

Étude comparative de l'équilibre dynamique des chuteurs et des non chuteurs

Vénéra Ghulyan ^{1,2}, Michel Paolino ¹

¹ Hôpital privé Clairval - Marseille

² Université d'Etat d'Erévan - Arménie

RÉSUMÉ

But : Les instabilités posturales et les chutes constituent un motif de consultation très fréquent chez le sujet âgé. Notre objectif a été de trouver des indices posturographiques pertinents, permettant d'évaluer l'équilibre dynamique du sujet âgé et de dépister les sujets à risque de chute. **Matériel et méthodes :** L'équilibre dynamique de 202 patients instables (143 « non chuteurs » et 59 « chuteurs ») âgés de plus de 60 ans a été étudié à l'aide de la plateforme posturographique SPS (SYNAPSYS). Des épreuves translationnelles en rampe et en sinusoïde ont été réalisées avec les yeux ouverts et fermés, dans un ordre aléatoire. Les limites de stabilité des sujets ont également été évaluées. **Résultats :** Les « chuteurs » ont des performances de réajustements posturaux et de réalisation des mouvements volontaires très altérées par rapport aux « non chuteurs ». La détérioration de l'équilibre dynamique des « chuteurs » est plus marquée sur les paramètres caractérisant leur équilibre latéral. **Conclusions :** Cette étude a permis de sélectionner des paramètres de stimulation et de quantification des réponses les plus pertinents quant à la différenciation significative des groupes de sujets âgés instables avec et sans antécédents de chutes. Nos résultats devront permettre d'établir un protocole d'évaluation du risque de chute chez les sujets âgés instables à partir d'évaluation objective de leur équilibre dynamique.

(Fr ORL - 2005 ; 88 : 89 - 96)

Mots clés : Chute, Sujet âgé instable, Posturographie dynamique, Plateforme translationnelle.

Date de soumission : février 2005

Date d'acceptation : juin 2005

Auteur correspondant : Michel Paolino

Service d'Exploration Oto-Neurologique,
Hôpital Privé Clairval

317 Bd du Redon, 13009 Marseille

e-mail : michel.paolino@wanadoo.fr

ABSTRACT

Objective: Postural instability and falls are common reasons for physician visits among elderly patients. Our objective was to identify posturography parameters that are relevant for evaluating postural stability in elderly patients and for identifying individuals at high risk of falls.

Material and methods: Dynamic posture was evaluated using the SPS platform (SYNAPSYS) in 202 patients with postural instability, including 59 with and 143 without a history of falling. All study patients were older than 60 years. Ramp and sinusoid stimulations were used with the eyes open and closed, in random order, to determine stability limits.

Results: Postural adjustments and voluntary movements were altered in the fallers compared to the non-fallers. Control of lateral stability was the most severely impaired component of postural control in the fallers.

Conclusion: This study identified parameters for generating and measuring postural responses in order to separate fallers and nonfallers among elderly patients with postural instability. Our results could be used to develop a protocol for objectively evaluating the risk of falls in elderly patients with postural instability.

Keywords: Falls, Postural instability, Elderly, Dynamic posturography, Translational platform.

INTRODUCTION

Le vieillissement s'accompagne d'un affaiblissement des différents systèmes sensoriels [1-5], des effecteurs musculaires périphériques [6] et des structures centrales [7-8] impliqués dans le contrôle postural. Toutes ces altérations affectent inévitablement l'équilibre du sujet âgé et sont souvent à l'origine de chute de ce dernier [9]. La détérioration de l'équilibre est un des facteurs de risque importants dans l'occurrence des chutes [10-11]. Elle est surtout déterminante dans des situations déstabilisantes de la vie courante, nécessitant des ajustements posturaux rapides et adéquats pour éviter la chute.

La détection précoce de la diminution des performances d'équilibration dynamique du sujet âgé serait donc un pas important dans la prévention des chutes. En effet, le dépistage des sujets potentiellement chuteurs pourrait permettre, par le biais d'une rééducation adaptée et d'une série de précautions et recommandations sécurisantes, d'améliorer significativement la qualité de vie des sujets âgés.

