

Incidence du vieillissement sur les performances posturales et cognitives

RÉSUMÉ | SUMMARY

L'étude du contrôle postural au cours du vieillissement fait apparaître la mise en place de nouvelles stratégies de contrôle chez les personnes âgées, caractérisées par une augmentation des moyens mis en œuvre pour maintenir l'équilibre et le recours à une stratégie de charge-décharge. La sédentarité et le facteur chute accentuent ces effets et fragilisent les sujets âgés.

La réalisation simultanée d'une tâche cognitive et d'une tâche posturale (station debout) entraîne une interférence dans les capacités attentionnelles chez les sujets très âgés suggérant que la diminution de la capacité attentionnelle avec l'âge ne semble détériorer le contrôle moteur qu'au-delà de 75 ans.

Advanced in age induced change in the postural control strategy who involved higher sway amplitudes associated with higher neuromuscular force developed. Along ML axis, this increase suggests the more frequent adoption of feet shuffling in the aim of thwarting any potential loss of equilibrium and the adoption of a more deterministic postural control.

In the dual-task condition, postural stability performance is deteriorated only for the older group. These results suggest that the attentional load has a negative impact on motor control beyond 75 years.

Dr Laetitia BERGER

Laboratoire de physiologie de l'exercice

Université de Savoie Aix-les-Bains (73)

Laurence BERNARD-DEMANZE

PhD Neurosciences
Ingénieur hospitalier APHM Marseille (13)
Laboratoire de neurosciences intégratives et adaptatives (LNIA)
Université de Provence

Texte issu de la 14^e Journée nationale de rééducation d'Hauteville

Les auteurs déclarent ne pas avoir un intérêt avec un organisme privé industriel ou commercial en relation avec le sujet présenté

MOTS CLÉS | KEYWORDS

▶ Chute ▶ Posture ▶ Sédentarité ▶ Tâches cognitives
▶ Vieillesse

▶ Fall ▶ Posture ▶ Sedentariness ▶ Cognitives tasks ▶ Ageing

Le contrôle postural dépend de l'intégration spatiale et temporelle des informations issues des systèmes sensoriels qui permettent une réponse motrice adaptée aux contraintes imposées par l'environnement [1, 2]. Les systèmes sensoriels, ainsi que les effecteurs musculaires, déclinent progressivement avec l'âge [3].

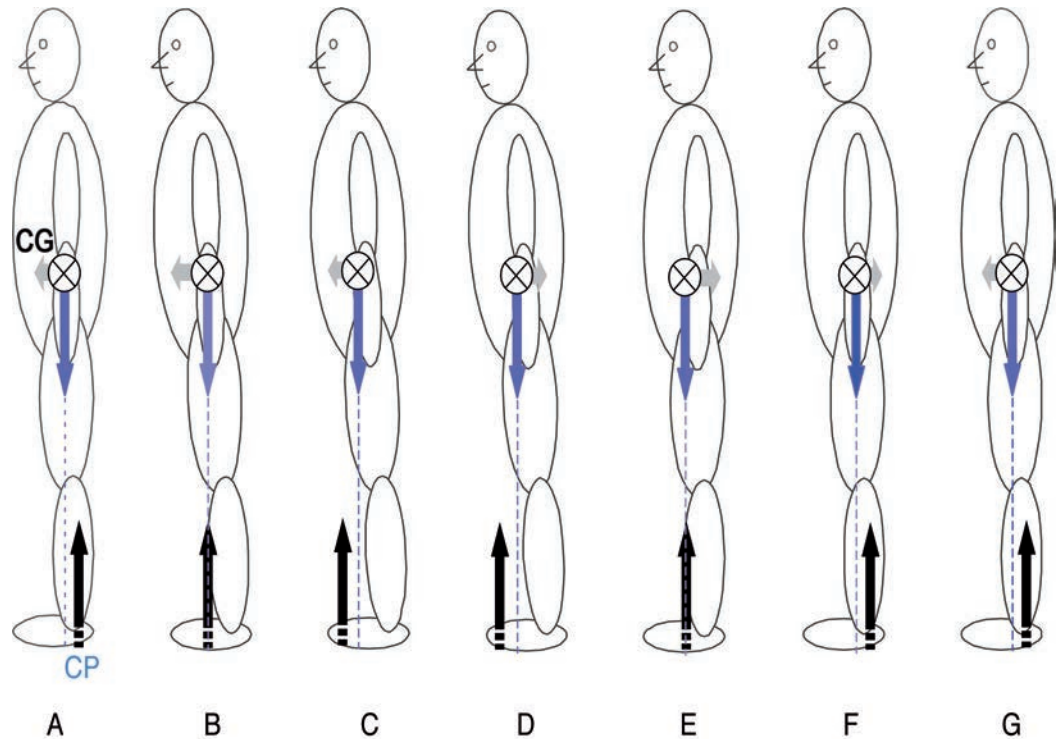
En ce qui concerne la vision, les corrections des déficits liés au vieillissement normal par le port de lunettes voire d'une chirurgie de la cataracte, permettent de conserver le poids de cette entrée sensorielle dans le contrôle de l'équilibre. Un certain nombre de pathologies de type neurodégénératives peuvent s'observer au cours du vieillissement. Néanmoins, en l'absence de pathologie, les pertes des sensibilités vestibulaire, proprioceptive et tactile sont le plus souvent progressives et diffuses.

