel essor au cours des dernières années de par les effets bénéfiques qu'elles sont supposées apporter sur la santé, en particulier chez des personnes pour lesquelles un exercice physique classique peut s'avérer délicat ou difficile en raison de problème de surpoids, de dyspnée à l'effort ou encore de difficultés motrices.

Ces appareils ne sont pas contre-indiqués chez le patient âgé, mais doivent être utilisés avec prudence et sous surveillance d'un professionnel.

Une revue exhaustive et systématique de la littérature fait ressortir 18 études randomisées et contrôlées visant à évaluer l'impact du travail sur plateforme vibratoire sur le risque de chute des personnes âgées (Lam et coll., 2012). Il semble que ce type de sollicitation améliore certains paramètres de l'équilibre et de la stabilité posturale sans pour autant qu'il soit démontré de façon formelle qu'ils puissent réduire le risque de chute. Cependant, les modalités d'utilisation (paramètres de fréquences, durée d'exposition et amplitude de mouvement) diffèrent sensiblement d'une étude à l'autre, ce qui ne permet pas d'en dégager un protocole précis.

## Bénéfices de la pratique de l'activité physique dans des populations ciblées

### Syndromes gériatriques

Chez les sujets ayant un syndrome gériatrique (déclin fonctionnel, peur de tomber, incontinence), un programme mené à domicile pendant 3 mois à raison de 2 fois/semaine, comportant des activités ciblées, à type renforcement musculaire, des exercices de marche, un renforcement des muscles pelviens, avec un suivi de 6 mois, permet de réduire l'incidence de nouveaux syndromes gériatriques, ralentit le déclin fonctionnel chez les patients répondeurs (sujets qui améliorent leur vitesse de marche) (Kim et coll., 2011). Ce type de résultat tend à confirmer l'intérêt d'activités visant à compenser les déficiences chez les sujets âgés fragiles, dans une optique fonctionnelle.

### Maladie de Parkinson

Aucun programme d'activité physique n'a permis de montrer une influence sur l'évolution de la maladie de Parkinson. Certains programmes ont des effets ciblés (travail pour réduire le *freezing* par exemple). Certains programmes visent à travailler les réactions para-chute et les améliorent sans avoir d'effet sur l'incidence des chutes (Allen et coll., 2010 ; Brauer

et Morris, 2010 ; Goodwin et coll., 2011 ; Speelman et coll., 2011). Une revue n'a pas montré d'effet du *tai chi* sur la prévention des chutes chez les sujets parkinsoniens (Lee et coll., 2008). Une étude récente portant sur 195 patients atteints de Parkinson idiopathique, répartis en 3 groupes (*tai chi*, entraînement en résistance et étirement), a cependant montré que 2 séances hebdomadaires d'1 heure de *tai chi* pendant 24 semaines semblent réduire les troubles de l'équilibre chez les patients atteints de Parkinson (léger à modéré), améliorer la capacité fonctionnelle et réduire le risque de chute par rapport à d'autres exercices (Li et coll., 2012). Ces résultats doivent être confirmés.

Les exercices de réalité virtuelle pour travailler l'équilibre chez les sujets parkinsoniens améliorent certains paramètres d'équilibre mais n'ont pas montré d'efficacité à réduire les chutes (Mirelman et coll., 2011).

### **Accident vasculaire cérébral**

Selon la méta-analyse de Wendel-Vos et coll. (2004), les sujets effectuant des activités physiques régulières d'intensité modérée ont un risque diminué d'accident vasculaire cérébral (Wendel-Vos et coll., 2004). Cependant, il n'y a pas de preuve de l'efficacité d'un entraînement cardiovasculaire ou contre résistance sur la réduction de l'incidence des chutes après accident vasculaire cérébral (Dean et coll., 2012). Selon une revue systématique, des exercices sont cependant capables d'améliorer les capacités aérobies des patients (Meek et coll., 2003).

