

Principes et applications de la stimulation électrique transcrânienne

Julien MODOLO¹

Univ Rennes, INSERM, LTSI – U1099, F-35000 Rennes, France
julien.modolo@inserm.fr

Parmi les nombreuses techniques disponibles permettant de stimuler le cerveau à des fins diagnostiques ou thérapeutiques, la stimulation électrique transcrânienne est l'une des plus prometteuses. Cette technique, qui connaît un regain d'intérêt depuis les années 1980, utilise des électrodes placées sur le scalp pour appliquer un courant de faible intensité (jusqu'à 2 mA environ), qui est soit continu (on parle alors de tDCS, *transcranial direct current stimulation*) ou alternatif (tACS, *transcranial alternating current stimulation*). Cette tutoriale se focalisera sur la tACS.

Une portion du courant appliqué par tACS atteint le cortex, alors qu'une portion significative subit un effet de « shunting » au niveau du scalp, du crâne et du liquide céphalo-rachidien. Des effets aigus et durables de la tACS ont été rapportés dans la littérature (voir [Tavakoli and Yun, 2017] pour une revue), sur différents paramètres de l'activité cérébrale mesurée par l'électroencéphalogramme, mais aussi pendant des tâches motrices (apprentissage moteur) ou cognitives (mémoire de travail, attention). De nombreuses études rapportent des bénéfices cliniques dans plusieurs pathologies, ce qui suscite un intérêt significatif pour la tACS qui est une technique peu onéreuse, non-invasive, et sécuritaire.

La réplication d'études tACS confirme que les effets physiologiques sont bien présents, ce qui a été parfois mis en doute au vu du faible niveau de champ électrique *in situ* (< 1 V/m) induit au niveau du cortex [Modolo et al., 2018]. Ce niveau de champ électrique, confirmé récemment *in situ* chez des patients à l'aide d'enregistrements simultanés intracrâniens/EEG, est insuffisant pour provoquer le déclenchement de potentiels d'action par les neurones. En revanche, il a été démontré que des champs électriques *in situ* de l'ordre du V/m peuvent moduler le timing des potentiels d'action (au niveau des neurones individuels) et la phase des oscillations neuronales (au niveau de réseaux neuronaux locaux) [Reato et al., 2010]. Au vu du potentiel significatif de la tACS en termes d'applications biomédicales, la compréhension des mécanismes physiologiques est une question cruciale.

Cette tutoriale mettra justement l'accent sur les apports de la compréhension des mécanismes et les effets de la tACS sur les normes d'exposition aux champs électriques/magnétiques (CEM) dans la gamme des « extrêmement basses fréquences » (EBF). En effet, les normes d'exposition aux CEM EBF actuellement par l'ICNIRP et l'IEEE [IEEE, 2010; International Commission on Non-Ionizing Radiation, 2010] n'intègrent pas dans leur version actuelle les résultats des études tACS pour l'évaluation des seuils d'exposition. Cette tutoriale sera l'occasion de discuter la proposition d'intégrer la littérature tACS à la revue de littérature de l'ICNIRP et de l'IEEE pour la révision des limites d'exposition dans la gamme EBF. Des exemples récents d'études ayant identifié des effets avec un potentiel diagnostique et/ou thérapeutique seront également présentés et discutés.

En conclusion, le champ de la stimulation électrique transcrânienne est en plein essor, et les mécanismes d'action sous-jacents commencent à être cernés. Outre l'aspect applicatif prometteur de cette technique dans le domaine de la santé, la littérature dans ce domaine pourrait constituer une solide contribution pour la mise à jour des normes d'exposition aux CEM EBF proposées par l'ICNIRP et l'IEEE.

Références

- IEEE. 2010. IEEE Recommended Practice for Measurements and Computations of Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields with Respect to Human Exposure to Such Fields, 0 Hz to 100 kHz. IEEE Std C95.3.1-2010.
- International Commission on Non-Ionizing Radiation P. 2010. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz). *Health Phys* 99:818-36.
- Modolo J, Denoyer Y, Wendling F, Benquet P. 2018. Physiological effects of low-magnitude electric fields on brain activity: advances from in vitro, in vivo and in silico models. *Current Opinion in Biomedical Engineering* 8:38-44.
- Reato D, Rahman A, Bikson M, Parra LC. 2010. Low-intensity electrical stimulation affects network dynamics by modulating population rate and spike timing. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* 30:15067-79.
- Tavakoli AV, Yun K. 2017. Transcranial Alternating Current Stimulation (tACS) Mechanisms and Protocols. *Front Cell Neurosci* 11:214.