

La Réponse Hémodynamique Cérébral Pendant des Taches Mentales

[Hemodynamic Cerebral Response to Mental Tasks]

Chaima Hihoud¹⁻⁴, Beatriz Rey¹⁻², Noura Akin⁴, Vera Pakhutik³, José Tembl³, and Mariano Alcañiz¹⁻²

¹IBH/LabHuman, Universitat Politècnica de València, Camino Vera s/n, 46022, Valencia, Spain

²Ciber, Fisiopatología Obesidad y Nutrición, CB06/03 Instituto de Salud Carlos III, Spain

³Hospital University La Fe, Valencia, Spain

⁴Université Abdelmalek Essaadi, Faculté des Sciences, Tetouan, Morocco

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: For generations, man has kept studying and thinking about the communication capacity that could be established between machines and thought. This is an old dream, a fantasy that was not supposed to happen some day: pushing the limits of the human condition. Nowadays, advances in science make this dream almost come true. We always wanted to have any kind of super power, but now it gets really believable or possible. We are the first species to take control of our own evolution, not in the future but right now, thanks to artificial intelligence. Artificial intelligence is a new technology that allows an old fantasy to come true: improving the daily human and build machines that haunt the imagination of science fiction. Technologies of cognitive neuroscience have recently increased considerably and helped to advance the understanding of some mechanisms of the brain and human thought. This advance was made possible thanks to developments in the technology field and the computer science progress.

KEYWORDS: Brain Activity, Blood Flow Velocity, Transcranial Doppler, Cerebral Artery, Virtual Reality

RESUME: Depuis des générations, l'homme n'a cessé d'étudier et d'imaginer la capacité de communication qui pourrait s'établir entre les machines et la pensée. Ces études ont nourri l'imagination de l'humanité sous la forme antique d'anciens mythes et plus moderne d'histoires de science fictions. C'est un vieux rêve, un fantasme qui n'était pas censé se réaliser un jour : repousser les limites de la condition humaine. Aujourd'hui le progrès de la science nous donne les moyens de tutoyer ce rêve. Nous avons toujours voulu avoir toute sorte de super pouvoir, mais aujourd'hui cela devient vraiment plausible voire possible. Nous sommes la première espèce à prendre le contrôle de notre propre évolution, non dans un futur lointain mais là maintenant grâce à l'intelligence artificielle. L'intelligence artificielle est une nouvelle technologie qui permet de réaliser un vieux fantasme : améliorer la vie quotidienne de l'homme et construire des machines qui hantent l'imaginaire de la science fiction. Les technologies de la neuroscience cognitive ont récemment progressé de manière spectaculaire et ont permis d'avancer sur la compréhension de certains mécanismes de fonctionnement du cerveau et de la pensée humaine. Cette avancée a été réalisée grâce aux développements dans le domaine de technologie de pointe et au progrès en informatique.

MOTS-CLEFS: activités cérébrales, vitesse du flux sanguin, Doppler Transcranial, artère cérébrale, réalité virtuelle.

1 INTRODUCTION

Que se passe-t-il dans votre cerveau en ce moment-même ? Voilà une question que tout le monde s'est posé au moins une fois et qui ne cesse de fasciner les scientifiques. Centre de contrôle mais aussi des pensées, le cerveau est un organe crucial dont on tente de percer les secrets depuis des décennies. Aujourd'hui, des scientifiques ont réussi à franchir un pas important vers la compréhension de l'activité de notre cerveau.

Dans le domaine de contrôle et de surveillance des activités cérébrales dans certain environnement, la technique de Doppler TCD est largement utilisée par les chercheurs et les laboratoires des neurosciences parce qu'elle est la plus adéquate pour la réalisation des tests pratiques [1,2]. En se concentrant sur TCD, cette technique est basée sur l'effet Doppler qui fournit des mesures de haute résolution temporelle de la vitesse du flux sanguin local et en direction de la partie proximale des grosses artères intracrâniennes [2,3]. A l'aide d'une sonde placée sur le crâne du sujet, un faisceau d'ultrasons est émis, et ensuite un signal est reçu par la même sonde après avoir été réfléchi par les cellules sanguines en mouvement à travers les vaisseaux du cerveau. Le décalage de fréquence entre le émis et les signaux reçus permet le calcul de la vitesse des cellules sanguines. La sonde est placée de préférence sur la fenêtre transtemporel [3], un lieu qui permet l'enregistrement des principales artères cérébrales, permettant l'enregistrement de renseignements de l'artère cérébrale moyenne (MCA), l'artère cérébrale antérieure (ACA) et l'artère cérébrale postérieure (PCA), dans l'hémisphère gauche et droit.