**En conclusion**, l'activité physique a des effets bénéfiques sur différents facteurs de risque de chute et de chute fracturaire : bénéfiques sur l'équilibre, la force et la puissance musculaires, l'endurance, la masse osseuse. Chacun de ces paramètres est amélioré par certains types d'exercices, à une intensité, une fréquence et une durée différant d'un paramètre à l'autre. C'est la raison pour laquelle des exercices variés, ayant une intensité et une durée suffisantes sont nécessaires pour améliorer durablement l'équilibre, la puissance musculaire, les capacités aérobies, les amplitudes articulaires, à condition d'être adaptés au profil des patients, de manière à ne pas entraîner de complication (fracture par excès de contrainte par exemple), et une augmentation inadaptée des risques.

Tenant compte de la spécificité d'action des exercices en fonction de leur type, intensité, fréquence et durée, la littérature récente conseille d'incorporer différents types d'exercices dans les activités de la vie quotidienne ou, que ce soit au domicile ou lors d'une rééducation, de baser les exercices sur des situations rencontrées dans le quotidien, de manière à améliorer le caractère translationnel des bénéfices obtenus lors de programmes d'activité physique dans la capacité à effectuer les activités de la vie quotidienne.

En revanche, l'activité physique n'a pas permis de montrer de réel bénéfice en termes de prévention des chutes chez les patients à risque élevé de chute comme les patients parkinsoniens, ou après accident vasculaire.

## BIBLIOGRAPHIE

AGMON M, PERRY CK, PHELAN E, DEMIRIS G, NGUYEN HQ. A pilot study of Wii Fit exergames to improve balance in older adults. *J Geriatr Phys Ther* 2011, **34** : 161-167

AKRAM SB, FRANK JS, CHENOURI S. Turning behavior in healthy older adults: Is there a preference for step versus spin turns? *Gait Posture* 2010, **31** : 23-26

ALLEN NE, CANNING CG, SHERRINGTON C, LORD SR, LATT MD, et coll. The effects of an exercise program on fall risk factors in people with Parkinson's disease: a randomized controlled trial. *Mov Disord* 2010, **25** : 1217-1225

ALPERT PT, MILLER SK, WALLMANN H, HAVEY R, CROSS C, et coll. The effect of modified jazz dance on balance, cognition, and mood in older adults. *J Am Acad Nurse Pract* 2009, **21** : 108-115

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009, **41** : 687-708

APPLEBY PN, ALLEN NE, RODDAM AW, KEY TJ. Physical activity and fracture risk: a prospective study of 1898 incident fractures among 34,696 British men and women. *J Bone Miner Metab* 2008, **26** : 191-198

ARAGAO FA, KARAMANIDIS K, VAZ MA, ARAMPATZIS A. Mini-trampoline exercise related to mechanisms of dynamic stability improves the ability to regain balance in elderly. *J Electromyogr Kinesiol* 2011, **21** : 512-518

ARAMPATZIS A, PEPPER A, BIERBAUM S. Exercise of mechanisms for dynamic stability control increases stability performance in the elderly. *J Biomech* 2011, **44** : 52-58

ARNOLD CM, FAULKNER RA. The effect of aquatic exercise and education on lowering fall risk in older adults with hip osteoarthritis. *Journal of Aging and Physical Activity* 2010, **18** : 245-260

BATENI H. Changes in balance in older adults based on use of physical therapy vs the Wii Fit gaming system: a preliminary study. *Physiotherapy* 2012, **98** : 211-216

BAXTER-JONES AD, KONTULAINEN SA, FAULKNER RA, BAILEY DA. A longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual from adolescence to young adulthood. *Bone* 2008, **43** : 1101-1107

BEAN J, HERMAN S, KIELY DK, CALLAHAN D, MIZER K, et coll. Weighted stair climbing in mobility-limited older people: a pilot study. *J Am Geriatr Soc* 2002, **50** : 663-670

BEAN JF, KIELY DK, LAROSE S, O'NEILL E, GOLDSTEIN R, FRONTERA WR. Increased velocity exercise specific to task training versus the National Institute on Aging's strength training program: changes in limb power and mobility. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2009, **64** : 983-991