Dans la présente étude nous avons examiné l'équilibre dynamique des patients âgés souffrant d'instabilités posturales chroniques et d'installation progressive, ce qui soulève le problème aigu du risque des chutes éventuelles. Leurs performances d'équilibration dynamique ont été comparées à celles des personnes âgées instables avec antécédents de chutes.

L'objectif de cette étude a été de trouver des indices de posturographie dynamique les plus discriminants quant à la différenciation significative des groupes de sujets âgés instables ayant ou non présenté des chutes. Notre objectif à terme est de proposer un protocole d'évaluation du risque de chute chez le sujet âgé instable, basé sur les résultats de cette étude comparative.

MATERIELS ET METHODES

Sujets

Cette étude a porté sur 202 patients âgés de plus de 60 ans, consultant pour des instabilités posturales permanentes et d'installation progressive. Cent quarante trois d'entre eux (âge moyen : $72,87 \pm 6,54$ ans), exempts de tout antécédent de chute, ont constitué le groupe G1 des « non chuteurs ». Cinquante-neuf autres ($74,47 \pm 9,58$ ans), appartenant à la même tranche d'âge ($F=0,86$; $p<0,35$) et ayant présenté au moins deux chutes inexplicables dans l'année, ont constitué le groupe G2 des « chuteurs ».

Il s'agit de chutes non provoquées par un élément extérieur, sans perte de connaissance et ayant une cause autre que : installation brusque d'une paralysie, crise épileptique, ingestion excessive de boissons alcoolisées. Nous avons inclus dans ce groupe des « chuteurs » non institutionnalisés, se déplaçant sans aide technique à la marche et avec des fonctions supérieures normales évaluées par le questionnaire « Mini-Mental Score » ($MMS > 24$).

Quarante trois pour cent des patients avaient, par ailleurs, une thérapie sédatrice douce n'excédant pas par exemple un demi comprimé de Bromazepam par jour. 76 % des « chuteurs » étaient des femmes, tandis que dans le groupe G1 une répartition quasi égale des sexes (56 % de femmes et 44 % d'hommes) a été constatée.

Nous avons exclu de cette étude tout sujet présentant des pathologies vestibulaires, neurologiques, métaboliques, vasculaires ou psychiatriques avérées, ainsi que des problèmes de vue non corrigés. Les critères d'exclusion tenaient compte également de fractures et d'entorses récentes ou anciennes avec séquelles. Ont été exclus également les patients présentant des réponses vestibulaires anormales aux épreuves caloriques bithermiques (graphique de Freyss avec une asymétrie supérieure à 15 % entre les deux vestibules, le paramètre retenu étant la vitesse de la phase lente du nystagmus réactionnel) et des réponses nystagmiques per-rotatoires asymétriques (prépondérance directionnelle supérieure à 1°/s).

Les patients qui remplissaient les critères d'inclusion et d'exclusion étaient recrutés au fur et à mesure de notre consultation. Ils nous étaient soit adressés pour une consultation spécialisée, soit ils nous consultaient de leur propre initiative.

Plateforme translationnelle

L'équilibre dynamique des patients a été évalué à l'aide de la plate-forme translationnelle SPS (Société SYNAPSYS, Marseille, France). Cette plateforme permet de provoquer des perturbations posturales et d'étudier la réaction d'équilibration du sujet par quantification des déplacements de son centre de pression (pour descriptif technique voir [12]).

Protocole de l'examen posturographique

Le protocole d'étude comprenait des épreuves translationnelles en rampe et en sinusé, ainsi qu'une évaluation des limites de stabilité du patient. Lors des stimulations en rampe, la durée des enregistrements était

Equilibre des chuteurs et non chuteurs

fixée à 51,2 s. Pendant cette période, six translations (trois vers l'avant et trois vers l'arrière) espacées de 8 secondes ont été réalisées à une vitesse de 0,1 m/s. Des stimulations sinusoïdales d'une durée de 25,6 s ont été appliquées à des fréquences de 0,25 Hz et 0,5 Hz. Toutes ces épreuves translationnelles ont été réalisées dans le plan antéropostérieur, en conditions « yeux ouverts » (YO) et « yeux fermés » (YF). Elles ont été présentées dans un ordre aléatoire ; la seule consigne donnée aux patients étant de maintenir leur équilibre sans déplacer leurs pieds.

