Reçu en mai 2014
Révisé en septembre 2014

Impact de l'équilibre sur le contrôle moteur du membre supérieur

RAPHAËLLE GENOLET

Physiothérapeute HES, neuroréadaptation, rééducation vertiges et équilibre, Clinique romande de réadaptation à Sion

Mots-clés: *contrôle moteur, contrôle postural, stabilité centrale, équilibre, membre supérieur*

Key words: *motor control, postural control, core stability, balance, upper limb*

Résumé

Le contrôle moteur du membre supérieur se fait par la programmation posturale et par la programmation motrice liée à la tâche. Cette dernière influence la posture par le biais des ajustements posturaux anticipatoires (APAs). En retour les APAs participent à la précision du mouvement sélectif du membre supérieur. Leur apparition varie selon la configuration de la tâche, la position, l'âge ou la pathologie. La stabilité centrale (core stability) influence elle aussi le contrôle moteur du bras de même que la fonction d'équilibration indissociable de la posture. Ainsi, dans la rééducation du membre supérieur, l'option thérapeutique proposée est de passer notamment par un travail du contrôle postural et de l'équilibre. Ceci va se faire en favorisant l'apparition des APAs, en améliorant la stabilité centrale et en stimulant les entrées somesthésiques, visuelles et vestibulaires de la fonction d'équilibration. Ces stimulations seront finalement intégrées lors d'une tâche du membre supérieur.

Introduction

Dans l'analyse du comportement moteur, l'acte moteur est classiquement divisé en contrôle postural et en mouvement sélectif lié à la tâche [1].

L'équilibre, quant à lui, peut être défini comme le maintien de la projection au sol du centre de masse à l'intérieur de la surface d'appui [2] ou comme la résistance à un changement possible du champ de force [3]. Ceci se réalise grâce à la fonction d'équilibration qui met en œuvre les différents moyens dont dispose le corps pour maintenir son équilibre. La fonction d'équilibration est indissociable de la posture qui sous-entend les mécanismes nerveux qui régulent les variations d'attitude, intentionnelles ou non [2].

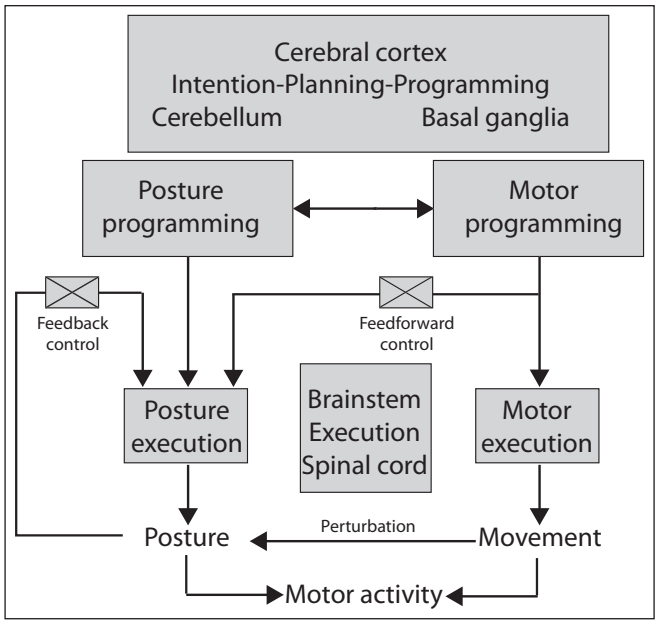
Quels sont les mécanismes du contrôle postural et ceux de la fonction d'équilibration ? Contrôle postural et mouvement sélectif sont-ils bien deux entités distinctes de l'acte moteur ? Dans quelle mesure la stabilité centrale (core stability) influence-t-elle le mouvement sélectif du membre supérieur ? Et finalement, comment mettre en lien une tâche du membre supérieur avec la fonction d'équilibration ?

Le propos de cet article est, d'une part, d'explorer les liens entre l'équilibre, le contrôle postural, la stabilité centrale et le contrôle moteur du membre supérieur et, d'autre part, de proposer des applications pour la pratique quotidienne avec nos patients.