BLAIN H, VUILLEMIN A, TEISSIER A, HANESSE B, GUILLEMIN F, JEANDEL C. Influence of muscle strength and body weight and composition on regional bone mineral density in healthy women aged 60 years and over. *Gerontology* 2001, **47** : 207-212

BLAIN H, CARRIÈRE I, FAVIER F, JEANDEL C, PAPOZ L, EPIDOS STUDY GROUP. Body weight change since menopause and percentage body fat mass are predictors of subsequent bone mineral density change of the proximal femur in women aged 75 years and older: results of a 5 year prospective study. *Calcif Tissue Int* 2004, **75** : 32-39

BLAIN H, JAUSSENT A, THOMAS E, MICALLEF JP, DUPUY AM, et coll. Low sit-to-stand performance is associated with low femoral neck bone mineral density in healthy women. *Calcif Tissue Int* 2009, **84** : 266-275

BLAIN H, JAUSSENT A, THOMAS E, MICALLEF JP, DUPUY AM, et coll. Appendicular skeletal muscle mass is the strongest independent factor associated with femoral neck bone mineral density in adult and older men. *Exp Gerontol* 2010, **45** : 679-684

BONEWALD LF, JOHNSON ML. Osteocytes, mechanosensing and Wnt signaling. *Bone* 2008, **42** : 606-615

BRAUER SG, MORRIS ME. Can people with Parkinson's disease improve dual tasking when walking? *Gait Posture* 2010, **31** : 229-233

BUCHNER DM, LARSON EB, WAGNER EH, KOEPEL TD, DE LATEUR BJ. Evidence for a non-linear relationship between leg strength and gait speed. *Age Ageing* 1996, **25** : 386-391

CADORE EL, RODRÍGUEZ-MAÑAS L, SINCLAIR A, IZQUIERDO M. Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability and balance in physically frail older adults. A systematic review. *Rejuvenation Res* 2013, **16** : 105-114

CAO ZB, MAEDA A, SHIMA N, KURATA H, NISHIZONO H. The effect of a 12-week combined exercise intervention program on physical performance and gait kinematics in community-dwelling elderly women. *J Physiol Anthropol* 2007, **26** : 325-332

CARTY CP, BARRETT RS, CRONIN NJ, LICHTWARK GA, MILLS PM. Lower limb muscle weakness predicts use of a multiple- versus single-step strategy to recover from forward loss of balance in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2012, **67** : 1246-1252

CARVALHO R, VASCONCELOS O, GONCALVES P, CONCEICAO F, VILAS-BOAS JP. The effects of physical activity in the anticipatory postural adjustments in elderly people. *Motor Control* 2010, **14** : 371-379

CHEN EW, FU AS, CHAN KM, TSANG WW. The effects of Tai Chi on the balance control of elderly persons with visual impairment: a randomised clinical trial. *Age Ageing* 2012a, **41** : 254-259

CHEN PY, WEI SH, HSIEH WL, CHEEN JR, CHEN LK, et coll. Lower limb power rehabilitation (LLPR) using interactive video game for improvement of balance function in older people. *Archives of Gerontology and Geriatrics* 2012b, **55** : 677-682

CHENG FY, YANG YR, WANG CJ, WU YR, CHENG SJ, et coll. Factors influencing turning and its relationship with falls in individuals with Parkinson's disease. *PLoS One* 2014, **9** : e93572

CHODZKO-ZAJKO WJ, PROCTOR DN, FIATARONE SINGH MA, MINSON CT, NIGG CR, et coll. Exercise and physical activity for older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009, **41** : 1510-1530

CLEMSON L, FIATARONE SINGH MA, BUNDY A, CUMMING RG, MANOLLARAS K, et coll. Integration of balance and strength training into daily life activity to reduce rate of falls in older people (the LiFE study): randomised parallel trial. *BMJ* 2012, **345** : e4547

CONNORS KA, PILE C, NICHOLS ME. Does the Feldenkrais Method make a difference? An investigation into the use of outcome measurement tools for evaluating changes in clients. *J Body Work Mov Ther* 2011, **15** : 446-452