Les limites de stabilité ont été évaluées en condition YO, sur plateforme fixe. Les patients ont eu comme consigne de déplacer le plus loin possible leur centre de pression dans toutes les directions du champ de 360° qui les entourait, sans décoller leurs pieds et sans tomber, en gardant leur corps rectiligne, adoptant ainsi une stratégie de cheville (pendule inversé).

Paramètres étudiés

Les réponses posturales des patients aux translations en rampe ont été quantifiées par l'énergie et le temps de stabilisation. Lors des translations sinusoïdales, le gain et la phase des réponses posturales ont été évalués. Ces différents paramètres ont été mesurés pour les déplacements du centre de pression dans le plan de la stimulation (en Y) et dans le plan qui lui est orthogonal (en X) (pour le mode de calcul des paramètres voir [12]).

Les limites de stabilité des patients ont été quantifiées par la surface des déplacements volontaires maximaux de leur centre de pression (Smax).

Analyse statistique

Les paramètres recueillis lors des translations en rampe et en sinusoïde ont été soumis à une analyse de variance (ANOVA) avec comme facteur inter-groupes les sujets et comme facteur intra-groupes la condition visuelle (YO et YF), ainsi que la fréquence de stimulation (0,25 Hz et 0,5 Hz) pour les translations sinusoïdales. La surface des déplacements volontaires maximaux du centre de pression a été soumise à une ANOVA avec comme seul facteur les sujets (G1 et G2).

Le test post hoc HSD de Tukey a été utilisé pour des comparaisons deux à deux et les résultats jugés significatifs pour $p < 0,05$.

RESULTATS

Epreuves translationnelles en rampe

Les résultats de l'analyse statistique portant sur les paramètres recueillis lors des stimulations en rampe montrent que les facteurs groupe et condition visuelle constituent les deux sources de variations significatives de l'énergie et du temps de stabilisation mesurés en Y et en X (Tableau I).

Tableau I : Analyse de variance sur les résultats aux épreuves translationnelles en rampe.

Valeurs du F et seuils de probabilité (P) indiquant que les facteurs groupe (« non chuteurs » versus « chuteurs ») et condition visuelle (yeux ouverts versus yeux fermés) constituent les deux sources de variations significatives de l'énergie et du temps de stabilisation mesurés en Y et en X.

Sources de variation	Energie Y	Energie X	Temps Y	Temps X
Groupe	32,16 (0,05)	106,08 (0,05)	7,99 (0,05)	45,09 (0,05)
Condition visuelle	58,16 (0,05)	93,57 (0,05)	45,85 (0,05)	43,59 (0,05)

La Figure 1A illustre les stabilogrammes en Y et en X de deux sujets représentatifs des groupes G1 et G2 lors des translations en rampe à la vitesse de 0,1 m/s en condition YO. Les histogrammes de la Figure 1B témoignent d'une altération drastique de tous les paramètres retenus, liée aux antécédents de chutes et à la fermeture des yeux.

Il est notable que la détérioration de l'équilibre dynamique des patients du groupe G2 est plus marquée dans le plan orthogonal à la stimulation (en X). Ainsi, en condition YO, les translations antéro - postérieures provoquent une augmentation de l'énergie en X de 107 % ($p < 0,0005$) chez les patients avec des antécédents de chutes (G2) par rapport aux témoins du même âge, tandis que l'énergie en Y augmente seulement de 52 % ($p < 0,05$). Cette même tendance est observée lors des translations YF: augmentation de 94 % ($p < 0,0005$) de l'énergie en X contre 43 % seulement pour l'énergie en Y ($p < 0,00005$).

