

Nécessité d'un protocole d'apprentissage progressif pour la maîtrise d'une imagination motrice après un AVC

Sébastien Rimbert, Stéphanie Fleck, Jimmy Nex, Laurent Bougrain

► To cite this version:

Sébastien Rimbert, Stéphanie Fleck, Jimmy Nex, Laurent Bougrain. Nécessité d'un protocole d'apprentissage progressif pour la maîtrise d'une imagination motrice après un AVC. 28ième conférence francophone sur l'Interaction Homme-Machine, Oct 2016, Fribourg, Suisse. pp.10-12, 2016, Atelier sur les Nouvelles technologies pour les Aînés, défis et perspectives <<http://ihm2016.afihm.org/#/>>. <hal-01386665>

HAL Id: hal-01386665

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01386665>

Submitted on 24 Oct 2016

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Nécessité d'un protocole d'apprentissage progressif pour la maîtrise d'une imagination motrice après un AVC

Sébastien Rimbart

Inria, Neurosys team
54600, Villers-lès-Nancy,
France

sebastien.rimbart@inria.fr

Stéphanie Fleck

Université de
Lorraine, Perseus
57000 Metz, France

Jimmy Nex

Inria, Neurosys
team
54600, Villers-lès-

Nancy, France

Laurent Bougrain

LORIA, Neurosys team
54506, Vandœuvre-lès-

Nancy, France

RESUME

Après un accident vasculaire cérébral, les interfaces cerveau-ordinateur permettent à certains patients d'améliorer leur rééducation motrice et de retrouver une certaine autonomie. Le développement de ces interfaces spécialisées doit être accompagné d'une profonde remise en question concernant la condition dans laquelle se place l'utilisateur et l'apprentissage qui lui est fourni pour utiliser ce type d'interface. Cette maladie touche en grande partie la catégorie des séniors, il paraît donc primordial d'orienter la conception de ces interfaces afin que ces patients puissent s'en servir. Nous proposons de fournir des pistes de réflexion pouvant améliorer les conditions expérimentales à travers un nouveau protocole d'apprentissage progressif d'une imagination motrice.

Mots Clés

Interface Cerveau-Ordinateur; Électroencéphalographie ; Rythmes cérébraux ; Apprentissage progressif ; Retour visuel ; Accident vasculaire cérébral

ABSTRACT

After a stroke, Brain-Computer Interfaces (BCI) allows improving rehabilitation of the motor cortex to recover patient's autonomy. The conception of BCIs has to be done with an in-depth analysis concerning user's conditions during the learning of BCI. Since strokes affect mainly senior citizens, it is very important to guide the conception of BCIs to make it usable. We propose to improve the experimental conditions through a new BCI protocol including an incremental motor imagery learning.

Author Keywords

Brain-Computer Interface; Electroencephalography; Brain waves; Motor Cortex; Progressive Learning; Visual Feedback; Stroke

ACM keywords

H.5.1Multimedia Information Systems/*Artificial, augmented, and virtual realities*

INTRODUCTION

Une interface cerveau-ordinateur (plus communément nommée BCI, pour *Brain-Computer Interface*) est un système de communication qui permet à un utilisateur d'interagir avec un ordinateur ou une machine en utilisant uniquement son activité électrique cérébrale, sans passer par la moelle épinière, les nerfs et les muscles [1]. Généralement, l'activité cérébrale de l'utilisateur est enregistrée par électroencéphalographie, ce qui consiste à mesurer à l'aide d'électrodes posées à la surface du cuir

chevelu des micro-courants électriques reflétant l'activité du cerveau [2].

À l'origine, les BCIs ont été développées dans un but médical et thérapeutique, le plus souvent pour pallier un lourd handicap [3]. Les applications dans ce domaine sont nombreuses et reposent sur la détection de différents types d'activités cérébrales [4]. Depuis quelques années, l'utilisation des BCIs pour les patients ayant subis des accidents vasculaires cérébraux (AVC) est en pleine essor. Les AVC provoquent une dégénérescence des neurones du fait de la mauvaise irrigation de certaines zones du cerveau [5]. Les patients peuvent alors souffrir de désordres au niveau du cortex moteur causant des troubles fonctionnels importants dans la vie de tous les jours. Que ce soit lors de la marche ou dans la saisie d'objet avec la main dominante, l'AVC peut entraîner des perturbations sévères. Or, avec une BCI il est aujourd'hui possible de contrôler un bras robotisé, de faire bouger un fauteuil roulant, d'interagir avec une neuroprothèse ou une neuroorthèse, uniquement grâce à son activité cérébrale (e.g. [6] ; [7]).