DALY RM. The effect of exercise on bone mass and structural geometry during growth. *Med Sport Sci* 2007, **51** : 33-49

DEAN CM, RISSEL C, SHERRINGTON C, SHARKEY M, CUMMING RG, et coll. Exercise to enhance mobility and prevent falls after stroke: the community stroke club randomized trial. *Neurorehabil Neural Repair* 2012, **26** : 1046-1057

DE KAM D, SMULDERS E, WEERDESTEYN V, SMITS-ENGELSMAN BC. Exercise interventions to reduce fall-related fractures and their risk factors in individuals with low bone density: a systematic review of randomized controlled trials. *Osteoporos Int* 2009, **20** : 2111-2125

DEVREEDE PL, SAMSON MM, VAN MEETEREN NL, DUURSMA SA, VERHAAR HJ. Functional-task exercise versus resistance strength exercise to improve daily function in older women: a randomized, controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 2005, **53** : 2-10

DONATH L, ZAHNER L, ROTH R, FRICKER L, CORDES M, et coll. Balance and gait performance after maximal and submaximal endurance exercise in seniors: is there a higher fall-risk? *European Journal of Applied Physiology* 2013, **113** : 661-669

ELBAR O, TZEDEK I, VERED E, SHVARTH G, FRIGER M, et coll. A water-based training program that includes perturbation exercises improves speed of voluntary stepping in older adults: A randomized controlled cross-over trial. *Archives of Gerontology and Geriatrics* 2013, **56** : 134-140

ENGLUND U, LITTBRAND H, SONDELL A, BUCHT G, PETERSSON U. The beneficial effects of exercise on BMD are lost after cessation: a 5-year follow-up in older postmenopausal women. *Scand J Med Sci Sports* 2009, **19** : 381-388

FESKANICH D, WILLETT W, COLDITZ G. Walking and leisure-time activity and risk of hip fracture in postmenopausal women. *JAMA* 2002, **288** : 2300-2306

FIELDING RA, LEBRASSEUR NK, CUOCO A, BEAN J, MIZER K, FIATARONE SINGH MA. High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J Am Geriatr Soc* 2002, **50** : 655-662

GILLESPIE LD, ROBERTSON MC, GILLESPIE WJ, SHERRINGTON C, GATES S, et coll. Interventions for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2012, **9** : CD007146

GOODWIN VA, RICHARDS SH, HENLEY W, EWINGS P, TAYLOR AH, CAMPBELL JL. An exercise intervention to prevent falls in people with Parkinson's disease: a pragmatic randomised controlled trial. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2011, **82** : 1232-1238

GRANACHER U, MUEHLBAUER T, ZAHNER L, GOLLHOFER A, KRESSIG RW. Comparison of traditional and recent approaches in the promotion of balance and strength in older adults. *Sports Med* 2011, **41** : 377-400

GRANACHER U, MUEHLBAUER T, GRUBER A. A qualitative review of balance and strength performance in healthy older adults: Impact for testing and training. *Journal of Aging Research* 2012a, **2012** : 708905. doi: 10.1155/2012/708905

GRANACHER U, MUEHLBAUER T, BRIDENBAUGH SA, WOLF M, ROTH R, et coll. Effects of a salsa dance training on balance and strength performance in older adults. *Gerontology* 2012b, **58** : 305-312

GREGG EW, PEREIRA MA, CASPERSEN CJ. Physical activity, falls, and fractures among older adults: a review of the epidemiologic evidence. *J Am Geriatr Soc* 2000, **48** : 883-893

GUADALUPE-GRAU A, FUENTES T, GUERRA B, CALBET JA. Exercise and bone mass in adults. *Sports Med* 2009, **39** : 439-468

GURALNIK JM, FERRUCCI L, SIMONSICK EM, SALIVE ME, WALLACE RB. Lower-extremity function in persons over the age of 70 years as a predictor of subsequent disability. *N Engl J Med* 1995, **332** : 556-561

HALE LA, WATERS D, HERBISON P. A randomized controlled trial to investigate the effects of water-based exercise to improve falls risk and physical function in older adults with lower-extremity osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil* 2012, **93** : 27-34