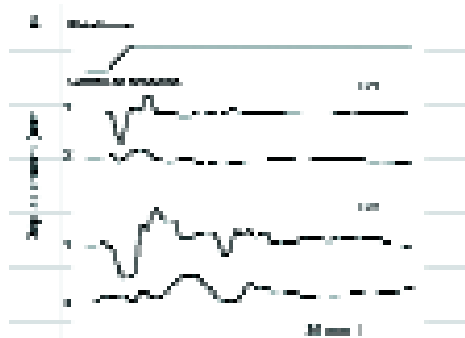
Un accroissement significatif lié aux antécédents de chute est également observé au niveau du temps de stabilisation en X dans les deux conditions YO et YF (de 32 % ($p < 0,00005$) et de 24 % ($p < 0,00005$) respectivement).

Le paramètre temps de stabilisation en Y, limité à 8 s par les conditions expérimentales, n'a pas fait état de

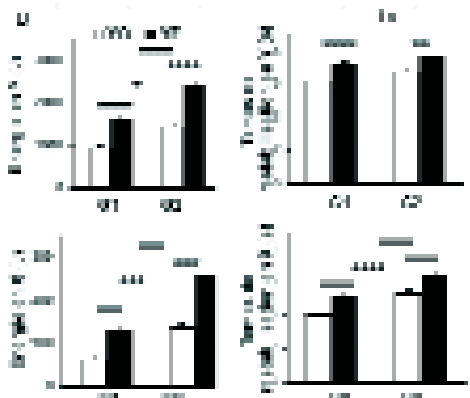
Equilibre des chuteurs et non chuteurs

Figure 1 : Réponses posturales à des translations en rampe.

A : Exemples de réactions posturales des deux sujets représentatifs des groupes G1 (« non chuteurs ») et G2 (« chuteurs ») à des translations antérieures de la plateforme en rampe à la vitesse de 0,1 m/s en condition les yeux ouverts. Les déplacements du centre de pression (ordonnées, en mm) sont beaucoup plus amples et le temps de restabilisation (abscisses, en s) est plus grand chez le sujet du groupe G2 en Y, comme en X.



B : Valeurs moyennes et erreurs standards de l'énergie des réponses posturales (en joules) et du temps de restabilisation (en s) recueillis dans les deux groupes. On constate que les paramètres énergie en Y et en X, ainsi que le temps de restabilisation en X discriminent les deux populations des sujets âgés en condition yeux ouverts (YO) comme yeux fermés (YF).



*, **, *** : différences significatives à $p < 0,05$; $p < 0,005$ et $p < 0,0005$ respectivement.

différence significative entre les deux populations de sujets âgés quelle que soit la condition visuelle (Figure 1). En effet, la durée de 8 s définissant chaque essai, n'était pas suffisante pour permettre aux sujets instables et surtout aux patients avec des antécédents de chutes, de retrouver leur équilibre. Ainsi, en condi-

tion YF, les patients du groupe G1 ont réussi à restaurer leur équilibre avant la translation suivante dans 10 % des épreuves seulement. Dans le groupe G2 le taux de réussite des épreuves était encore plus faible (6 %).

Epreuves translationnelles sinusoïdales

Les résultats de l'analyse statistique pratiquée sur le paramètre gain de la réponse posturale à la stimulation sinusoïdale mesuré en Y, sont résumés dans le Tableau II. On observe que les facteurs groupe, condition visuelle et fréquence de stimulation constituent les principales sources de variation de ce paramètre et que de nombreuses interactions entre facteurs sont présentes. Des effets similaires sont observés sur le gain mesuré en X.

Tableau II : Analyse de variance sur les résultats aux épreuves sinusoïdales.

Les facteurs groupe (« non chuteurs » versus « chuteurs »), condition visuelle (yeux ouverts versus yeux fermés) et fréquence de stimulation (0,25 Hz versus 0,5 Hz) constituent des sources de variations significatives différenciant les sujets sur la base du gain (en Y) de leurs réponses posturales.