Il apparaît aujourd'hui que l'utilisation d'une BCI basée sur l'imagination motrice (IMs) aide significativement les patients à avoir une meilleure récupération de leur fonction motrice. En effet, réaliser des IMs stimulerait le cortex moteur lésé et induirait une neuroplasticité de la zone touchée par l'AVC [8]. Bien que le développement des BCIs pour aider à la rééducation motrice après un AVC n'en soit qu'à ses débuts, ces premiers résultats sont très prometteurs et encouragent de nouvelles recherches allant dans cette voie. Cependant, bien que l'AVC touche toutes les tranches d'âges, la moyenne d'âge des patients atteints de cette maladie est de 73 ans. La catégorie des séniors est donc sévèrement touchée par cette pathologie [9]. De ce fait, il paraît important de prendre en compte l'incidence de l'âge des utilisateurs et d'orienter la conception d'interface telle que les BCI vers les séniors.

BCI ET REHABILITATION POST-ACCIDENT VASCULAIRE CÉRÉBRAL

Certaines BCIs cherchent à détecter l'amplitude de rythmes sensorimoteurs. Il s'agit de rythmes cérébraux qui sont fortement modulés au niveau du cortex moteur lorsqu'on imagine qu'on réalise un mouvement [10]. On parle alors d'IM. L'augmentation de la synchronisation (Event-Related Synchronization, ERS) ou de la désynchronisation (Event-Related Desynchronization, ERD) liée à un événement permet l'étude de l'activité induite par une IM et consiste à déterminer l'évolution

temporelle de la puissance du signal EEG dans une bande de fréquence donnée avant, pendant et après une IM [11]. L'ERD est perçue comme étant une désynchronisation de la communication neuronale, tandis que l'ERS se traduit par une synchronisation de la population neuronale (Figure 1). Ces événements sont robustes et peuvent être détectés par une interface cerveau-ordinateur afin de déclencher une commande précise.

Généralement, ce type de BCI, mobilisant l'IM, et orientée vers la rééducation post-AVC, fonctionne en plusieurs étapes (Figure 2). Tout d'abord, le patient réalise une imagination motrice kinesthésique (IMK). Contrairement à une imagination motrice visuelle (IMV) correspondant à une visualisation d'un mouvement, une tâche de type IMK active plus fortement le cortex moteur. Le signal EEG est ensuite enregistré lors de la production d'une IMK puis analysée par le système, grâce à une méthode de classification. Enfin, le patient reçoit un retour perceptif pouvant être visuel, sonore ou somesthésique, témoignant directement de sa performance. Cette dernière étape est importante car elle permet de guider le patient et de le garder motivé envers la tâche [12].

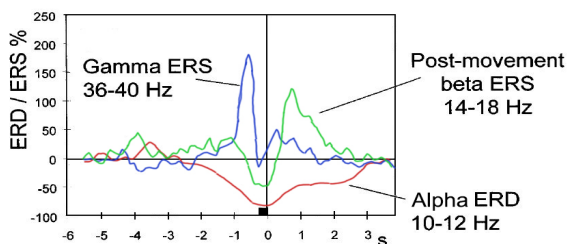


Figure 1. Comportement des différents ERD et ERS avant et après une IM dans la bande de fréquences alpha, bêta et gamma. $t = 0$ correspond à la fin de l'IM (adaptée d'après [14]).

Malheureusement, ce type d'interfaces est difficile à mettre en place et ne s'exporte pas facilement en dehors des laboratoires de recherche, la faute à une forte variabilité du signal électroencéphalographique selon la tâche motrice exécutée ou selon les sujets qui les exécutent. Deux principaux facteurs ont été identifiés pour expliquer cette difficulté. Le premier facteur dépend directement d'algorithmes de traitement du signal EEG et de classification à mettre en place pour permettre une meilleure analyse des données par la BCI [13]. Le deuxième facteur concerne plus particulièrement les utilisateurs eux-mêmes, c'est-à-dire l'impact de tous les éléments composant un protocole BCI sur leur expérience d'utilisateur pouvant engendrer des problèmes d'interaction avec la BCI. Ce facteur humain nous intéresse particulièrement aujourd'hui et repose sur le postulat qu'une bonne détection d'IM par une BCI passe par la mise en place de conditions favorables, adaptées à chaque utilisateur, permettant la génération d'une bonne IMK. Par exemple, l'apprentissage de la tâche d'IMK, l'affordance du mouvement demandé, la motivation, l'attention, la fatigue, le stress et la frustration sont autant d'éléments qui influencent les fonctions cognitives des patients et qu'il faut prendre en compte lors de la création d'une interface cerveau-ordinateur [12, 15, 16, 17]. Or,

compte-tenu de l'occurrence des AVC chez les seniors, il paraît primordial d'orienter dès maintenant la conception de ces interfaces en tenant spécifiquement compte de leurs besoins notamment en termes d'utilisabilité mais aussi en termes de soutiens pédagogiques notamment pour l'apprentissage de la tâche d'IMK elle-même.