Contrôle postural – contrôle moteur du membre supérieur

L'organisation centrale du contrôle moteur se fait par la programmation posturale et mais aussi par la programmation motrice [4] (figure1). Cette programmation motrice influence la posture par le biais des ajustements posturaux anticipatoires (APAs). « Les ajustements posturaux associés au mouvement sont appelés anticipés parce qu'ils sont activés avant le début de la perturbation de la posture et de l'équilibre résultant du mouvement. » [5]. Ce sont des ajustements automatiques et involontaires de la posture qui ont lieu au niveau du tronc et des membres inférieurs.

On distingue différents types d'APAs en fonction du moment de leur apparition et de leur rôle dans le maintien postural. Pour une perturbation attendue de la posture debout, des



› › Figure 1 : le « feedforward control » est constitué par les ajustements posturaux anticipatoires (APAs) [4]

ajustements posturaux précoces (EPAs, Early Posturals Adjustments) apparaissent 500 à 400 ms avant cette perturbation. Ces EPAs induisent un changement minimal du centre de pression (point d'application de la force résultante de réaction au sol) et ont pour fonction d'ajuster la posture, d'assurer les conditions mécaniques adéquates pour un contrôle efficace [6]. Les APAs (Anticipatory Postural Adjustments) apparaissent entre 150 et 100 ms avant la perturbation. On observe alors un changement rapide et visible du centre de pression, ainsi qu'un changement de l'activité musculaire dans le but de produire des forces et des moments de force pour contrecarrer les effets de la perturbation [6]. D'autre part *Krishnan, Aruin & Latash (2011)* [3] ont mis en évidence un autre type d'ajustements qui sont les ASAs (Anticipatory Synergy Adjustments). Ces ajustements apparaissent avant chaque EPA et chaque APA. Il s'agit d'un ajustement qui se fait par une chute en parallèle du niveau d'activation des groupes musculaires ayant le même degré d'activation (M-mode, dont le rôle est de stabiliser la posture) [3]. Les ASAs agissent comme une sorte de déverrouillage pour permettre ensuite aux EPAs puis aux APAs de développer leurs actions.

Cela étant l'intérêt clinique de ces APAs apparaît lorsque l'on s'intéresse à leurs variations. Dans quelles circonstances sont-ils modifiés en relation avec une activité du membre supérieur?

Chez les sujets sains les APAs sont par exemple modifiés en fonction de la vitesse du mouvement sélectif, ceux-ci apparaissant plus tôt lors d'un mouvement plus rapide [7]. De plus, ils sont pratiquement absents lorsque le mouvement du bras se fait en position assise [7]. On sait aussi que les APAs apparaissent plus tôt si l'objet de préhension est placé plus loin [8], s'il y a possibilité pour le sujet d'anticiper la tâche à effectuer [9] ou si l'exécution de cette tâche est soumise à une restriction temporelle [10].

De plus, si une tâche de pointage est modifiée en cours d'exécution (par exemple si l'objet à pointer est déplacé après le début du mouvement du bras) les APAs se modifient aussi. Ces derniers se modifient avant l'adaptation du mouvement du bras (avant la modification du signal EMG des muscles du bras) [11].

Chez les sujets sains toujours, lors de la préhension d'un objet éloigné les APAs guident le centre de gravité vers l'objet [8, 12].

Chez les personnes atteintes de la maladie de Parkinson ou de lésion du lobe frontale (spécialement lésion de l'aire motrice supplémentaire) les APAs sont pratiquement absents [7].

Chez les sujets âgés, les APAs sont retardés lors de la préhension lointaine (c'est-à-dire au-delà de la longueur du bras), induisant même une modification de la cinématique du poignet chez ces sujets [13]. De même ils sont retardés lors d'un mouvement rapide, unilatéral, du bras de la personne âgée [14].

Pour compléter la compréhension de ces ajustements, relevons que le lien cortical se fait par l'aire motrice supplémentaire (AMS), celle-ci étant la première zone corticale à montrer une activité, de façon bilatérale, avant un mouvement du bras [7]. D'une part, lors de déficit d'APAs (par exemple maladie de Parkinson) les régions corticales principalement affectées sont l'AMS ainsi que l'aire pré-motrice et d'autre part, pour une même accélération du bras, l'activité de l'AMS est plus large en position debout qu'assise [7]. On peut donc fortement supposer que l'AMS contribue à l'apparition des APAs.