Sources de variation	F	p
Groupe	52,03	0,05
Condition visuelle	359,85	0,05
Fréquence de stimulation	410,05	0,05
Groupe X condition visuelle	1,13	0,30
Groupe X fréquence	15,30	0,05
Condition visuelle X fréquence	79,87	0,05

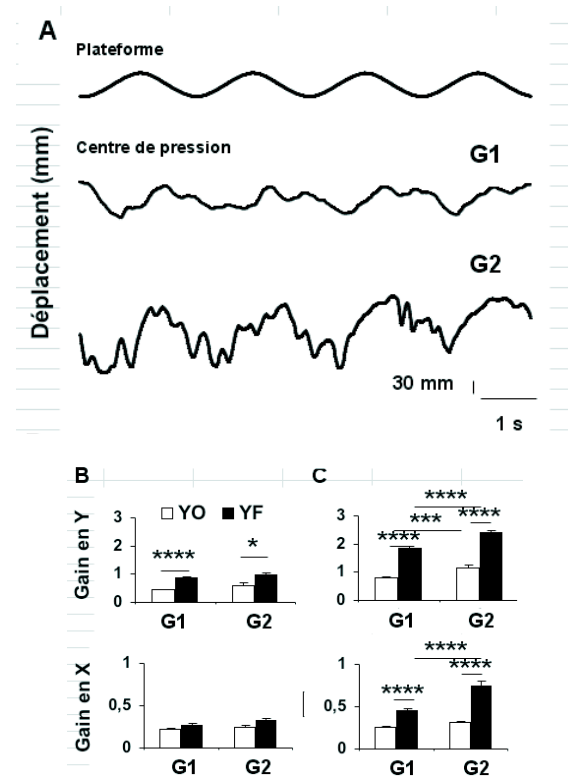
La Figure 2 illustre un accroissement du gain lié aux antécédents de chutes, à la fermeture des yeux et à l'augmentation de la fréquence de stimulation. On note par ailleurs, que les stimulations sinusoïdales à 0,5 Hz sont plus pertinentes pour un protocole de dépistage des chuteurs potentiels, par rapport à celle appliquées à 0,25 Hz. En effet, le gain des réponses posturales aux translations sinusoïdales à 0,5 Hz différencie significativement les groupes G1 et G2 quelle que soit la condition visuelle (Figure 2).

Les résultats de l'analyse statistique portant sur la phase des réponses posturales montrent que ce paramètre ne fait pas état de variations significatives entre les groupes G1 et G2 et s'avère donc peu sensible

Equilibre des chuteurs et non chuteurs

Figure 2 : Réponses posturales à des translations sinusoidales.

A : Illustration des réactions posturales des deux sujets représentatifs des groupes G1 (« non chuteurs ») et G2 (« chuteurs ») à des translations sinusoidales de la plateforme à la fréquence de 0,5 Hz en condition les yeux ouverts. Les valeurs moyennes et les erreurs standards du gain des réponses posturales aux translations sinusoidales à 0,25 Hz (**B**) et 0,5 Hz (**C**) indiquent que seules les translations à 0,5 Hz permettent de révéler des différences significatives



(* : $p < 0,05$, *** : $p < 0,0005$) entre les groupes G1 et G2.

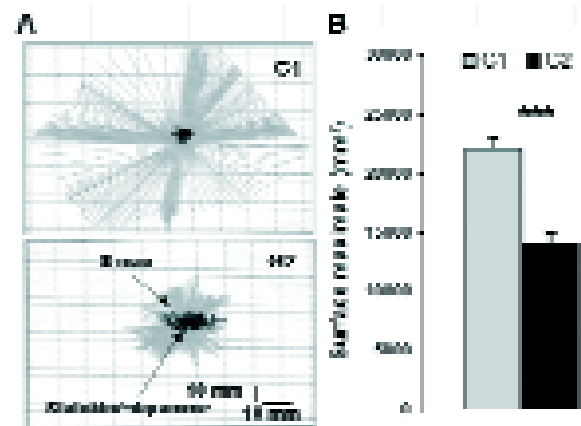
pour la discrimination des groupes de patients âgés instables avec et sans antécédents de chutes.