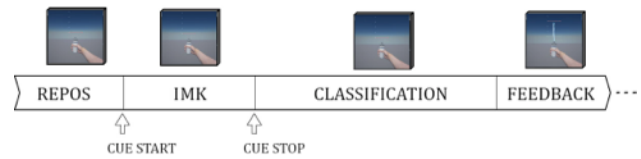


Figure 2. Représentation schématique du paradigme expérimental utilisé dans une BCI. Dans notre protocole, le sujet passe par une phase de repos, imagine qu'il exécute une fermeture de main sur une gourde et reçoit un retour visuel qui évalue sa performance. Le feedback visuel est un jet d'eau avec une hauteur modulable selon la performance de l'utilisateur.

FONDEMENT D'UN PROTOCOLE D'APPRENTISSAGE D'IMK ORIENTÉ POUR LES SENIORS

L'acceptation de cette technologie par les seniors nécessite une remise en question des protocoles habituellement utilisés dans le domaine des BCIs. Nous devons mettre les patients dans des conditions optimales et apporter des solutions sur l'interface en elle-même mais aussi sur les conditions d'apprentissage de la tâche d'IMK. Les travaux menés actuellement dans le cadre de cette étude visent donc l'amélioration du design interactionnel et pédagogique. Nous avons donc développé une interface visant l'apprentissage d'une IMK qui intègre :

- i) L'influence de l'affordance et de la connaissance implicite de l'usage sur la stimulation des zones motrices pour améliorer la qualité du signal produit [18]. Ainsi, l'utilisateur est invité à imaginer presser sur une bouteille (type ketchup) avec sa main droite. Cette tâche simple, évoquée par un objet connu de tous, est plus facile à construire mentalement et donc peut améliorer l'IMK du mouvement recherché.
- ii) L'importance de fournir un retour pour (auto-)évaluer sa réussite dans la tâche de BCI, éléments déterminant au maintien de la motivation de l'utilisateur ici apprenant (e.g. [19]). Nous avons donc développé une interface visuelle présentant un feedback visuel 3D.
- iii) Enfin les conditions d'expériences ont été pensées pour être les moins contraignantes possibles avec une installation ergonomique et relaxante.

Nous avons également cherché à améliorer l'apprentissage de la tâche d'IMK elle-même. Habituellement, dans les protocoles de BCI, la phase d'apprentissage se résume à une consigne. Et pourtant, l'IMK est une tâche mentale utilisant des capacités cognitives complexes [20]. En effet, pour réaliser une bonne IMK, il est important de ressentir un maximum les sensations motrices que l'on aurait normalement ressenties si le mouvement avait été exécuté. La contraction des muscles, la différence de température liée à l'exécution du mouvement, la force, la tension nerveuse précèdent chaque mouvement sont autant de ressentis nécessaires à la bonne réalisation d'une IMK. Et comme toute tâche complexe, l'apprentissage nécessaire à sa bonne exécution doit être mûrement réfléchi. Pour faire en sorte

que chaque patient puisse apprendre efficacement la tâche, nous avons créé un protocole d'apprentissage axé sur la progressivité et comportant trois étapes (Figure 3). La première étape, dite de « Mindfulness », vise à faire prendre conscience au patient de toutes les sensations présentes lors de l'exécution réelle de la tâche attendue. La deuxième étape demande au patient de réduire progressivement son activité musculaire afin d'obtenir progressivement une IMK. Cette étape permet notamment au patient de se concentrer sur la sensation d'activation de la voie périphérique précédant chaque mouvement. Enfin, dans la troisième étape, le patient réalise 5 IMK consécutives puis peut visualiser l'efficacité de son action d'IMK de façon différée. Ce délai d'information est en décalée afin que le patient ne soit pas perturbé durant sa tâche mentale qui demande une forte concentration par une tâche supplémentaire d'attention visuelle.

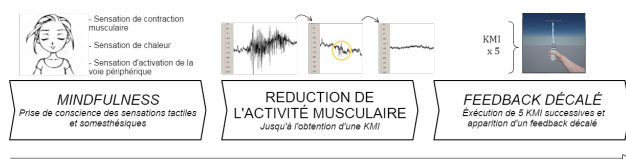


Figure 3. Etapes d'un apprentissage d'IM axé sur la progressivité.
Le sujet prend conscience des sensations présentes lors du mouvement réel, puis apprend à réduire progressivement son activité musculaire jusqu'à exécuter une IMK. Enfin, il teste son apprentissage avec un feedback visuel décalé.