S'il en est de même pour la force musculaire, sa diminution est fortement dépendante de la sédentarité. De plus, nombre de sujets très âgés, même sans pathologie neurodégénérative, chute et la peur de celle-ci peut entraîner des troubles posturaux [4]. De ce fait, les travaux présentés ici se focalisent sur les effets physiologiques du vieillissement sur l'équilibre en différenciant différents groupes d'âge et en prenant en compte le niveau de sédentarité et le facteur chute [5-7].

Par ailleurs, du fait notamment de l'augmentation des temps de latence au niveau des synapses neuronales, le temps de traitement des processus cognitifs se trouve augmenté, même en l'absence de pathologie neurologique. Le paradigme de double tâche est souvent utilisé afin d'examiner les interactions entre les tâches cognitives et le contrôle postural [8].

Les effets de tâches cognitives sur le contrôle de la posture quasi statique semblent assez controversés [9], et largement dépendants de la nature et de la difficulté de chacune des tâches et/ou de l'âge des participants. Si des diminutions des amplitudes d'oscillations posturales sont observées chez des individus jeunes dans des protocoles de double tâche [10, 11], chez les sujets âgés, on reporte des augmentations des oscillations assez faibles, voire inexistantes [11-13].

L'étude proposée ici porte sur l'effet d'une tâche cognitive (test de Stroop) sur le contrôle postural au regard de l'avancée en âge [14]. Afin d'évaluer l'équilibre, le choix s'est porté sur une tâche de maintien de la station debout érigée. La conservation de l'équilibre dans cette posture nécessite un contrôle des mouvements du corps par la mise en jeu de forces de réactions musculaires exercées par l'intermédiaire du plan d'appui.



► **Figure 1**

Relation entre CP et CG lors du maintien de la station debout, d'après Rougier et coll. [32]

Les mouvements décrits ici selon la direction antéro-postérieure (AP), sont naturellement de même nature selon la direction médio-latérale (ML). À un instant donné (A), le point d'application du CP [flèche noire] est situé en arrière de la projection verticale du CG [flèche grise]. La différence entre ces deux vecteurs détermine l'accélération horizontale communiquée au CG et, par suite, sa vitesse horizontale [flèche bleue]

Dans le cas présent, la différence CP-CG va induire dans les instants suivants une augmentation de la vitesse instantanée. Celle-ci sera maximale jusqu'au moment où la différence CP-CG va devenir nulle (B). À partir de là, l'accélération s'inversant, la vitesse du CG va progressivement diminuer (C) et finir même par s'inverser (D)

Le CG se déplaçant en sens opposé, le contrôle de la trajectoire va donc passer par un déplacement de la gauche vers la droite du CP. Comme en B, la vitesse maximale du CG sera atteinte lorsque le CP et la projection verticale du CG seront confondus (E). Le CP repassant en arrière du CG (F), la vitesse de ce dernier va progressivement diminuer et s'inverser de nouveau, ce qui replace le CP et CG dans des positions similaires à A [32]

D'un point de vue biomécanique, cela signifie que les mouvements du centre de gravité (CG) du corps sont contrôlés de façon exclusive par le déplacement du point d'application des forces de réactions, c'est-à-dire les mouvements du centre des pressions (CP) (fig. 1).

Par une relation biomécanique [15, 16], le signal CP peut être décomposé en ces deux mouvements élémentaires : le centre de gravité (CG), variable contrôlée par le système nerveux central, et la différence CP-CG qui reflète les moyens mis en œuvre pour assurer l'équilibre.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

■ Sujets

Les critères d'exclusion étaient toutes les pathologies neurologiques, les neuropathies doulou-

reuses, les antécédents d'accident vasculaire cérébral (AVC), les déficits visuels, les fortes difficultés motrices, les pathologies vestibulaires. De plus, il a été exclu tout sujet avec médication sur le système nerveux central.

Les volontaires ont déclaré ne pas souffrir d'anxiété et/ou de dépression.

Les sujets de plus de 60 ans ont été considérés comme sédentaires s'ils effectuaient moins d'un kilomètre par jour, et chuteurs s'ils ont chuté au moins une fois lors des 12 derniers mois.