Limites de déplacements volontaires du centre de pression

Les résultats de l'ANOVA indiquent que le groupe de sujets constitue une source de variations significatives de la Smax [$F_{1,18} = 31,84$; $p < 0,0005$]. La Figure 3 illustre chez deux patients représentatifs des groupes explorés, que la surface moyenne calculée chez les patients du groupe G2 est réduite de 58 %

Figure 3 : Résultats d'évaluation des limites de stabilité.

A : Illustration des statokinésigrammes (déplacement du centre de pression en équilibre orthostatique) et des limites de stabilité (aire en gris) recueillis chez deux sujets représentatifs des groupes G1 (« non chuteurs ») et G2 (« chuteurs »). Les limites de stabilité sont quantifiées par la surface des déplacements volontaires maximaux du centre de pression (Smax). **B :** Valeurs moyennes (et erreurs standards) de la Smax calculées dans les groupes G1 et G2.



Les astérisques indiquent la différence significative entre les groupes à $p < 0,0005$.

($p < 0,00005$) par rapport à celle calculée dans le groupe G1.

DISCUSSION

Stimulation translationnelle en rampe

Nos résultats montrent qu'en moyenne, les translations en rampe sont déstabilisantes pour les patients du groupe G1 et qu'elles provoquent de forts déséquilibres chez les sujets du groupe G2. Lors de translations en rampe, le corps du sujet est soumis à des accélérations dues au démarrage et à l'arrêt brusque du support. Le maintien de l'équilibre dans ces conditions nécessite de la part du sujet, la mise en place de réajustements posturaux rapides pour éviter la chute, dont l'efficacité s'altère avec le vieillissement normal ou pathologique du système postural [12-13].

Le caractère adaptatif des réactions d'équilibration peut également être altéré par une anxiété due à la peur de rechuter, très présente chez les patients avec des antécédents de chutes [14].

Equilibre des chuteurs et non chuteurs

Nos résultats montrent, par ailleurs, que les déficits posturaux des patients du groupe G2 sont observables non seulement dans le plan de la stimulation (en Y), mais aussi et surtout, dans le plan qui lui est orthogonal (en X). Ainsi, la détérioration de l'équilibre dynamique liée aux antécédents de chutes est plus marquée sur les paramètres caractérisant l'équilibre latéral des sujets (énergie et temps de stabilisation en X).

Nos résultats confirment les données bibliographiques indiquant qu'en condition statique, les oscillations latérales du centre de pression permettent une meilleure évaluation des capacités d'équilibration et du risque de chute chez la personne âgée, tandis que la composante antéropostérieure des stabilogrammes est altérée dans tous les groupes de sujets âgés et ne discrimine pas les sujets à « haut » et à « faible » risque de déséquilibre [15], ni les personnes âgées avec ou sans antécédents de chutes [16].

En station bipodale, les oscillations médio-latérales du corps reflètent la capacité du sujet à répartir plus ou moins équitablement son poids sur ses deux jambes. Elles sollicitent le système des abducteurs / adducteurs de la hanche qui intervient en complément du système des inverseurs / éverseurs de la cheville. Les oscillations antéro-postérieures, quant à elles, traduisent des variations de l'activité des fléchisseurs plantaires des chevilles [17]. L'altération de l'efficacité des réactions posturales des personnes âgées instables pourrait résulter de la défaillance de coordination centrale de ces deux systèmes moteurs intervenant dans le contrôle postural. D'autre part, l'affaiblissement musculaire asymétrique des membres inférieurs, plus accentué chez les sujets âgés avec des antécédents de chutes par rapport aux « non chuteurs » [18], pourrait expliquer la détérioration de leur équilibre latéral et devrait être corrigé pendant la rééducation.

La dégradation de l'équilibre latéral des personnes âgées est particulièrement déterminante dans des conditions perturbatrices de la vie courante (sol glissant, accélérations externes etc.). En effet, un bon équilibre latéral est capital dans la réalisation d'un pas compensatoire lors des perturbations posturales [13-19]. Ce composant critique de la réponse d'équilibration est donc, très altéré chez les sujets âgés avec des antécédents de chutes et risque de contribuer à la récurrence des chutes ultérieures.