HALL CD, HEUSEL-GILLIG L, TUSA RJ, HERDMAN SJ. Efficacy of gaze stability exercises in older adults with dizziness. *J Neurol Phys Ther* 2010, **34** : 64-69

HAUTIER C, BONNEFOY M. Training for older adults. *Ann Readapt Med Phys* 2007, **50** : 475-479, 469-474

HEESCH KC, BYLES JE, BROWN WJ. Prospective association between physical activity and falls in community-dwelling older women. *J Epidemiol Community Health* 2008, **62** : 421-426

HENWOOD TR, RIEK S, TAAFFE DR. Strength versus muscle power-specific resistance training in community-dwelling older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2008, **63** : 83-91

HOLDEN MK. Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav* 2005, **8** : 187-211, discussion 212-219

HOWE TE, ROCHESTER L, NEIL F, SKELTON DA, BALLINGER C. Exercise for improving balance in older people. *Cochrane Database Syst Rev* 2011, **11** : CD004963

INSERM. Activité physique, contextes et effets sur la santé. Collection Expertise collective, Éditions Inserm, 2008

KARINKANTA S, HEINONEN A, SIEVÄNEN H, UUSI-RASI K, FOGELHOLM M, KANNUS P. Maintenance of exercise-induced benefits in physical functioning and bone among elderly women. *Osteoporos Int* 2009, **20** : 665-674

KATTENSTROTH JC, KOLANKOWSKA I, KALISCH T, DINSE HR. Superior sensory, motor, and cognitive performance in elderly individuals with multi-year dancing activities. *Front Aging Neurosci* 2010, **2** pii: 31

KAWASAKI T, SULLIVAN CV, OZOE N, HIGAKI H, KAWASAKI J. A long-term, comprehensive exercise program that incorporates a variety of physical activities improved the blood pressure, lipid and glucose metabolism, arterial stiffness, and balance of middle-aged and elderly Japanese. *Hypertens Res* 2011, **34** : 1059-1066

KEOGH JW, KILDING A, PIDGEON P, ASHLEY L, GILLIS D. Physical benefits of dancing for healthy older adults: A review. *Journal of Aging and Physical Activity* 2009, **4** : 479-500

KIM H, YOSHIDA H, SUZUKI T. The effects of multidimensional exercise on functional decline, urinary incontinence, and fear of falling in community-dwelling elderly women with multiple symptoms of geriatric syndrome: a randomized controlled and 6-month follow-up trial. *Arch Gerontol Geriatr* 2011, **52** : 99-105

KORPELAINEN R, KEINÄNEN-KIUKAANNIEMI S, NIEMINEN P, HEIKKINEN J, VÄÄNÄNEN K, KORPELAINEN J. Long-term outcomes of exercise: follow-up of a randomized trial in older women with osteopenia. *Arch Intern Med* 2010, **170** : 1548-1556

KUBICKI A, PETREMENT G, BONNETBLANC F, BALLAY Y, MOUREY F. Practice-related improvements in postural control during rapid arm movement in older adults: A preliminary study 5141. *Journals of Gerontology Series A-Biological Sciences and Medical Sciences* 2012, **67 A** : 196-203

LAM FM, LAURW, CHUNG RC, PANG MY. The effect of whole body vibration on balance, mobility and falls in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Maturitas* 2012, **72** : 206-213

LEE MS, LAM P, ERNST E. Effectiveness of tai chi for Parkinson's disease: a critical review. *Parkinsonism Relat Disord* 2008, **14** : 589-594

LEUNG DP, CHAN CK, TSANG HW, TSANG WW, JONES AY. Tai chi as an intervention to improve balance and reduce falls in older adults: A systematic and meta-analytical review. *Altern Ther Health Med* 2011, **17** : 40-48

LI F, HARMER P, FITZGERALD K, ECKSTROM E, STOCK R, et coll. Tai chi and postural stability in patients with Parkinson's disease. *N Engl J Med* 2012, **366** : 511-519

LIU CJ, LATHAM NK. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2009, **3** : CD002759