Ces études ont été principalement basées sur l'analyse de la vitesse maximale et la vitesse moyenne des signaux de flux du sang (BFV : blood flow velocity). Des recherches antérieures ont montré que la BFV moyenne obtenus à partir de données TCD augmente lorsque les utilisateurs font une activité cognitive par rapport aux périodes de référence [4,5]. Comme l'immersion et la navigation virtuelles étant une expérience complexe [6,7], des différentes expériences sont proposées pour surveiller l'activité du cerveau pendant l'exécution de tâches simples, comme les tâches de perception visuelle et des tâches motrices. Différents paramètres des signaux seront obtenus selon le type de l'analyse utilisée, et les contributions de ces paramètres pour l'analyse de l'expérience de réalité virtuelle sera discuté.

Avec ce travail, nous confirmons qu'il est possible d'analyser les données capturées avec TCD des sujets réagissant à des stimuli visuels ou motrice, l'obtention des paramètres objectifs de la méthodologie proposée pour estimer les variations entre le repos et l'activation.

Notre objectif principal était d'obtenir une meilleure compréhension des processus qui se produisent en réponse à ces stimuli. Compte tenu de l'importance des régions cérébrales occipitales (postérieures) dans la perception visuelle, le signal de l'artère cérébrale postérieure bilatérale (PCA) a été surveillé. Et aussi l'étude du signal l'artère cérébrale moyenne (MCA) durant la perception motrice (mouvements de la main pour contrôler la manette), comme dans les études précédentes.

L'une des principales contributions de la présente étude est la proposition d'une méthodologie pour l'analyse temporelle des signaux BFV. Nous avons appliqué différentes analyses afin de déterminer les périodes qui reflètent des différences significatives entre les valeurs BFV pour différentes périodes de repos et l'activation de calcul des paramètres d'intérêt dans la moyenne globale des différentes périodes (de repos et d'activation).

Ce genre d'études peut être utile pour de futures études utilisant TCD, qui aspirent à une meilleure compréhension de l'activité cérébrale dans les milieux V.R. Chaque facteur contribuant à générer une expérience complète de V.R. doit être étudiée séparément pour analyser son influence sur les variations BFV, afin de mieux comprendre l'activité du cerveau dans des environnements V.R. D'autres études seront nécessaires pour analyser moteurs stimuli avec une plus grande complexité et d'autres facteurs individuels qui contribuent à l'expérience V.R.

2 MÉTHODE

Comme on a déjà mentionné, ce travail est basé sur deux études expérimentales pour analyser la repense cérébrale. L'étude a comme référence les expériences suivantes :

2.1 LA PERCEPTION VISUELLE

2.1.1 PARTICIPANTS

Vingt-trois volontaires droitiers (13 hommes, 10 femmes) d'âges allant de 19 jusqu'à 66 ans (âge moyen: 33,52) ont participé à l'étude. Les essais ont été réalisés dans une chambre calme et sombre. Dans la phase préparatoire, les sujets ont reçu des instructions écrites pour l'expérience basée sur l'Inventaire de Dominance d'Édimbourg.

2.1.2 MATERIELS

Nous avons utilisé l'unité Doppler-Box; (DWL Compumedics Germany GmbH, Singer, Allemagne), pour obtenir une mesure bilatérale continue du signal Doppler. Cet appareil a permis le calcul en ligne de la BFV pendant l'expérience. Ce dispositif a été connecté à un ordinateur dans lequel un logiciel DWL Doppler (logiciel QL) a été utilisé pour recevoir les données à partir de la boîte de Doppler.



Figure 1: Le Doppler Box utilisé pour enregistrer le signal de la vitesse d'écoulement de sang.

La pression artérielle a été mesurée avant et après les tâches visuelles à l'aide d'un moniteur de pression artérielle de poignet (R3 Intellisense; Omron Healthcare Co., Ltd, Kyoto, Japon).