À la lumière de ces différentes études on comprend que les APAs ne sont pas des ajustements dont le but est de contrebalancer dans son sens opposé le déplacement du centre de pression induit par un mouvement du membre supérieur mais sont bien des ajustements qui participent à l'acuité du mouvement sélectif du bras. Les APAs deviennent partie intégrante du mouvement sélectif. Ainsi la séparation entre contrôle postural et mouvement sélectif du membre supérieur s'estompe (notamment lors de préhension d'objets éloignés).

Stabilité centrale – contrôle moteur du membre supérieur

Si l'on s'intéresse maintenant à cette pièce centrale du contrôle postural qu'est la stabilité centrale (core stability), que sait-on de son influence sur le mouvement sélectif du membre supérieur ? Et que sait-on de son mode de fonctionnement ?

La stabilité centrale est la capacité des muscles du tronc à contribuer au maintien d'une bonne posture, de l'équilibre etc. spécialement durant le mouvement [15]. Elle est délimitée par la musculature du diaphragme pour le haut, les abdominaux pour les côtés et la partie ventrale, les paraspinaux et glutei pour la partie dorsale, par le plancher pelvien et ceinture pelvienne pour le bas [16].

Miyake et al (2013) démontrent que pour une tâche effectuée légèrement penché en avant, des exercices de stabilité du tronc (gainage) améliorent la précision du mouvement de la main et diminuent les oscillations posturales [16]. Un entraînement de la stabilité du tronc en chaîne cinétique fermée et instable (les jambes sont en suspension) améliore la vitesse maximale du lancer chez les handballeuses [17]. De plus les glutei dans leur action tant concentrique qu'excentrique pour stabiliser le bassin, jouent un rôle déterminant lors du lancer (baseball et softball). Ces muscles étant plus faibles chez les lanceurs blessés, leur entraînement spécifique pourrait avoir un rôle préventif dans la blessure du lanceur. [18]. *Wallden* (2013) relève aussi l'importance de fonctions saines des organes internes (respiration et digestion) pour la stabilité centrale [19].

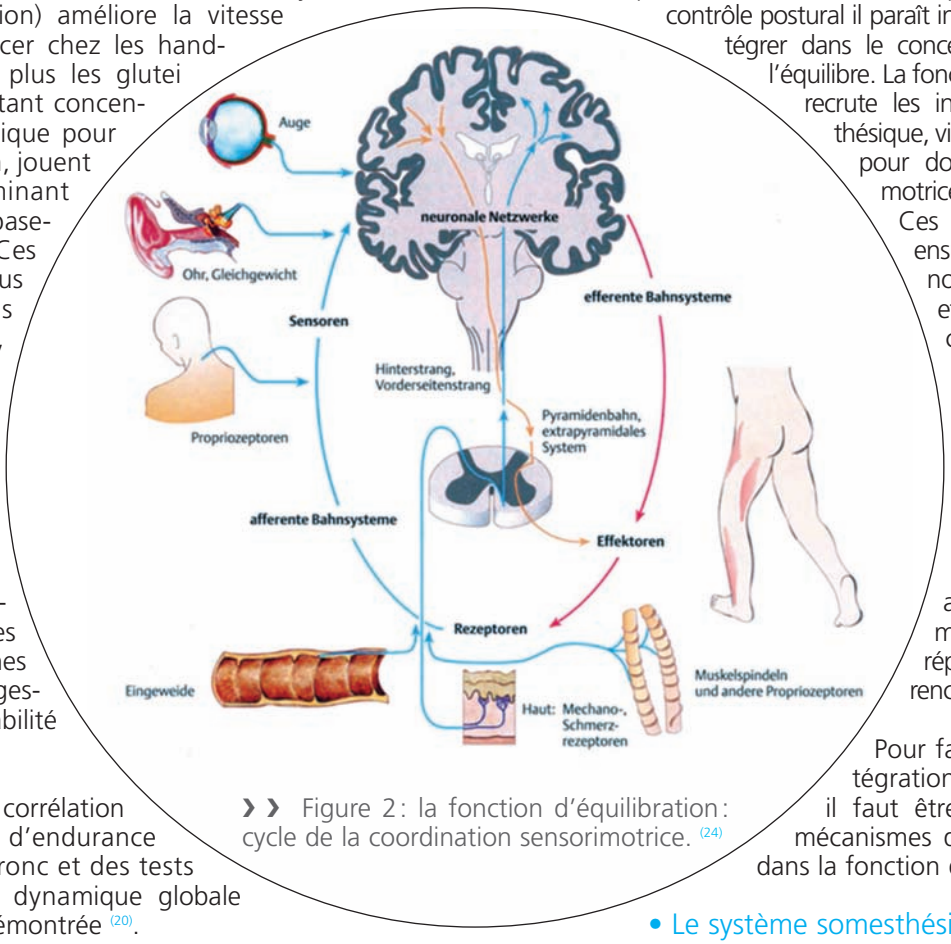
Cependant une corrélation entre des tests d'endurance isométrique du tronc et des tests de performance dynamique globale n'a pas pu être démontrée [20].