LIU H, FRANK A. Tai chi as a balance improvement exercise for older adults: a systematic review. *J Geriatr Phys Ther* 2010, **33** : 103-109

LIU-AMBROSE T, DONALDSON MG, AHAMED Y, GRAF P, COOK WL, et coll. Otago home-based strength and balance retraining improves executive functioning in older fallers: a randomized controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society* 2008, **56** : 1821-1830

LOGGHE IH, VERHAGEN AP, RADEMAKER AC, BIERMA-ZEINSTRAS SM, VAN ROSSUM E, et coll. The effects of Tai Chi on fall prevention, fear of falling and balance in older people: a meta-analysis. *Prev Med* 2010, **51** : 222-227

LOPOPOLO RB, GRECO M, SULLIVAN D, CRAIK RL, MANGIONE KK. Effect of therapeutic exercise on gait speed in community-dwelling elderly people: a meta-analysis. *Phys Ther* 2006, **86** : 520-540

LUI PP, QIN L, CHAN KM. Tai Chi Chuan exercises in enhancing bone mineral density in active seniors. *Clin Sports Med* 2008, **27** : 75-86

MALATESTA D, SIMAR D, SAAD HB, PREFAUT C, CAILLAUD C. Effect of an overground walking training on gait performance in healthy 65- to 80-year-olds. *Exp Gerontol* 2010, **45** : 427-434

MARQUES EA, MOTA J, MACHADO L, SOUSA F, COELHO M, et coll. Multicomponent training program with weight-bearing exercises elicits favorable bone density, muscle strength, and balance adaptations in older women. *Calcif Tissue Int* 2011a, **88** : 117-129

MARQUES EA, WANDERLEY F, MACHADO L, SOUSA F, VIANA JL, et coll. Effects of resistance and aerobic exercise on physical function, bone mineral density, OPG and RANKL in older women. *Exp Gerontol* 2011b, **46** : 524-532

MARQUES EA, MOTA J, CARVALHO J. Exercise effects on bone mineral density in older adults: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Age (Dordr)* 2012, **34** : 1493-1515

MCNAMARA A, GUNTER K. The influence of participation in Better Bones and Balance™ on skeletal health: evaluation of a community-based exercise program to reduce fall and fracture. *Osteoporos Int* 2012, **23** : 1813-1822

MEEK C, POLLOCK A, POTTER J, LANGHORNE P. A systematic review of exercise trials post stroke. *Cin Rehabil* 2003, **17** : 6-13

MELZER I, ODDSSON LIE. Improving balance control and self-reported lower extremity function in community-dwelling older adults: a randomized control trial. *Clin Rehabil* 2013, **27** : 195-206

MELZER I, BENJUYA N, KAPLANSKI J. Effects of regular walking on postural stability in the elderly. *Gerontology* 2003, **49** : 240-245

MELZER I, ELBAR O, TSEDEK I, ODDSSON LI. A water-based training program that include perturbation exercises to improve stepping responses in older adults: study protocol for a randomized controlled cross-over trial. *BMC Geriatrics* 2008, **8** : 19

MIRELMAN A, MAIDAN I, HERMAN T, DEUTSCH JE, GILADI N, HAUSDORFF JM. Virtual reality for gait training: can it induce motor learning to enhance complex walking and reduce fall risk in patients with Parkinson's disease? *J Gerontol A BiolSci Med Sci* 2011, **66** : 234-240

MOAYYERI A. The association between physical activity and osteoporotic fractures: a review of the evidence and implications for future research. *Ann Epidemiol* 2008, **18** : 827-835

NELSON ME, REJESKI WJ, BLAIR SN, DUNCAN PW, et coll. Physical activity and public health in older adults: recommendation from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc* 2007, **39** : 1435-1445

NIKANDER R, SIEVÄNEN H, HEINONEN A, DALY RM, UUSI-RASI K, KANNUS P. Targeted exercise against osteoporosis: A systematic review and meta-analysis for optimising bone strength throughout life. *BMC Med* 2010, **8** : 47