Afin d'évaluer l'incidence normale du vieillissement sur le contrôle de l'équilibre, 118 sujets volontaires sains ont participé à cette première étude, dont 33 sujets jeunes (J) de 18-31 ans, 29 seniors (S) de 62-75 ans, et 56 sujets âgés (A) de 75-96 ans, dont 22 non sédentaires et 34 sédentaires parmi lesquels figuraient 21 chuteurs (tab. I).

► Tableau I

Caractéristiques anthropométriques des sujets

L'étude de l'effet d'une tâche attentionnelle sur le contrôle postural a mobilisé 57 participants sains qui ont réalisé deux séries de **tests posturaux**, en position debout non perturbée, les yeux ouverts, avec ou sans tâche attentionnelle.

Les participants non sédentaires ont été regroupés en trois groupes : un groupe de jeunes (J) 18-23 ans, un groupe de seniors (S) 60-74 ans, et un dernier groupe de sujets âgés (A) 75-89 ans (tab. I).

■ Tests posturaux

Les mécanismes du contrôle de l'équilibre ont été évalués en position « quasi statique », par la mesure des déplacements du centre des pressions (CP).

Lors des tests posturaux, les participants se tenaient debout, les yeux ouverts (YO), les pieds écartés de façon à ce que les bords internes des pieds forment un angle de 30°, avec les malléoles séparées de 9 cm et les bras placés le long du corps, sur une plate-forme de force (Equi+, référence PF01).

Les signaux analogiques issus des capteurs, après amplification, étaient ensuite numérisés avant d'être enregistrés sur un ordinateur.

Chaque sujet a effectué dans un ordre aléatoire, 3 séries d'acquisitions de 32 s, alternées de périodes de repos d'au moins 32 s.

■ Tâche attentionnelle

Le test de Stroop consiste en une lecture de la couleur dans laquelle le mot est écrit. Par exemple, il est écrit le mot « rouge » en bleu. Le sujet doit lire bleu. Le test initial demande donc une verbalisation qui est difficilement compatible avec des tests posturaux puisque les articulations verbales induisent une instabilité posturale [17].

En conséquence, nous avons utilisé une version modifiée de ce test sans réponse verbale mais à une vitesse de lecture personnalisée.

■ Pré-tests cognitifs

Avant les tests posturaux, chaque participant assis réalisait le test de Stroop présenté sur un écran d'ordinateur pendant des durées de 32 s. Lorsque la vitesse de lecture (mots/minute) était stable (3

Étude 1 - Incidence normale du vieillissement				
	Âge (ans)	Sexe	Taille (cm)	Poids (kg)
Jeunes	24 ± 5,8	17 ♀ - 16 ♂	175 ± 9	67,5 ± 9,6
Seniors	68,9 ± 2,7	18 ♀ - 11 ♂	163 ± 9	69,9 ± 11,7
Âgés non sédentaires	81,4 ± 6,1	17 ♀ - 5 ♂	159 ± 9	62,4 ± 12,3
Âgés sédentaires	84 ± 6,1	29 ♀ - 5 ♂	159 ± 9	65,5 ± 16,2
Étude 2 - L'effet de la demande attentionnelle				
Jeunes	21 ± 2,1	11 ♀ - 7 ♂	176 ± 9	62,5 ± 11,8
Seniors	61 ± 10,7	13 ♀ - 5 ♂	163 ± 7	69 ± 12
Âgés	79,2 ± 4,6	14 ♀ - 4 ♂	160 ± 8	63,4 ± 6

ou 4 sessions de test), celle-ci était retenue comme la vitesse personnalisée du sujet.

