

Champ magnétique d'extrêmement basse fréquence appliqué au système vestibulaire et contrôle de la posture

Nicolas Bouisset ^{1,2}, Sébastien Villard ^{1,3}, Daniel Goulet ⁷, Michel Plante ⁷, Martine Souques ⁶, François Deschamps ⁵, Geneviève Ostiguy ⁷, Jacques Lambrozo ⁶, Alexandre Legros ^{1,2,3,4,8}

¹Human Threshold Research Group, Lawson Health Research Institute, London, ON, Canada

²Department of Kinesiology, Western University, London, ON, Canada

³Department of Medical Biophysics, Western University, London, ON, Canada

⁴Department of Medical Imaging, Western University, London, ON, Canada

⁵RTE, Département Concertation et Environnement, Cœur Défense, Paris, France

⁶Service des Études médicales, EDF, Levallois-Perret Cedex, France

⁷Hydro-Québec, Montréal, Québec, Canada

⁸EuroMov, Université de Montpellier, Montpellier, France

Introduction

L'exposition à des champs magnétiques (CM) d'extrêmement basses fréquences (EBF), pourrait moduler le système vestibulaire grandement impliqué dans le contrôle de la posture. Des modulations posturales sont par exemple rapportées lors de mouvements à proximité d'un IRM¹. L'induction électromagnétique figure parmi les hypothèses explicatives² mais fait débat³. Des stimulations électriques spécifiques (stimulation vestibulaire galvanique continue – DCGVS, ou alternatives - ACGVS) génèrent des asymétries entre les deux systèmes vestibulaires. Ces asymétries sont intégrées au niveau cortical comme information relatif à des mouvements de tête, fondamentale pour le contrôle de la posture⁴. Avec les yeux fermés, une stimulation DCGVS induit une perception de perte d'équilibre du côté de la stimulation induisant une compensation et provoquant une chute réelle du côté opposé⁴.

Le but de cette recherche est de mesurer l'impact potentiel des champs et courants électriques induits par les CM-EBF sur le système vestibulaire. Ceci est investigué via une tâche de contrôle posturale lors de stimulations CM-EBF de l'ordre de 100 mT. Des stimulations galvaniques continues (DCGVS) furent utilisées comme contrôle positif. Nous formulons l'hypothèse selon laquelle des stimulations CM-EBF unilatérales vestibulaires, à des intensités équivalentes à celles utilisées avec la GVS, devraient moduler le système vestibulaire et impacter le contrôle postural.

Méthodes

Trente-deux volontaires ont participé à cette expérimentation (approuvée par le Comité d'Éthique de Western University, London, Ontario, Canada, #106122). Lors du test, les sujets devaient se tenir debout durant 14 conditions de 20 secondes sur une mousse de 6 cm d'épaisseur disposée sur une plateforme de force (OR6-7-1000, AMTI, USA), les yeux fermés, pieds joints, bras le long du corps. La trajectoire du centre des pressions (COP) plantaires fut analysée à partir des données enregistrées à 1 kHz via la plateforme de force. Des stimulations magnétiques (100 mT) et électriques (2 mA) de 5 secondes étaient délivrées selon cinq conditions de fréquence (20 Hz, 60 Hz, 90 Hz, 120 Hz et 160 Hz). Une stimulation DCGVS était utilisée en contrôle positif. Trois expositions sham étaient également envisagées. Toutes ces conditions étaient délivrées au niveau du vestibule droit de manière randomisée.

Résultats

Des caractéristiques de performance ont été calculées sur les données de COP. Seul le 'path length' dans le plan frontal, représentant la longueur totale de la trajectoire du COP par condition est rapporté ici. Un t-test comparant une condition sham à la GVS a confirmé un 'path length' significativement plus élevé avec la GVS en comparaison du sham ($t(31) = 5,75$; $p < 0,001$ - Figure 1). L'ANOVA pour mesures répétées 2 (Modalité de stimulation) X 6 (Fréquences) n'a mis en évidence aucun effet principal (Modalité : $F(1,31) = 0,00015$; $p = 0,99$; Fréquences : $F(5,310) = 1,80$; $p = 0,11$) ni d'interaction ($F(5,310) = 1,21$; $p = 0,30$) - Figure 2).