Finalement il est important de relever que lors d'un mouvement rapide du bras, l'obliquus internus et le transversus abdominis du côté controlatéral s'activent avant le côté ispsilatéral [21]. Ainsi le mode de fonctionnement de la stabilité centrale est en contrôle réciproque avec une activation controlatérale et une inhibition ipsilatérale du transversus. Il ne s'agit donc pas de co-contractions bilatérales de stabilisation comme l'avait décrit *Richardson* 1999 dans sa théorie de corset [22].

En résumé travailler la stabilité centrale améliore le mouvement sélectif du membre supérieur (précision, vitesse). Il n'y a cependant pas de lien démontré entre stabilité centrale et performance dynamique globale. Il est important de noter que le mode de fonctionnement de la stabilité centrale est en contrôle réciproque et non pas en co-contraction de stabilisation.

Contrôle postural – équilibre

« L'équilibre est indissociable de la posture et la fonction d'équilibration doit permettre, dans son aspect statique, le maintien de la posture en dépit des forces contraires ainsi que, dans son aspect dynamique, l'adaptation permanente de rapport aux appuis afin d'assurer la poursuite du mouvement ou du déplacement » [23]. Pour développer pleinement le contrôle postural il paraît indispensable de l'intégrer dans le concept plus global de l'équilibre. La fonction d'équilibration recrute les informations somesthésique, visuelle et vestibulaire pour donner une réponse motrice (figure 2) efficace. Ces informations sont ensuite gérées par les noyaux vestibulaires et leurs nombreuses connexions dans les différentes parties du système nerveux. Une fois intégrées elles donnent lieu, en combinaison avec la programmation de la tâche que nous avons vu précédemment (APAs), à une réponse motrice (efférences).



› › Figure 2 : la fonction d'équilibration : cycle de la coordination sensorimotrice. [24]

Pour faire ce travail d'intégration avec nos patients il faut être au clair sur les mécanismes qui entrent en jeu dans la fonction d'équilibration.

• Le système somesthésique :

Il comprend toutes les afférences proprioceptives des mécanorécepteurs, des fuseaux neuromusculaires et des appareils de Golgi ainsi que des organes internes (intestins). Les fibres proprioceptives sont les plus rapides du corps (80-120m/s) et 99,9 % du contrôle proprioceptif se fait de manière inconsciente, appelée aussi achéoproprioception [25]. Pour stimuler adéquatement la proprioception il faut un stimulus qui soit, lui aussi rapide, avec idéalement plusieurs oscillations par seconde, comme obtenu, par exemple, avec le plateau du Delos Postural Proprioceptive System.

Concernant la réponse motrice, qui est la partie efférente de la proprioception, vitesse, force et précision (coordination) seront les facteurs de réussite pour le maintien de la posture.

• Le système visuel :

Les afférences visuelles concernent l'image imprimée sur la rétine. Celle-ci nous permet d'avoir les notions de verticalité et d'horizontalité qui se font par le biais de la vision périphérique.

Pour les efférences il s'agit de l'oculomotricité qui doit elle aussi être fonctionnelle avec une réponse adéquate en force (pas de parésie par lésion des nerf oculomoteurs), vitesse et coordination, ceci notamment pour permettre au réflexe vestibulo-oculaire d'être efficace (voir ci-dessous).