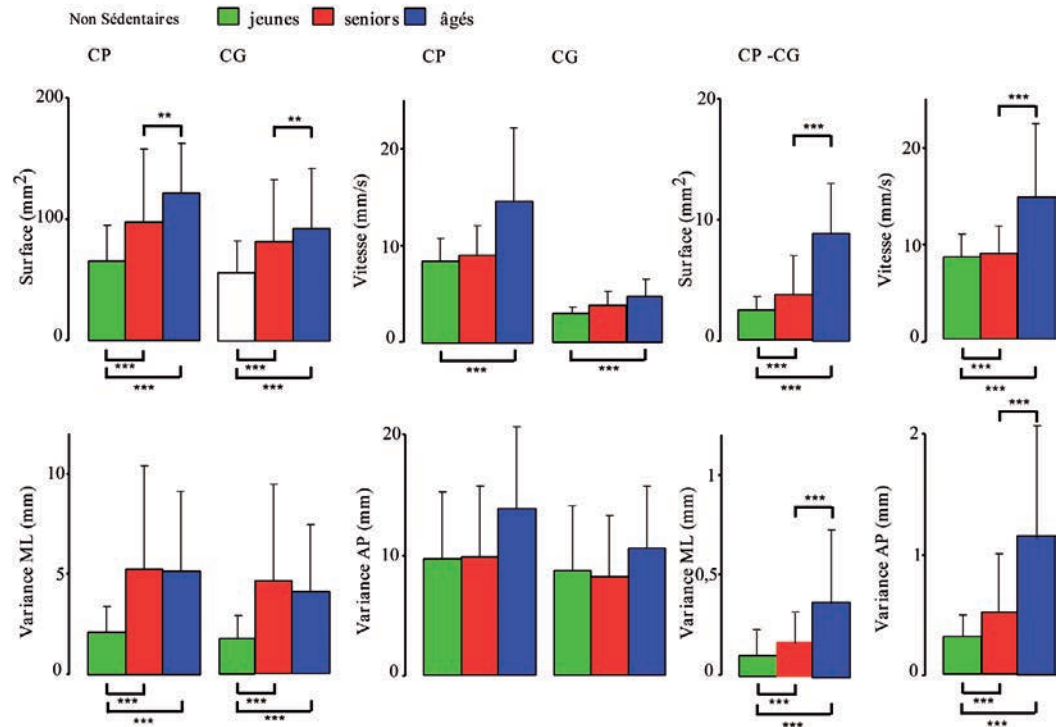
Chaque sujet a effectué dans un ordre aléatoire 3 séries d'acquisitions de 32 s, alternées de périodes de repos d'au moins 32 s en condition de simple tâche (REF) et en double tâche (ST) : tâche posturale associée à la tâche de Stroop à vitesse de lecture personnalisé présentée sur un écran d'ordinateur situé à un mètre du sujet.

■ Analyse du signal

Les paramètres retenus pour la caractérisation du CP, puis des trajectoires des deux composantes élémentaires CG et CP-CG sont la surface (mm²), les variances selon les axes médio-latéral (ML) et antéro-postérieur (AP) en mm et la vitesse (mm/s). Ces paramètres ont été calculés par le logiciel Equi+.

■ Analyses statistiques

Les données ont été analysées statistiquement par une ANOVA (analyse de la variance) en utilisant une condition x 3 groupes (jeunes J, seniors S, âgés A) pour la première étude et en utilisant 2 conditions (REF *versus* ST) x 3 groupes (J, S et A) pour la seconde. Le test post-hoc de Wilcoxon a été utilisé. Le seuil de signification retenu est p < 0,05.



► Figure 2

Paramètres posturaux des sujets non sédentaires (moyenne et écart type)
 Noter les différences statistiquement significatives à
 * p < 0,05 ; ** p < 0,01 ; *** p < 0,001

RÉSULTATS

Incidence du vieillissement sur le contrôle postural

Sujets non sédentaires

Les ANOVA révèlent des effets significatifs du facteur « groupe » (jeunes (J), seniors (S), âgés (A)) pour les paramètres surface ($p < 0,001$), vitesse ($p < 0,001$) et variance selon l'axe ML ($p < 0,001$) pour l'ensemble des trajectoires (CP, CG et CP-CG). Un effet significatif de ce facteur groupe est noté pour les variances selon l'axe AP uniquement pour les trajectoires du CP-CG.

Comme le montre la figure 2, avec l'avancée en âge, les surfaces parcourues pour l'ensemble des trajectoires sont plus élevées. Les vitesses des oscillations posturales sont également plus élevées pour les âgés et les vitesses du CP-CG augmentent avec l'âge. De plus, les mouvements sont plus amples selon l'axe ML.

Cependant, selon l'axe AP, seuls les moyens mis en œuvre pour le maintien de l'équilibre sont augmentés.