Il ressort donc de cette étude que les paramètres caractérisant l'équilibre latéral des sujets (l'énergie et le temps de stabilisation en X), ainsi que l'énergie en Y sont les plus pertinents quant à la différenciation des groupes des « chuteurs » et des « non chuteurs ».

Stimulation sinusoïdale

Les épreuves sinusoïdales fournissent deux paramètres permettant d'évaluer l'efficacité du contrôle postural. Il s'agit du gain et de la phase des réactions d'équilibration. Dans une large mesure, l'augmentation du gain accompagnée d'une diminution de la phase des réponses témoigne d'une détérioration du contrôle postural du sujet [12].

Nos résultats indiquent cependant que la phase, similairement réduite dans les deux groupes explorés, ne discrimine pas les personnes âgées instables avec ou sans antécédents de chutes. Ainsi, lors des translations sinusoïdales à 0,25 Hz les oscillations posturales des sujets étaient en phase avec le stimulus. Cette absence de déphasage entre la réponse et le stimulus, retrouvée également chez des enfants dont le système postural est immature [20], signe la détérioration du contrôle postural du sujet âgé.

En revanche, le gain des réponses posturales est un paramètre plus sensible à l'altération du contrôle de l'équilibre liée aux antécédents de chutes (G1 versus G2), au contexte visuel (YO versus YF) et à la fréquence de stimulation (0,25 Hz versus 0,50 Hz).

Limites de stabilité

L'évaluation des limites de stabilité est un test simple et largement employé en exploration fonctionnelle neurologique, gériatrique et posturographique. De nombreux auteurs évaluent les limites de stabilité des patients en mesurant le temps de réaction, la vitesse des mouvements du centre de gravité et le contrôle directionnel. [21-22]. Ils montrent cependant, une faible corrélation entre l'altération de ces paramètres et le risque de chute. Nous avons mesuré la surface des déplacements volontaires maximaux du centre de pression comme paramètre de quantification des limites de stabilité du sujet. Nos résultats montrent que cette surface est significativement réduite chez les patients instables avec des antécédents de chutes, par rapport à ceux qui n'ont jamais rapporté de chutes inexpliquées. Elle signe la diminution des possibilités d'ajustements posturaux et/ou de réalisation d'un mouvement volontaire du sujet âgé instable ou craintif d'une chute éventuelle. Celle-ci est probablement liée aux difficultés du sujet âgé d'employer une stratégie de cheville [23] résultant des limitations de mobilité et d'une diminution de la puissances de plantar- et dorsiflexion de la cheville, significativement plus marquées chez les « chuteurs » [24-25].

CONCLUSION

Nos résultats montrent que les « chuteurs » ont un équilibre dynamique altéré par rapport aux « non chuteurs ». Cette différence s'observe lors des perturbations posturales nécessitant des réajustements posturaux automatiques et adéquats pour éviter la chute, ainsi que lors de réalisation des mouvements volontaires. De plus, la détérioration de l'équilibre dynamique des « chuteurs » est plus marquée sur les paramètres caractérisant leur équilibre latéral.

Cette étude comparative a permis de proposer des indices de posturographie dynamique très pertinents quant à la différenciation significative des sujets âgés avec et sans antécédents de chutes. Les résultats de la présente étude devraient permettre d'établir un protocole d'évaluation posturographique du risque de chute chez le sujet âgé instable.