• Le système vestibulaire :

Les organes vestibulaires sont des capteurs d'accélération et de décélération tant angulaire (les trois canaux vestibulaires) que linéaire (saccule et utricule). Ils réagissent au mouvement de la tête, nous donnant la sensation de mouvement. Ces informations sont transmises aux noyaux vestibulaires. De là les ramifications sont multiples : via le tractus longitudinal médian (Medial Longtudinal Fasciculus, MLF) des connexions se font vers les noyaux oculomoteurs donnant lieu au réflexe vestibulo-oculaire (RVO) et permettant la fixation de l'image lors du mouvement et l'apparition du nystagmus. Via le tractus latéral vestibulo-spinal des connexions se font vers les muscles antigravitaires donnant lieu au réflexe vestibulo-spinal (RVS) nous permettant de rester debout ou, en cas de trouble, donnant lieu à une chute. D'autres connexions vont vers le cervelet (lobes floculonodulaires) pour affiner la réponse motrice. D'autres encore, via le MLF, montent au thalamus (noyau postérolatéral) et le cortex pariéto-insulaire donnant, en cas de trouble, une sensation de vertige (figures 3 et 4). C'est notamment par le biais des deux reflexes RVO et RVS que l'on peut travailler sur les informations vestibulaires perturbées.

En fonction de la situation, l'utilisation des différentes entrées sensorielles se pondère. Dans le noir l'entrée visuelle ne sera pas d'une grande aide et les entrées vestibulaires et proprioceptives devront prendre le relais. Par contre, sur un sol très instable ou glissant, l'entrée proprioceptive étant moins utilisable, les entrées vestibulaire et visuelle seront de première importance. De plus il est courant que l'une des entrées sensorielles soit spécialement stimulée, par exemple : visuelle dans la foule, proprioceptive sur un terrain irrégulier, vestibulaire si l'on doit tourner la tête pour voir un objet. Pour la rééducation de l'équilibre il sera nécessaire d'entraîner ces modulations et les changements rapides d'une pondération à l'autre, ainsi que la capacité du système à gérer une stimulation plus importante de l'une des entrées.

En revanche au niveau des efférences, dans toute situation, la réponse motrice, qu'elle soit des muscles antigravitaires, des stabilisateurs du tronc ou oculomoteurs, doit toujours être présente pour éviter la perte d'équilibre.

Applications pratiques

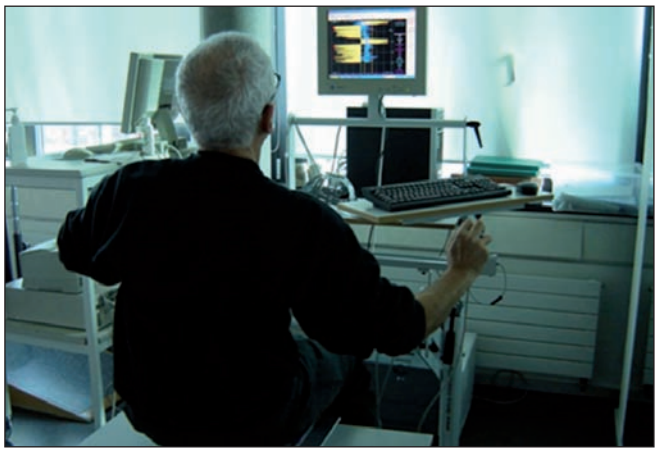
En fonction de ce qui précède, l'option thérapeutique proposée est de chercher à améliorer l'activité motrice du membre supérieur par le biais du travail du contrôle postural et plus globalement de l'équilibre.

1. Etayer les APAs

Pour tous types de personnes, les principaux points seront de travailler un mouvement sélectif du membre supérieur en position debout le plus possible, de chercher à accélérer le mouvement du bras, d'éloigner l'objet de préhension, de permettre une anticipation de la tâche à effectuer et/ou d'introduire une contrainte temporelle à l'exécution cette tâche.

En présence de sujets âgés l'activité debout de préhension ou autre s'avère aussi primordiale.

Dans les cas de maladie de Parkinson ou de lésion du lobe frontal, une tâche du membre supérieur sera aussi entraînée



›› Figure 3 : stabilisation assis avec tâche motrice du membre supérieur droit (capteur d'accélération et d'angulation dans la main droite, tracé en bleu sur l'écran, oscillations du plateau en jaune). Delos Postural Proprioceptive System.