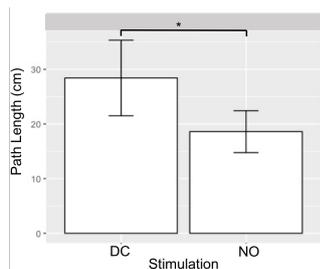


Figure 1: Effet de la DCGVS sur le path length vs sham dans le plan frontal. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard de la moyenne. L'astérisque montre la significativité de la DCGVS vis à vis du sham

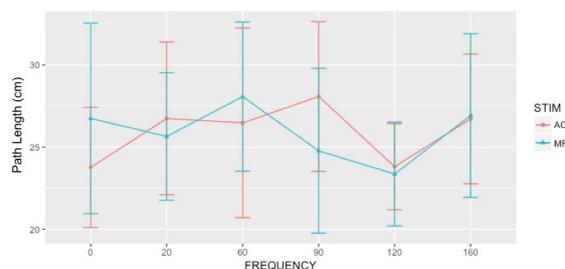


Figure 2: Effet du type de stimulation et des fréquences sur le path length dans le plan frontal. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard de la moyenne

Discussion

La DCGVS a fait perdre l'équilibre de tous les participants du côté opposé à l'oreille stimulée, augmentant significativement le 'path length' par rapport à celui obtenu avec le sham, démontrant l'efficacité de notre contrôle positif. Après le début d'une stimulation DCGVS, il faut 500 ms pour que cette perception émerge au niveau cortical⁵. Or, avec une stimulation alternative ACGVS à 20 Hz, la polarité du courant change toute les 50 ms. Le temps imparti entre les changements de polarité ne permettrait pas d'induire une perception de déséquilibre. Ceci pourrait expliquer pourquoi nos stimulations EBF seraient inefficaces pour moduler le contrôle postural.

Pourtant, les cellules ciliées du système vestibulaire sont reconnues pour être sensible à des fréquences au delà du kHz⁶. Sans moduler le contrôle postural, l'ACGVS à 75 Hz produit des réponses myogéniques cervicales alors que seules des fréquences de l'ordre de 20 Hz impactent les muscles des membres inférieurs⁷. L'absence d'effet observé ici pourrait être le fait d'un mécanisme de filtrage encore débattu dans la littérature⁷. Non assujetties au filtrage, les voies vestibulo-oculaires, vestibulo-autonome et/ou vestibulo-corticales⁷ pourraient être des variables permettant des réponses vestibulaires aux stimulations CM-EBF en s'affranchissant de ce filtrage.

Références

1. Van Nierop, L. E., Slottje, P., Kingma, H. & Kromhout, H. MRI-related static magnetic stray fields and postural body sway: A double-blind randomized crossover study. *Magn. Reson. Med.* **70**, 232–240 (2013).
2. Laakso, I., Kännälä, S. & Jokela, K. Computational dosimetry of induced electric fields during realistic movements in the vicinity of a 3 T MRI scanner. *Phys. Med. Biol.* **58**, 2625–40 (2013).
3. Ward, B. K., Roberts, D. C., Della Santina, C. C., Carey, J. P. & Zee, D. S. Vestibular stimulation by magnetic fields. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **1343**, 69–79 (2015).
4. Fitzpatrick, R. C. & Day, B. L. Probing the human vestibular system with galvanic stimulation. *J. Appl. Physiol.* **96**, 2301–16 (2004).
5. Barnett-cowan, M. Vestibular Perception is Slow : A Review. *Multisens. Res.* **26**, 387–403 (2013).
6. Curthoys, I. S. The new vestibular stimuli: sound and vibration—anatomical, physiological and clinical evidence. *Exp. Brain Res.* **235**, 957–972 (2017).
7. Forbes, P. A., Siegmund, G. P., Schouten, A. C. & Blouin, J.-S. Task, muscle and frequency dependent vestibular control of posture. *Front. Integr. Neurosci.* **8**, 94 (2014).