Un projecteur Sony VPL-CX5 (Sony, Minato, Tokyo, Japon) a été connecté à un PC pour fournir la stimulation visuelle.

2.1.3 PROCÉDURE

La stimulation visuelle a été fournie par la présentation développée dans Microsoft Office PowerPoint qui a été projetée sur l'écran. Il affiche des diapositifs vides en noir et blanc alternativement, chacun d'entre eux apparaissant pour une durée fixe de 20 s.

Les sujets ont été exposés à de courtes périodes d'obscurité et de l'éclairage (20 de la longueur de chaque période). La présentation entière a duré 6 minutes et 40 s. Il a montré des diapositifs vides en noir et blanc alternativement, chacun d'entre eux apparaissant pour une durée fixe de 20 s. Cette longueur a été sélectionnée conformément à la méthodologie appliquée dans d'autres études précédentes qui ont également utilisé en alternance des périodes de repos et d'activation de 20s [1,8]. Cette durée est suffisamment longue pour garantir que le temps maximal après le début de la tâche mentale se trouve à l'intérieur de la période d'analyse. Lors de la projection des diapositifs noires, la salle devient complètement sombre (périodes de repos). Lorsque les diapositifs blancs ont été projetés, l'écran en face de l'objet était éclairé (périodes d'activation). L'apparition de chaque diapositive a été marquée avec un bip sonore qui indique au sujet que le diapositif est changé. L'expérience entière rassemblait dix répétitions de cycles de repos et d'activation. L'utilisateur a fermé et ouvert les yeux alternativement, coïncidant avec les périodes de repos et d'activation.

Enfin, lorsque la phase de stimulation visuelle a été réalisée, la pression artérielle du sujet a été mesurée à nouveau, juste pour confirmer que l'expérience ne change pas la pression artérielle du sujet de manière significative.

Les données de BFV obtenues dans les deux artères PCA droit et gauche atteignent leur maximum, ces signaux correspondent à la vitesse instantanée de cellules sanguines dans les vaisseaux. Pendant les périodes d'activation et de repos les données BFV dans PCA-L et PCA-R ont été acquises avec une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz. Le BFV de certains sujets n'a pas été inclus dans l'analyse, car un signal assez clair de la qualité n'a pas pu être observé pour les deux PCA.

Pour chaque participant et chaque échantillon temporel du signal BFV, un test t a été appliqué pour évaluer s'il y avait des différences significatives entre les valeurs BFV correspondant aux différentes périodes de repos et d'activation. La moyenne

globale des différentes périodes de repos et d'activation a été calculée. L'analyse est limitée aux périodes où des différences significatives entre le repos et l'activation ont été observées, améliorant ainsi la précision temporelle de la méthode. Les valeurs de la vitesse moyenne d'écoulement de sang ont été calculées à partir de la moyenne globale de BFV lors de l'activation et de repos. Ces valeurs peuvent être utilisées pour analyser les différences globales entre les périodes de repos (vs activation), comme dans les études précédentes [8], [9].

2.2 LA PERCEPTION MOTRICE

2.2.1 PARTICIPANTS

Pour atteindre notre objectif, nous avons invité 25 volontaires pour participer à l'expérience, les participants de différents âges (à partir de 22 à 47 ans - âge moyen de 34,5 ans) et différents sexes (10 hommes et 15 femmes), parmi eux seuls deux hommes étaient gauchers. Les tests ont été effectués dans une chambre calme et sombre. Dans la phase préparatoire, les sujets ont reçu des instructions écrites pour l'expérience. Lorsqu'ils ont terminé, ils se sont assis sur une chaise en face d'un écran (2,40 x 1,80) m². Deux sondes fixées symétriquement et maintenues en place pour superviser les Artères cérébrales moyennes gauche et droite (MCA-L et MCA-R) pendant l'expérience à travers la fenêtre temporelle.