›› Figure 4 : total Body Suspension Trainer BB 2400E

debout, en passant par le renforcement de la fonction d'équilibration (voir plus bas), les APAs étant absents.

2. Améliorer la stabilité centrale

Le travail sur la stabilité centrale peut se faire par des exercices de gainage, en asymétrique pour le tranvsersus abdominis, de stabilisation assis sur plan instable (figure 3), de gainage avec les jambes en suspension, c'est-à-dire en chaîne cinétique fermée et instable (figure 4). Pour des gestes de lancer on pensera au renforcement en concentrique et en excentrique des glutei.

3. Renforcer la fonction d'équilibration et y intégrer le mouvement sélectif

Cette option sera particulièrement importante pour les personnes ayant des APAs absents ou retardés (lésion lobe frontal par AVC, Tumeur, SEP, autre, maladie de Parkinson, sujets âgés).

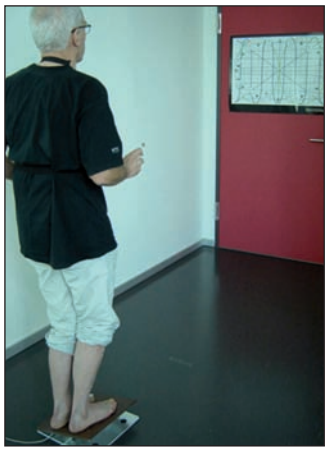
• En stimulant l'utilisation de l'entrée somesthésique :

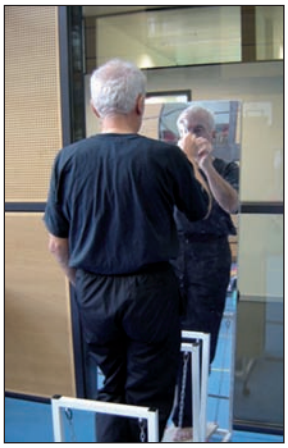
Cette stimulation se fera par un stimulus rapide, c'est-à-dire sur un plan très instable (plateau Delos). En cas de capacité réduite, dans ce contexte, il est intéressant de travailler sur un plan très instable avec un léger contact stabilisateur des doigts afin d'avoir la vitesse de stimulation recherchée. Ceci tout en gardant à l'esprit que dans un deuxième temps, au niveau de la fonction d'équilibration, il sera indispensable de travailler sans contact stabilisateur. Les plans instables tels que tapis de gym et escarpolette sont aussi utilisés.

Pour chercher à intégrer ce travail de la fonction d'équilibration dans le cadre du contrôle moteur du membre supérieur, on ajoutera ensuite une tâche du membre supérieur, debout sur plan instable (figures 5 et 6).



›› Figure 5 :
stimulation somesthésique par plateau instable en unipodale avec tâche motrice du membre supérieur droit (capteur d'accélération et d'angulation dans la main droite, tracé en bleu sur l'écran, oscillations du plateau en jaune). Delos Postural Proprioceptive System





›› Figure 6 et 6 bis : plateau instable avec pointeur laser dans la main droite, tableau de SMARTERReha sur la porte. Tracer le contour de son image sur le miroir, en station unipodale sur l'ecarpolette de Dotte.

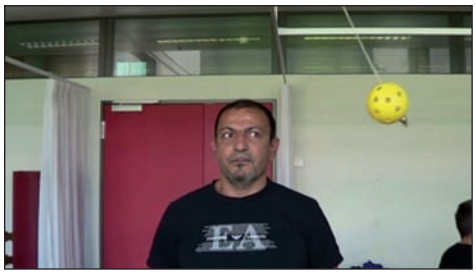
• En stimulant l'utilisation de l'entrée visuelle :

Si l'on recrute spécifiquement l'entrée visuelle, une clarification des capacités visuelles de la personne (port de lunettes) peut s'avérer utile.

On proposera, en position debout, un travail des saccades et poursuites sans déplacement de la tête à l'aide, par exemple, d'une diode lumineuse mobile ou d'un pendule, dans les différents plans. Ceci peut ensuite être intensifié en augmentant la vitesse et/ou l'amplitude du pendule.