Sujets âgés sédentaires et chuteurs sédentaires

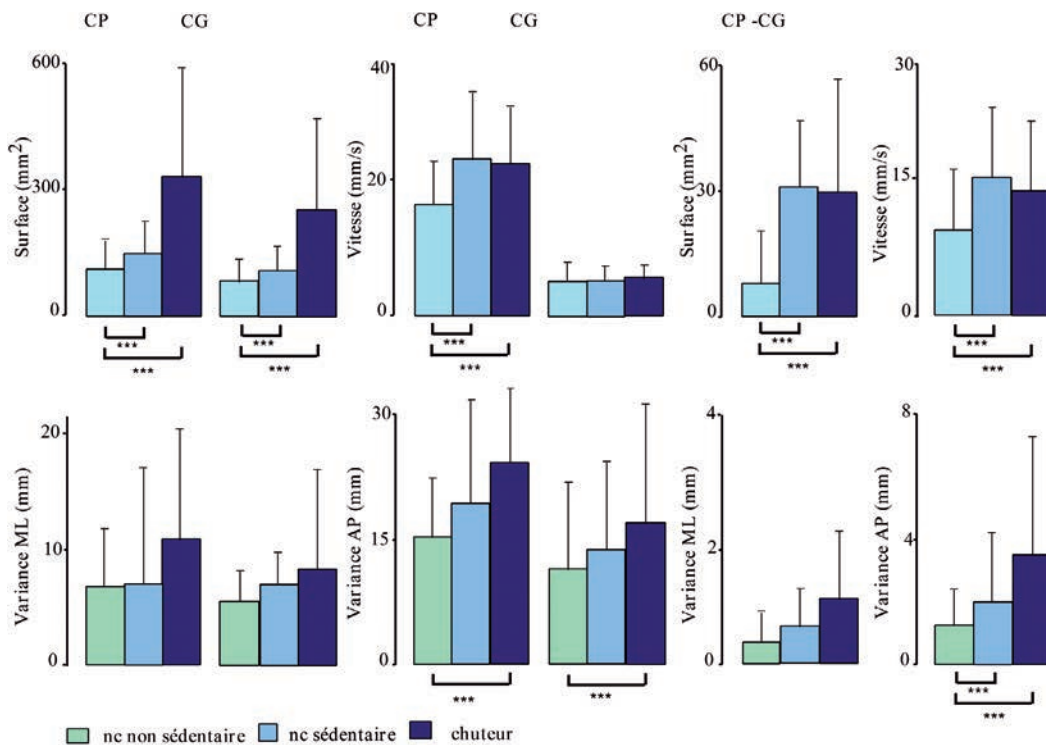
Chez les sujets âgés, la sédentarité et le facteur chute apparaissent induire une instabilité posturale qui se caractérise par des modifications des paramètres : surface, vitesse et variance selon l'axe AP pour l'ensemble des trajectoires ($p < 0,001$).

Les surfaces des trajectoires augmentent avec la sédentarité pour les non chuteurs et les chuteurs. De même, les vitesses du CP et CP-CG augmentent.

Selon l'axe AP, les oscillations posturales (CG) et les moyens mis en œuvre (CP-CG) augmentent chez les chuteurs (fig. 3 et 4).

Incidence d'une tâche attentionnelle sur le contrôle postural

La tâche attentionnelle cognitive est affectée par le vieillissement : la vitesse de lecture (tâche de Stroop) est plus élevée pour les sujets jeunes comparativement aux seniors et âgés ($p < 0,001$).



► Figure 3

Paramètres posturaux des sujets âgés (moyenne et écart type)

Noter les différences statistiquement significatives à *** p < 0,001 pour les sujets non sédentaires et non chuteurs (nc non sédentaire), sédentaires non chuteurs (nc sédentaire) et chuteurs sédentaires (chuteur)

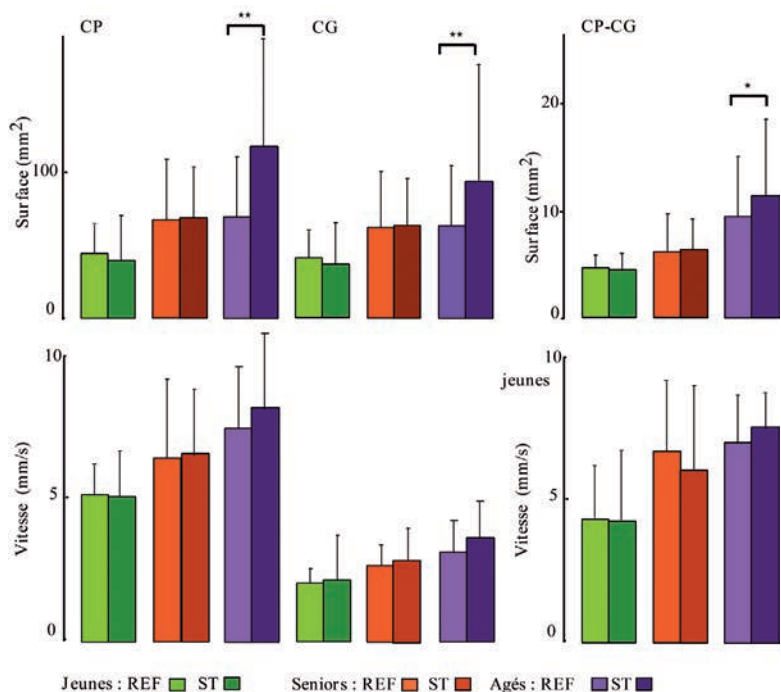
L'analyse de variance fait apparaître un effet de la condition (Stroop versus REF) pour les paramètres surface et variance selon les deux axes. Comme présentées dans les figures 4 et 5, chez les sujets âgés, les surfaces augmentent pour l'ensemble des trajectoires lors de la réalisation de la tâche cognitive.

Les variances du CP augmentent selon les deux axes et sont associées à une augmentation des variances du CG et du CP-CG selon les axes AP et ML respectivement.