2.2.2 MATÉRIELS

Une boîte de Doppler pulsée d'une onde de 2 MHz (DWL Compumedics Germany GmbH, Singer, Allemagne), a été utilisée pour obtenir une mesure bilatérale continue du signal Doppler. La technologie numérique intégrée offre une meilleure qualité de signal et un accès total aux données brutes pour une analyse externe complète du signal qui est exporté en format ASCII. Le logiciel fournit une excellente représentation graphique de la circulation du sang dans les vaisseaux situés dans le faisceau d'ultrasons. L'affichage en mode M Doppler permet de déplacer à travers toute la gamme de profondeur et ainsi sélectionner facilement les meilleurs signaux Doppler et les données cliniques les plus pertinentes.



Figure 2: Doppler pulsé utilisé pour enregistrer le signal de la vitesse d'écoulement de sang.

La pression artérielle a été mesurée avant et après les tâches visuelles à l'aide d'un moniteur de pression artérielle de poignet (R3 Intellisense; Omron Healthcare Co., Ltd, Kyoto, Japon).

Un projecteur Sony VPL-CX5 (Sony, Minato, Tokyo, Japon) a été connecté à un PC pour fournir la stimulation visuelle.

Et un joystick (Logitech Freedom 2.4 Cordless, Tokyo, Japon) a été utilisé pour réaliser les mouvements demandés à travers l'écran.

2.2.3 PROCÉDURE

Une fois que les sondes avaient été ajustées, le sujet a été demandé de se détendre pour mesurer sa tension artérielle. Ensuite, l'étape de stimulation motrice commence. Les instructions ont été fournies par une présentation Microsoft PowerPoint projetée sur un écran large; il affiche des diapositifs avec textes décrivant le type de mouvements de la main pour chaque instant, chaque apparition dure une période fixe de 20 s. La présentation complète dure 6min 40s.

Au début, le sujet met ses deux mains sur la table d'une façon confortable sans aucun mouvement. Une fois le diapositif apparaît sur l'écran en lui donnant l'instruction, le participant détient les manettes de jeu et commence à le déplacer à l'aide de la main droite (période d'activation), juste au moment où la période de 20s se termine, il se repose pour une durée de 20 s (période de repos) jusqu'à que diapositif suivant soit affiché avec l'instruction de déplacer la manette de commande avec la main gauche pendant la même période de 20s, et ainsi de suite jusqu'à la fin de la présentation. L'apparition de chaque diapositif a été marquée par un bip acoustique qui indique au sujet que diapositif a changé. L'expérience est consistée de 10 répétitions de cycles repos-activation. Les sujets bougent et détendent leurs mains alternativement en coïncidant avec les périodes de repos et d'activation.

Juste après que l'expérience est terminée, la tension artérielle du sujet a été mesurée à nouveau, juste pour confirmer que l'expérience ne change pas la pression artérielle du sujet de manière significative.

Les signaux maximums BFV dans MCA-L et MCA-R, qui correspondent à la vitesse instantanée de cellules du sang dans les vaisseaux, ont été enregistrées. Les données BFV dans les vaisseaux pendant les périodes d'activation et de repos de ont été acquis avec une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz. Les données BFV de certains sujets ne sont pas incluses dans l'analyse, car un signal assez clair de la qualité n'a pas pu être observé pour les deux MCA. Les données maximales BFV étaient filtrés passe-bas pour les raffiner et les normaliser par rapport à leur valeur moyenne avant l'analyse qui suit.

3 RÉSULTATS

Un résumé des résultats dans les différents vaisseaux et dans les différentes conditions est illustré dans les figures suivantes. Les figures 3 et 4 montrent la moyenne et l'écart type de la vitesse d'écoulement de sang au cours des périodes de l'activation et de repos dans les différents les conditions et différents vaisseaux.