ORR R, DE VOS NJ, SINGH NA, ROSS DA, STAVRINOS TM, FIATARONE-SINGH MA. Power training improves balance in healthy older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2006, **61** : 78-85

ORR R, RAYMOND J, FIATARONE SINGH M. Efficacy of progressive resistance training on balance performance in older adults: a systematic review of randomized controlled trials. *Sports Med* 2008, **38** : 317-343

PATEL NK, NEWSTEAD AH, FERRER RL. The effects of yoga on physical functioning and health related quality of life in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Altern Complement Med* 2012, **18** : 902-917

PEETERS GM, VERWEIJ LM, VAN SCHOOR NM, PIJNAPPELS M, PLUIJM SM, et coll. Which types of activities are associated with risk of recurrent falling in older persons? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2010, **65** : 743-750

PEREIRA A, IZQUIERDO M, SILVA AJ, COSTA AM, GONZÁLEZ-BADILLO JJ, MARQUES MC. Muscle performance and functional capacity retention in older women after high-speed power training cessation. *Exp Gerontol* 2012, **47** : 620-624

PERRIN PP, GAUCHARD GC, PERROT C, JEANDEL C. Effects of physical and sporting activities on balance control in elderly people. *Br J Sports Med* 1999, **33** : 121-126

PERRY MC, CARVILLE SF, SMITH IC, RUTHERFORD OM, NEWHAM DJ. Strength, power output and symmetry of leg muscles: effect of age and history of falling. *Eur J Appl Physiol* 2007, **100** : 553-561

PERSCH LN, UGRINOWITSCH C, PEREIRA G, RODACKI AL. Strength training improves fall-related gait kinematics in the elderly: a randomized controlled trial. *Clinical Biomechanics* 2009, **24** : 819-825

PETERSON MD, SEN A, GORDON PM. Influence of resistance exercise on lean body mass in aging adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2011, **43** : 249-258

PICHIERRI G, COPPE A, LORENZETTI S, MURER K, DE BRUIN ED. The effect of a cognitive-motor intervention on voluntary step execution under single and dual task conditions in older adults: a randomized controlled pilot study. *Clin Interv Aging* 2012, **7** : 175-184

ROMA MF, BUSSE AL, BETONI RA, MELO AC, KONG J, et coll. Effects of resistance training and aerobic exercise in elderly people concerning physical fitness and ability: a prospective clinical trial. *Einstein (Sao Paulo)* 2013, **11** : 153-157

ROSE DJ. Reducing the risk of falls among older adults: the Fallproof Balance and Mobility Program. *Curr Sports Med Rep* 2011, **10** : 151-156

ROSE DJ, HERNANDEZ D. The role of exercise in fall prevention for older adults. *Clin Geriatr Med* 2010, **26** : 607-631

SAMUEL D, ROWE P, HOOD V, NICOL A. The relationships between muscle strength, biomechanical functional moments and health-related quality of life in non-elite older adults. *Age Ageing* 2012, **41** : 224-230

SCHLEICHER MM, WEDAM L, WU G. Review of Tai Chi as an effective exercise on falls prevention in elderly. *Res Sports Med* 2012, **20** : 37-58

SCHÖFFL I, KEMMLER W, KLDNY B, VONSTENGEL S, KALENDER WA, ENGELKE K. In healthy elderly postmenopausal women variations in BMD and BMC at various skeletal sites are associated with differences in weight and lean body mass rather than by variations in habitual physical activity, strength or VO<sub>2</sub>max. *J Musculoskelet Neuronal Interact* 2008, **8** : 363-374

SERRA-REXACH JA, BUSTAMANTE-ARA N, HIERROVILLARÁN M, GONZÁLEZ GIL P, SANZ IBÁÑEZ MJ, et coll. Short-term, light- to moderate-intensity exercise training improves leg muscle strength in the oldest old: a randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 2011, **59** : 594-602

SHEPHARD RJ. Maximal oxygen intake and independence in old age. *Br J Sports Med* 2009, **43** : 342-346