DISCUSSION

L'avancée en âge induit des mouvements plus amples selon l'axe médio-latéral, à une vitesse plus grande lors de la station debout « quasi statique ». Ces augmentations s'accroissent avec l'âge, ce qui contraint les sujets âgés à développer une nouvelle stratégie. Celle-ci se caractérise par une augmentation des moyens mis en œuvre pour maintenir l'équilibre, comme le montre l'augmentation de l'amplitude de CP-CG selon les deux axes.

Avec la sédentarité, chez les sujets de plus de 75 ans, ces effets s'accroissent. Lorsque les sujets âgés sédentaires présentent des chutes, cette augmentation s'accroît et une dégradation du contrôle du CG est notée selon l'axe antéro-postérieur. Ces

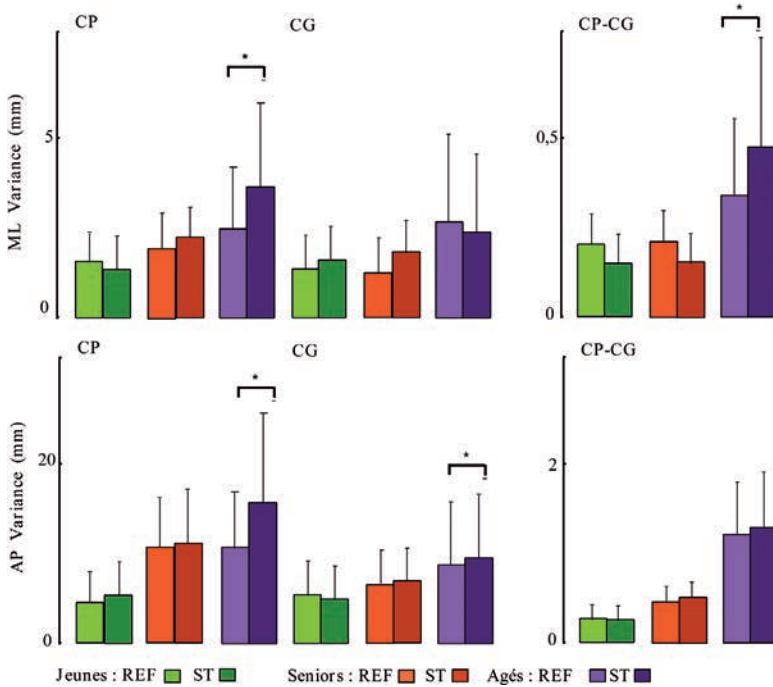


► Figure 4

Surface et vitesses des CP, CG et CP-CG

lors des tests de double tâche (moyenne et écart type)

Noter les différences statistiquement significatives à * p < 0,05 ; ** p < 0,01 entre les conditions REF (simple tâche posturale) et ST (double tâche : posturale et Stroop)



► **Figure 5**

Variations selon les axes ML et AP des CP, CG et CP-CG lors des tests de double tâche (moyenne et écart type). Noter les différences statistiquement significatives à * p < 0,05 entre les conditions REF (simple tâche posturale) et ST (double tâche : posturale et Stroop) chez les sujets âgés.

résultats confirment de nombreuses études antérieures [3, 18-20].

Les déplacements du CG s'accroissent aussi progressivement avec le vieillissement selon l'axe médio-latéral. Ceci suggère la mise en jeu de mouvements plus importants au niveau du bassin. En effet, comme l'a bien montré Winter [21], les déplacements du CP et, par suite, ceux du CG sur cet axe, traduisent en fait une moindre capacité des sujets à répartir équitablement le poids de leur corps sur leurs deux appuis. Ces mouvements reflètent vraisemblablement des stratégies d'initiation du pas destinées à contrecarrer une perte d'équilibre potentielle. Cette stratégie de charge-décharge nécessite une importante mise en jeu de moyens neuromusculaires reflétée par l'augmentation de l'amplitude du CP-CG.

Selon l'axe antéro-postérieur, les seniors comme les âgés semblent bien contrôler leur CG. Cependant, chez les sujets sédentaires et chuteurs, les oscillations du corps selon cet axe sont augmen-

tées et les moyens neuromusculaires s'accroissent, traduisant ainsi une plus forte instabilité.

L'augmentation des amplitudes des oscillations de CP-CG pourrait traduire un recrutement de fibres musculaires de même type mais de muscle(s) différent(s) agonistes et/ou antagonistes. De précédentes études [22, 23] ont mis en évidence que nombre de sujets âgés présentaient une augmentation du recrutement de l'activité des muscles antagonistes. La conservation des mouvements du CG à l'intérieur du polygone de sustentation ne pourra être assurée que si la correction posturale est initiée avant qu'une distance trop importante ait été parcourue par ce CG.