Puis une intégration du membre supérieur peut se faire par une tâche de pointage (ou autre) aux saccades aléatoires ou aux poursuites, sans rotation de la tête (figure 7 et 7 bis).

La suite de la progression sera d'ajouter une stimulation de l'entrée somesthésique en demandant le même travail debout pieds joints, sur un tapis de gym, sur l'escarpolette etc…





›› Figure 7 et 7 bis : poursuite sans rotation de la tête puis avec pointage du membre supérieur

• En stimulant l'utilisation de l'entrée vestibulaire :

Favoriser le recrutement de réflexe vestibulo-oculaire (RVO) peut se réaliser par des rotations actives de la tête tout en maintenant les yeux fixés sur un point défini ou par des poursuites avec rotation simultanée de la tête (figure 8).
Puis passer ensuite à l'intégration du membre supérieur par une tâche de pointage avec déplacement de l'objectif en cours d'action et rotation simultanée de la tête (figure 9).





›› Figure 8 et 9 : poursuite avec rotation de la tête (stimulation vestibulaire et recrutement du RVO) puis avec pointage du membre supérieur

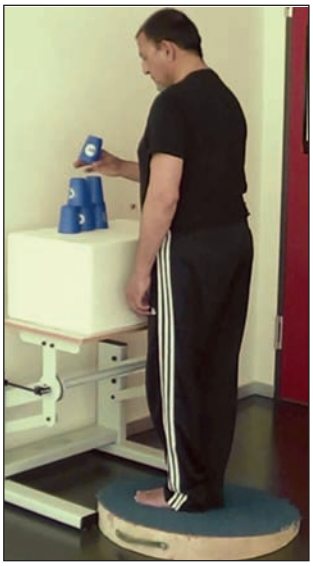
Le recrutement du réflexe vestibulo-spinal est toujours présent à partir du moment où la personne tient debout. Cependant on peut stimuler son utilisation en travaillant sur des plans inclinés, dans différentes directions, puis faire un mouvement sélectif du membre supérieur sur plan incliné (figure 10 et 10 bis).

Finalement après avoir stimulé chaque entrée afin d'augmenter la capacité du système à gérer une stimulation plus importante (situation courante dans la vie quotidienne), puis intégré le mouvement du membre supérieur, on va chercher à combiner l'utilisation des différentes entrées en ajoutant des stimulations pour une 2e (puis une 3e) entrée sensorielle de la fonction d'équilibration (voir ci-dessus la suite de la progression pour l'entrée visuelle).

Conclusion

Le contrôle postural intervient dans la modulation du mouvement sélectif du membre supérieur par le biais des ajustements posturaux anticipatoires (APAs). Les APAs sont partie intégrante du mouvement sélectif. Dans ce contexte, une part de la rééducation du membre supérieur peut se faire en favorisant l'apparition des APAs et en améliorant la stabilité centrale. De plus, l'équilibre étant indissociable de la posture, la proposition est faite d'intégrer et de stimuler les différentes composantes de la fonction d'équilibration - séparément puis lors d'une tâche - afin d'augmenter le contrôle moteur du membre supérieur.





›› Figure 10 et 10 bis : tâche motrice du membre supérieur avec stimulation du recrutement du RVS par le plan incliné

Contact

Raphaëlle Genolet
Clinique romande de réadaptation
Av. Grand-Champsec 90
1951 Sion
raphaelle.genolet@crr-suva.ch