SHERRINGTON C, TIEDEMANN A, FAIRHALL N, CLOSE JC, LORD SR. Exercise to prevent falls in older adults: an updated meta-analysis and best practice recommendations. *NSW Public Health Bull* 2011, **22** : 78-83

SILLANPÄÄ E, LAAKSONEN DE, HÄKKINEN A, KARAVIRTA L, JENSEN B, et coll. Body composition, fitness, and metabolic health during strength and endurance training and their combination in middle-aged and older women. *Eur J Appl Physiol* 2009, **106** : 285-296

SKELTON DA, BEYER N. Exercise and injury prevention in older people. *Scand J Med Sci Sports* 2003, **13** : 77-85

SPEELMAN AD, VAN DE WARRENBURG BP, VAN NIMWEGEN M, PETZINGER GM, MUNNEKE M, BLOEM BR. How might physical activity benefit patients with Parkinson disease? *Nat Rev Neurol* 2011, **7** : 528-534

STEIB S, SCHOENE D, PFEIFER K. Dose-response relationship of resistance training in older adults: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2010, **42** : 902-914

SZTURM T, BETKER AL, MOUSSAVI Z, DESAI A, GOODMAN V. Effects of an interactive computer game exercise regimen on balance impairment in frail community-dwelling older adults: a randomized controlled trial. *Phys Ther* 2011, **91** : 1449-1462

TAYLOR D, HALE L, SCHLUTER P, WATERS DL, BINNS EE, et coll. Effectiveness of tai chi as a community-based falls prevention intervention: a randomized controlled trial. *J Am Geriatr Soc* 2012, **60** : 841-848

TINETTI ME, MCAVAY G, CLAUS E. Does multiple risk factor reduction explain the reduction in fall rate in the Yale FICSIT Trial Frailty and Injuries Cooperative Studies of Intervention Techniques. *Am J Epidemiol* 1996, **144** : 389-399

TOULOTTE C, TOURSEL C, OLIVIER N. Wii Fit (R) training vs. Adapted Physical Activities: which one is the most appropriate to improve the balance of independent senior subjects? A randomized controlled study. *Clinical Rehabilitation* 2012, **26** : 827-835

ULLMANN G, WILLIAMS HG, HUSSEY J, DURSTINE JL, MCCLENAGHAN BA. Effects of Feldenkrais exercises on balance, mobility, balance confidence, and gait performance in community-dwelling adults age 65 and older. *J Altern Complement Med* 2010, **16** : 97-105

WALSTON JD. Sarcopenia in older adults. *Curr Opin Rheumatol* 2012, **24** : 623-627

WEBBER CE, PAPAIOANNOU A, WINEGARD KJ, ADACHI JD, PARKINSON W, et coll. A 6-mo home-based exercise program may slow vertebral height loss. *J Clin Densitom* 2003, **6** : 391-400

WEERDESTEYN V, NIENHUIS B, DUYSSENS J. Exercise training can improve spatial characteristics of time-critical obstacle avoidance in elderly people. *Human Movement Science* 2008, **27** : 738-748

WENDEL-VOS GC, SCHUIT AJ, FESKENS EJ, BOSHUIZEN HC, VERSCHUREN WM, et coll. Physical activity and stroke. A meta-analysis of observational data. *Int J Epidemiol* 2004, **33** : 787-798

YOO EJ, JUN TW, HAWKINS SA. The effects of a walking exercise program on fall-related fitness, bone metabolism, and fall-related psychological factors in elderly women. *Res Sports Med* 2010, **18** : 236-250

YORSTON LC, KOLT GS, ROSENKRANZ RR. Physical activity and physical function in older adults: the 45 and up study. *J Am Geriatr Soc* 2012, **60** : 719-725

ZEHNACKER CH, BEMIS-DOUGHERTY A. Effect of weighted exercises on bone mineral density in post menopausal women. A systematic review. *J Geriatr Phys Ther* 2007, **30** : 79-88

ZHANG C, MAO D, RISKOWSKI JL, SONG Q. Strategies of stepping over obstacles: The effects of long-term exercise in older adults. *Gait Posture* 2011, **34** : 191-196