Ces processus de correction, nécessaires pour la conservation de l'équilibre, nécessitent a priori une rapide et précise perception des mouvements du corps et une bonne coordination neuromusculaire du sujet dans la programmation de la réponse correctrice. Si, d'une façon générale, les sujets âgés présentent une diminution du poids des entrées neurosensorielles, il pourrait exister des niveaux variables de sensibilité tactile, proprioceptive, voire vestibulaire, de même que des déficits liés aux modalités de conduction qui pourraient expliquer une baisse de l'efficacité de l'action correctrice.

Un déclin de la force musculaire lié à la sédentarité pourrait expliquer l'impossibilité des sujets chuteurs à développer, à certains moments, une force suffisante nécessaire à la correction des déséquilibres et par suite au maintien de l'équilibre. Ce phénomène est amplifié par la diminution de la force musculaire avec l'âge, surtout pour les membres inférieurs, notamment au regard de la force explosive [24]. Par conséquent, la capacité des sujets âgés à mobiliser une part plus importante d'activité musculaire aurait pour effet d'amoindrir leur « réserve » et, de ce fait, de rendre plus difficile la correction posturale. D'autre cause de ces chutes, non explorée ici, pourrait être liée aux capacités d'initier, puis de réaliser correctement le déplacement d'un appui, à la peur de la chute et lors du développement du syndrome post-chute [4].

La vitesse de réalisation de la tâche de Stroop semble affectée par l'âge. La vitesse de lecture lors de ce test se révèle plus faible pour les seniors et âgés en comparaison des jeunes. Les résultats font apparaître une interférence de la tâche cognitive

avec les capacités de maintien de la stabilité posturale uniquement pour les plus âgés suggérant que la diminution de la capacité attentionnelle avec l'âge ne semble détériorer le contrôle moteur qu'au-delà de 75 ans.

De nombreuses théories cognitives soutiennent que les ressources attentionnelles sont limitées dans cette population [12, 25]. En conséquence, lorsqu'apparaît une compétition au niveau de ces ressources attentionnelles lors de la réalisation d'une double tâche, la performance dans l'une ou dans les deux tâches peut être dégradée.

CONCLUSION

Chez les sujets âgés, les déficits sensori-moteurs [26] sont souvent couplés à des altérations des fonctions cognitives, et réduisent les capacités de traitement des informations motrices et cognitives [27-29]. Cependant, chez les seniors, ces déficits liés à l'âge sont le plus souvent limités et n'ont que peu de conséquences sur la stabilité posturale, tâche relativement simple, basée sur un contrôle quasi automatique impliquant des structures nerveuses spinales et/ou sous-corticales [30].

À l'opposé, lorsque ces déficits deviennent importants, des détériorations dans la performance de la tâche posturale et/ou cognitive peuvent apparaître [31]. Il est à noter que les perturbations posturales enregistrées chez les sujets âgés reflètent la mise en jeu de mécanismes différents selon les axes.

Selon l'axe médio-latéral, une augmentation des moyens neuromusculaires mis en jeu pourrait permettre d'initier plus rapidement le pas. À l'inverse, une altération du contrôle du CG apparaît selon l'axe AP. Néanmoins, l'absence d'interférence entre la tâche posturale et cognitive pour le groupe seniors suggère que leurs informations sensorielles sont suffisamment efficaces pour permettre le maintien d'une bonne stabilité gérée largement selon un processus automatique avec un recours limité au contrôle conscient.

À l'opposé, les sujets âgés présentent une plus grande vulnérabilité, souvent associée à la peur de la chute, qui ne leur permet pas de gérer leur équilibre selon un processus automatique, impliquant des structures nerveuses spinales et/ou sous-corticales. ✕



