

Développement du prototype MR-Eye

Hugo SCHMITT

Travail de bachelor 2025

Microtechniques - Ingénierie biomédicale

Professeure : Alexandra KAMPFER

Expert : Gianni FIORUCCI

Description

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) oculaire est une technique performante, mais sa résolution est limitée par les artefacts de mouvement de l'œil.

Ce projet vise à surmonter cet obstacle en développant un prototype, nommé MR-Eye, capable de positionner de manière stable, fiable et confortable des électrodes d'électrooculographie (EOG) sur le visage d'un patient pour enregistrer ses mouvements oculaires en environnement IRM.

L'objectif est d'enregistrer les mouvements oculaires avec un contact électrode-peau sûr et confortable pour, à terme, corriger ces artefacts. Le défi majeur est d'assurer une compatibilité totale avec l'IRM en utilisant des matériaux non ferromagnétiques et n'affectant pas la qualité des images IRM acquises.

Déroulement

Le développement du prototype s'est déroulé en trois phases distinctes :

1. Sélection technologique

Recherche bibliographique et analyse multicritère (matrice de Pugh) pour sélectionner les technologies les plus adaptées pour le masque et les électrodes, en se basant sur des critères comme la compatibilité IRM, les matériaux et le coût

2. Conception et fabrication

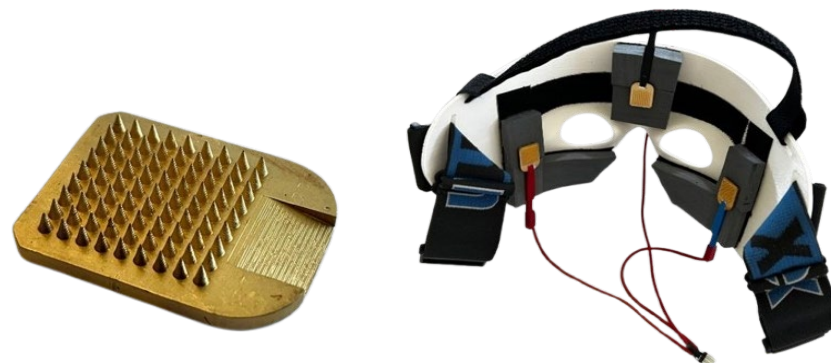
Développement et production d'un prototype fonctionnel basé sur les choix technologiques retenus : un masque en TPU imprimé en 3D et des électrodes sèches à macroaiguilles métallisées

3. Validation et caractérisation

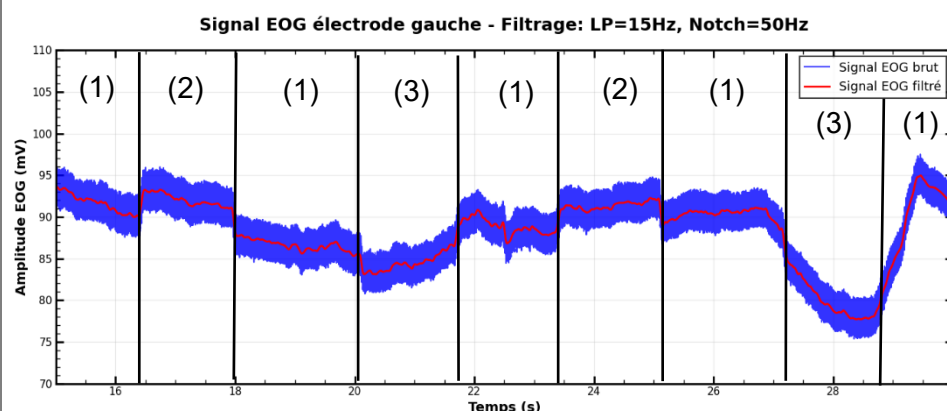
Évaluation du dispositif par des tests in vitro (dans l'IRM au CHUV) et in vivo (hors IRM) pour vérifier ses performances électrophysiologiques, son ergonomie et sa compatibilité IRM

Résultats

Le prototype est fonctionnel et ergonomique (confort : 5.7/10, utilisabilité : 72/100). Les électrodes sèches à macroaiguilles présentent une impédance de 14.1 k Ω à 10 Hz et une stabilité <15% sur 30 min. Le signal EOG acquis (166 μ V pour 20.9°) est comparable à celui des électrodes humides de référence. Cependant, le prototype génère des artefacts significatifs en IRM (jusqu'à 13.47 mm), le rendant incompatible en l'état.



Le prototype MR-Eye final (à droite), tel qu'utilisé pour la validation fonctionnelle. Il se compose d'un masque modulaire en TPU qui positionne les électrodes sèches à macroaiguilles (à gauche) sur le visage du patient. Ces électrodes, fabriquées en résine par impression 3D, sont rendues conductrices par une métallisation d'une bicouche de titane et d'or (Ti/Au) pour l'acquisition des signaux EOG.



Signal EOG enregistré et amplifié par le circuit électronique, avec une électrode sèche à macroaiguilles lors d'un suivi oculaire horizontal. Les labels indiquent la position du regard : (1) centre, (2) gauche, (3) droite, démontrant la capacité du capteur à détecter les saccades oculaires.

Discussion : conclusions et perspectives

Le prototype modulaire est ergonomique et fonctionnel pour acquérir des signaux EOG de qualité, avec une performance comparable aux électrodes de référence humides. Le point faible majeur est son incompatibilité avec l'IRM en raison des artefacts présents sur les images, au niveau des électrodes. Les perspectives se concentrent sur le remplacement du revêtement métallique par un polymère conducteur ou un matériau à base de carbone pour éliminer les artefacts et l'affinement de la géométrie des aiguilles via la microfabrication afin d'améliorer le confort et les performances électrophysiologiques.