CONCLUSION

La conception de nouvelles BCI permettant la rééducation de patients après un AVC doit s'accompagner d'une réflexion concernant la manière dont la tâche d'IMK peut être apprise et la manière de placer une personne sénior dans de bonnes conditions pour qu'il puisse se servir de cette BCI comme nous l'avons suggéré à travers un apprentissage progressif.

BIBLIOGRAPHIE

1. R. Wolpaw and E. W. Wolpaw. BCI: Principles and Practice. Oxford University Press, 2012.
2. Niedermeyer E., Silva F. L. da. (2005). Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields (5th éd.). Lippincott Williams & Wilkins, ISBN 0781751268. Morton L. Heilig. 1962. Sensorama Simulator, U.S. Patent 3,050,870, Filed January 10, 1961, 1962.
3. Rebsamen B., Guan C., Zhang H., Wang C., Teo C. et al. (2010). A brain controlled wheelchair to navigate in familiar environments. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 18, no 6, p. 590-598
4. Abdulkader, S. N., Atia, A., and Mostafa, M.-S. M. (2015). Brain computer interfacing: Applications and challenges. Egyptian Informatics Journal, 16(2): 213-230. <http://doi.acm.org/10.1145/503376.503378>
5. Cincotti, F., Pichiorri F., Arico P., Aloise F., Leotta F., de Vico Fallani F., Millan Jdel R., Molinari M., Mattia D. EEG-based Brain-Computer Interface to support post-stroke motor rehabilitation of the upper limb. ConfProc IEEE Eng Med Biol Soc. 2012; 2012:4112-5. Doi:10.1109/EMBC.2012.6346871.
6. Vanacker G., Millán J., Lew E., Ferrez P., Moles F. G., Philips J. et al. (2007). Context-based filtering for assisted brain-actuated wheelchair driving. Computational Intelligence and Neuroscience, vol. 2007, p. Article ID 25130, 12 pages.
7. Pfurtscheller, G., Guger C., Muller G., Krausz G., Neuper C. (2010) Brain oscillations control hand orthosis in a tetraplegic. NeurosciLett. 2000 Oct 13; 292(3):211-4.
8. K. Ang and C. Guan. Brain-computer interface for neurorehabilitation of upper limb after stroke, Proceedings of the IEEE, 103:944-53, 2015.
9. <http://grpa.ca/avc-statistiques-et-chiffres/>
10. Pfurtscheller, G. and Lopes da Silva, F. H. (1999). Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. ClinNeurophysiol, 110(11):1842-57.
11. Reys, N. (2008). Rôle du cortex moteur dans la modulation des afférences somesthésiques. Modèle de la stimulation électrique du cortex moteur. thèse, Université du droit et de la santé de Lille II.
12. Lotte, F. and Jeunet, C. (2015). Towards improved BCI based on human learning principles. In 2015 3rd International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI), pages 1-4.
13. Allison and C. Neuper. Could Anyone Use a BCI? Springer London, 2010.
14. Pfurtscheller, G. and Neuper, C. (1997). Motor imagery activates primary sensorimotor area in humans. Neuroscience Letter, (239):65-8.
15. Nijboer, F., Birbaumer, N., and Kübler, A. (2010). The Influence of Psychological State and Motivation on Brain-Computer Interface Performance in Patients with Amyotrophic Lateral Sclerosis – a Longitudinal Study. Frontiers in Neuroscience, 4.
16. Åkerstedt, T., Knutsson, A., Westerholm, P., Theorell, T., Alfredsson, L., and Kecklund, G. (2004). Mental fatigue, work and sleep. Journal of Psychosomatic Research, 57(5) :427-433.
17. Keller (2008). An integrative theory of motivation, volition, and performance. Tech., Inst., Cognition and Learning, Vol. 6, pp. 79-104.
18. Borghi, A. (2005). "Object Concepts and Action" in *Grounding Cognition: The Role of Perception and Action in Memory, Language, and Thinking*, eds. D. Pecher & R.A. Zwaan. (New York: Cambridge University Press), 8-34.
19. Viau, R. (1996). La motivation, condition essentielle de réussite. *Sciences humaines*. 12, 44-46.
20. Guillot, A. and Collet, C. (2010). The Neurophysiological Foundations of Mental and Motor Imagery. OUP Oxford. Google-Books-ID: 69WESyZJNz0C.