BIBLIOGRAPHIE

- [1] Massion, J. Postural control system. *Curr Opin Neurobiol* 1994;4(6):877-87.
- [2] Mergner T, Rosemeier T. Interaction of vestibular, somatosensory and visual recordings for postural control and motion perception under terrestrial and microgravity conditions—a conceptual model. *Brain Res Rev* 1998;28(1-2): 118-35.
- [3] Woollacott MH, Shumway-Cook A, Nashner L. Aging and posture control: Changes in sensory organization and muscular coordination. *Aging Human Dev* 1986;23(2):97-113.
- [4] Manckoundia P, Mourey F, Tavernier-Vidal B, Pfitzenmeyer P. Syndrome de désadaptation psychomotrice. *Rev Méd Int* 2007;28(2):79-85.
- [5] Berger L, Entenich A, Rougier P, Buisson G. Spécificités posturales chez des sujets âgés chuteurs et non-chuteurs. *Rev Gêr* 2002;27(9):703-10.
- [6] Berger L, Chuzel M, Buisson G, Rougier P. Undisturbed upright stance control in the elderly: Part 1. Age-related changes in undisturbed upright stance control. *J Mot Behav* 2005;37(5):348-58.
- [7] Berger L, Chuzel M, Buisson G, Rougier P. Undisturbed upright stance control in the elderly: Part 2. Postural control impairments of elderly fallers. *J Motor Behav* 2005;37(5):359-66.
- [8] Li KZH, Krampe RTH, Bondar A. An ecological approach to studying aging and dual task performance. In: Engle RW, Sedek G, Von Hecker U, Mc Intosh DN (eds.) *Cognitive limitations in aging and psychopathology*. Cambridge University Press, 2005: 190-218.
- [9] Ehrenfried T, Guerraz M, Thilo K, Yardley L, Gresty M. Posture and mental task performance when viewing a moving visual field. *Brain Res Cogn Brain Res* 2003;17:140-53.
- [10] Kerr B, Condon M, Mc Donald L. Cognitive spatial processing and the regulation of posture. *J Exp Psycho* 1985;5: 617-22.
- [11] Berger L, Bernard-Demanze L. Age-related effects of a memorizing spatial task in the adults and elderly postural control. *Gait Posture* 2011;33:300-2.
- [12] Shumway-Cook A, Woollacott M, Kerns KA, Baldwin M. The effects of two types of cognitive tasks on postural stability in older adults with and without a history of falls. *J Gerontol Biol Sci Med Sci* 1997;52:232-40.
- [13] Redfern M, Muller M, Jennings, J, Furman J. Attentional dynamics in postural control during perturbations in young and older adults. *J Gerontol Biol Sci Med* 2002;57:298-303.
- [14] Berger L, Guerraz M. Incidence du vieillissement sur les performances posturales et cognitives en situation de double tâche. In : Pérennou D, Nougier V (éds.) *Contrôle Postural, Espace, Locomotion*. Marseille : Éditions Solal, 2012 : 217-22.
- [15] Brenière Y. Why do we walk the way we do? *J Mot Behav* 1996;28:291-8.
- [16] Brenière Y, Do MC, Bouisset S. Are dynamic phenomena prior to stepping essential to walking? *J Mot Behav* 1987;19: 62-76.
- [17] Yardley L, Gardner M, Leadbetter A, Lavie N. Effect of articulatory and mental tasks on postural control. *Neuroreport* 1999;5;10(2):215-9.
- [18] Baloh RW, Fife TD, Zwerling L et al. Comparison of static and dynamic posturography in young and older normal people. *J Am Geriatr Soc* 1994;42:405-12.
- [19] Baloh RW, Corona S, Jacobson KM, Enrietto JA, Bell T. A prospective study of posturography in normal older people. *J Am Geriatr Soc* 1998;46:438-43.
- [20] Maki BE, Holliday PJ, Topper AK. A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. *J Gerontol Med Sci* 1994;49:M72-M84.
- [21] Winter DA, Patla AE, Prince F, Ishac M, Giello-Perszack KJ. Stiffness control of balance in quiet standing. *J Neurophysiol* 1998;80:1211-21.
- [22] Manchester D, Woollacott M, Zederbauer-Hyllton N, Marin O. Visual, vestibular and somatosensory contributions to balance control in the older adult. *J Gerontol* 1989;44:M118-M127.
- [23] Rankin JK, Woollacott MH, Shumway-Cook A, Brown LA. Cognitive influence on postural stability: A neuromuscular analysis in young and older adults. *J Gerontol Med Sci* 2000;55A:M112-M119.
- [24] Porter MM, Vandervoort AA, Kramer JF. Eccentric peak torque of the plantar and dorsiflexors is maintained in elderly women. *J Gerontol Biol Sci Med Sci* 1997;52:B125-B131.
- [25] Teasdale N, Bard C, LaRue J, Fleury M. On the cognitive penetrability of posture control. *Exp Aging Res* 1993;19: 1-13.
- [26] Horak FB, Shupert CL, Mirka A. Components of postural dyscontrol in the elderly: A review. *Neurobiol Aging* 1989;10: 727-38.
- [27] Craik FIM, Salthouse TA. *The handbook of aging and cognition*. 2nd Edition. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2000.
- [28] Maylor EA, Allison S, Wing AM. Effects of spatial and non spatial cognitive activity on postural stability. *British J Psychol* 2001;92:319-38.
- [29] Woollacott M, Shumway-Cook A. Attention and the control of posture and gait: A review of an emerging area of research. *Gait Posture* 2002;16:1-14.
- [30] Lacour M, Borel L. Vestibular control of posture and gait. *Arch Ital Biol* 1993;131:81-104.
- [31] Bernard-Demanze L, Dumitrescu M, Jimeno P, Borel L, Lacour M. Age-related changes in posture control are differentially affected by postural and cognitive task complexity. *Curr Aging Sci* 2009;2(2):139-49.
- [32] Rougier P. Le maintien d'une posture d'inclinaison vers l'avant modifie davantage les amplitudes des déplacements du centre des pressions que celle du centre de gravité. *Ann Réadapt Méd Phys* 2001;44:533-41.