REFERENCES

1. Sekuler R, Hutman LP. Spatial vision and aging. I: Contrast sensitivity. *J Gerontol.* 1980; 35: 692-699.
2. Skinner HB, Barrack RL, Cook SD. Age-related decline in proprioception. *Clin Orthop.* 1984; 184: 208-211.
3. Paige GD. Senescence of human visual-vestibular interactions. 1. Vestibulo-ocular reflex and adaptive plasticity with aging. *J Vestib Res.* 1992; 2: 133-151.
4. Igarashi M, Saito R, Mizukoshi K, Alford BR. Otoconia in young and elderly persons: a temporal bone study. *Acta Otolaryngol Suppl.* 1993; 504: 26-29.
5. Baloh RW, Ying SH, Jacobson KM. A longitudinal study of gait and balance dysfunction in normal older people. *Arch Neurol.* 2003; 60: 835-839.
6. Lexell J. Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1995; 50: 11-16.
7. Camicioli R, Moore MM, Sexton G, Howieson DB, Kaye JA. Age-related brain changes associated with motor function in healthy older people. *J Am Geriatr Soc.* 1999; 47: 330-334.
8. Whitman GT, Tang Y, Lin A, Baloh RW, Tang T. A prospective study of cerebral white matter abnormalities in older people with gait dysfunction. *Neurology* 2001; 57: 990-994.
9. Bloem BR, Steijns JA, Smits-Engelsman BC. An update on falls. *Curr Opin Neurol.* 2003; 16: 15-26.
10. Campbell AJ, Borrie MJ, Spears GF. Risk factors for falls in a community-based prospective study of people 70 years and older. *J Gerontol.* 1989; 44: M112-117.
11. Berg KO, Wood-Dauphinee SL, Williams JI, Maki B. Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Can J Public Health.* 1992; 83 Suppl 2: S7-11.
12. Lacour M. Posture et équilibre : Nouvelles méthodes de traitement du signal posturographique. Edition Solal, Marseille, 2004. Evaluation des déficits posturaux de sujets âgés ou pathologiques: Intérêt de nouvelles méthodes de traitement du signal stabilométrique: Ghulyan V, Paolino M, Lopez C, Dumitrescu M, Lacour M., *Fr ORL - 2005 ; 88 : 97-102.*
13. Maki BE, Edmondstone MA, McIlroy WE. Age-related differences in laterally directed compensatory stepping behavior. *J Gerontol.* 2000; 55: M270-277.
14. Vellas BJ, Wayne SJ, Romero LJ, Baumgartner RN, Garry PJ. Fear of falling and restriction of mobility in elderly fallers. *Age Ageing* 1997; 26: 189-193.
15. Williams HG, McClenaghan BA, Dickerson J. Spectral characteristics of postural control in elderly individuals. *Arch Phys Med Rehabil.* 1997; 78: 737-744.
16. 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.* 1994; 49: M72-84.
17. Winter D, Prince F, Frank J, Powell C, Zabjek K. Unified theory regarding A/P and M/L balance in quiet stance. *J Neurophysiol.* 1996; 75: 2334-2343.
18. Skelton DA, Kennedy J, Rutherford OM. Explosive power and asymmetry in leg muscle function in frequent fallers and non-fallers aged over 65. *Age Ageing* 2002; 31: 119-125.
19. Rogers MW, Hedman LD, Johnson ME, Cain TD, Hanke TA. Lateral stability during forward induced stepping for dynamic balance recovery in young and older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2001; 56: M589-594.
20. Berger W, Discher M, Trippel M, Ibrahim IK, Dietz V. Developmental aspects of stance regulation, compensation and adaptation. *Exp Brain Res.* 1992; 90: 610-619.

Equilibre des chuteurs et non chuteurs

21. Brauer SG, Burns YR, Galley P. A prospective study of laboratory and clinical measures of postural stability to predict community-dwelling fallers. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2000; 55: M469-476.
22. Wallmann HW. Comparison of elderly nonfallers and fallers on performance measures of functional reach, sensory organization, and limits of stability. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2001; 56: M580-583.
23. Woollacott MH, Shumway-Cook A, Nashner LM. Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination. *Int J Aging Hum Dev.* 1986; 23: 97-114.
24. Lee LW, Kerrigan DC. Identification of kinetic differences between fallers and nonfallers in the elderly. *Am J Phys Med Rehabil.* 1999; 78: 242-246.
25. Sieri T, Beretta G. Fall risk assessment in very old males and females living in nursing homes. *Disabil Rehabil.* 2004; 12: 718-723.