Bibliographie

1. International Bobath Instructors Training Association. (page consultée le 15/04/2014). Theoretical Assumptions and Clinical Practice. http://www.ibita.org
2. DES de Médecine Physique et de Réadaptation – DIU de Rééducation, Module : « Troubles de l'équilibre ». (page consultée le 15.04.14). Physiologie du contrôle postural. Physiopathologie des troubles de l'équilibre. http://www.cofemer.fr/UserFiles/File/Perennou Physiologie Posture Site Cofemer.pdf
3. Krishnan V, Aruin AS et Latash ML. Two stages and tree components of the postural preparation to action. Exp. Brain Res. 2011;212(1):47-63.
4. Lynch-Ellerrington M, Meadows L, Raine S. Bobath Concept, Theory and clinical practice in neurological rehabilitation. UK : Wiley-Blackwell. Ads; 2009.
5. Massion J. Movement, posture and equilibrium : interaction and coordination. Progress in Neurobiology. 1992;38:35-56.
6. Krishnan V, Aruin AS et Latash ML. Early and Late Components of Feed-forward Postural Adjustments to Predictable Perturbations. Clin. Neurophysiol. 2012;123(5):1016-1026.
7. Yoshida S, Nakazawa K, Shimizu E & Shimoyama I. Anticipatory postural adjustments modify the movement-related potentials of upper exteremity voluntary movement. Gait & Posture. 2008;27:97 -102.
8. Tyler AE, Karst GM. Timing of muscle activity during reaching while standing: systematic changes with target distance. Gait & Posture. 2004;20(2):126-33.

9. Tomita H, Fujiwara K, Mori E & Sakurai A. Effects of anticipation certainty on preparatory brain activity and anticipatrory postural adjustments associated with voluntary unilateral arm movement while standing. Hum Mov Sci. 2012;31 (3):578-91.
10. Benvenuti F, Stanhope SJ, Thomas SL, Panzer VP & Hallet M. Flexibility for anticipatory postural adjustments revealed by self-paced and reaction-time arm movements. Brain Res. 1997;761(1):59-70.
11. Leonard JA, Gritsenko V, Ouckama R & Stapley PJ. Postural adjustments for online corrections of arm movements in standing humains. J Neurophysiol. 2011;105 (5):2375-88.
12. Pozzo T, Stapley PJ & Papaxanthis C. Coordination between equilibrium and hand trajectories during whole body pointing movements. Exp Brain Res. 2002;144(3):343-50.
13. Paizis C, Papaxanthis C, Berret B & Pozzo T. Reaching beyond arm length in normal aging : adaptation of hand trajectory and dynamic equilibrium. Behav Neurosci. 2008;122(6):1361-70.
14. Bleuse S, Casssim F, Blatt JL, Derambure P, Guieu JD & Defebvre L. Effect of age on anticipatory postural adjustments in unilateral arm movement. Gait & Posture. 2006;24(2):203-10
15. Oxford Dictionaries (page consultée le 15.04.2014). http://www.oxford-dictionaries.com/definition/english/core-stability?q=core+stability
16. Miyake Y, Kobayashi R, Kelepecz D & Nakajima M. Core exercises elevate trunk stability to facilitate skilled motor behavior of the upper extremities. J Bodyw Mov Ther. 2013;17(2:259-65.
17. Saeterbakken AH, van den Tillaar R & Seiler S. Effect of core stability training on throwing velocity in female handball players. J Strength Cond Res. 2011;25(3):712-8.
18. Plummer H, Oliver GD.The relationship between gluteal muscle activation and throwing kinematics in baseball and softball catchers. J Strength Cond Res. 2014 ;28(1):87-96
19. Wallden M. The primal nature of core function: in rehabilitation & performance conditioning. J Bodyw Mov Ther. 2013;17(2):239-48.
20. Okada T, Huxel KC, Nesser TW. Relationship between core stability, functional movement, and performance. J Strength Cond Res. 2011;25(1):252-61.
21. Allison GT, Morris SL & Lay B. Feedforward responses of transversus abdominis are directionally specific and act asymmetrically: implications for core stability theories. J Orthop Sports Phys Ther. 2008;38(5):228-37.
22. Morris SL, Lay B, & Allison GT. Corset hypothesis rebutted--transversus abdominis does not co-contract in unison prior to rapid arm movements. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2012;27(3):249-54.
23. Faculté de médecine, Pierre&Marie Cruie. (page consultée le 15.04.14). Anatomie fonctionnelle. Chapitre 3 - Tonus et posture. http://www.chups.jussieu.fr/polysPSM/anatfonctPSM2/poly/POLY.Chp.3.html#ID-26
24. Bertram AM, Laube W. Sensomotorische Koordination. Stuttgart: Thieme; 2008.
25. Riva D, Trevisson P, Minoletti R, Venturin N & Riccio MC (2001). Static nd dynamic postural control in single stance. Translated fomr Il Fisioterapista. 2 Marzo-Aprile. 2001.