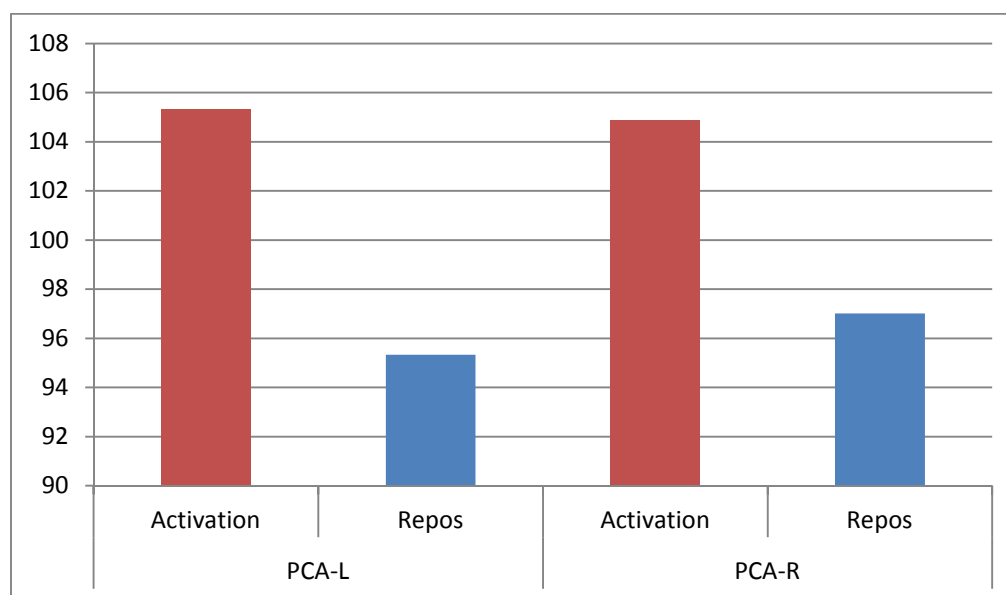


Figure 3 : Moyenne de la vitesse moyenne d'écoulement du sang lors de l'activation et de périodes de repos.

PCA-L= l'artère cérébrale postérieure bilatéral gauche; PCA-R= l'artère cérébrale postérieure bilatérale droit.
PCA-L et PCA-R les signaux de BFV des périodes de repos et d'activation;

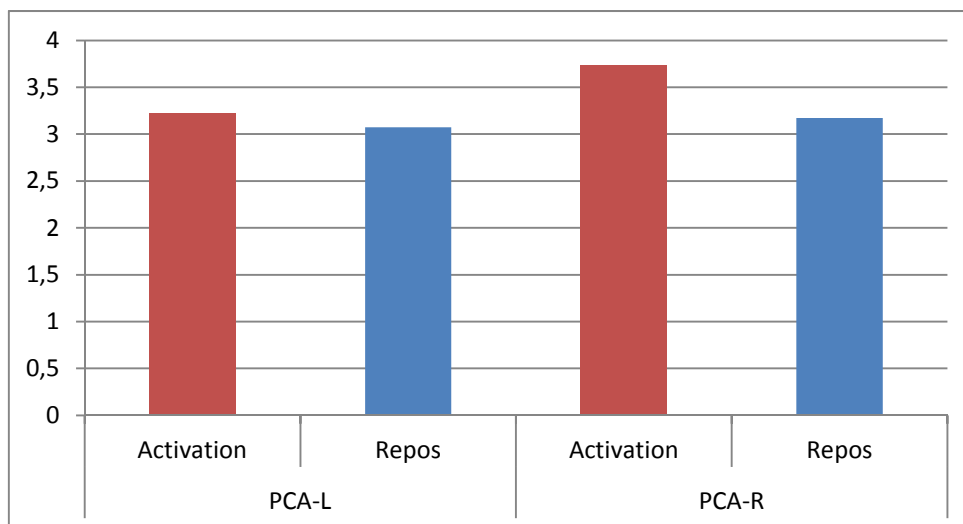


Figure 4 : l'écart type de la vitesse moyenne d'écoulement du sang lors de l'activation et de périodes de repos.

PCA-L= l'artère cérébrale postérieure bilatéral gauche; PCA-R= l'artère cérébrale postérieure bilatérale droit.
PCA-L et PCA-R les signaux de BFV des périodes de repos et d'activation;

Nous représentons dans la figure 5, la moyenne calculée pour la moyenne normalisée BFV pendant les deux périodes d'activation et de repos dans chaque vessel des artères cérébrales moyennes gauche et droite dans les différentes tâches lorsque les sujets utilisent la main droite et gauche. La figure 6 montre l'écart type de ce parametre pour la moyenne normalisée BFV pendant les deux périodes d'activation et de repos dans chaque vessel des artères cérébrales moyennes gauche et droite dans les différentes tâches lorsque les sujets utilisent la main droite et gauche.

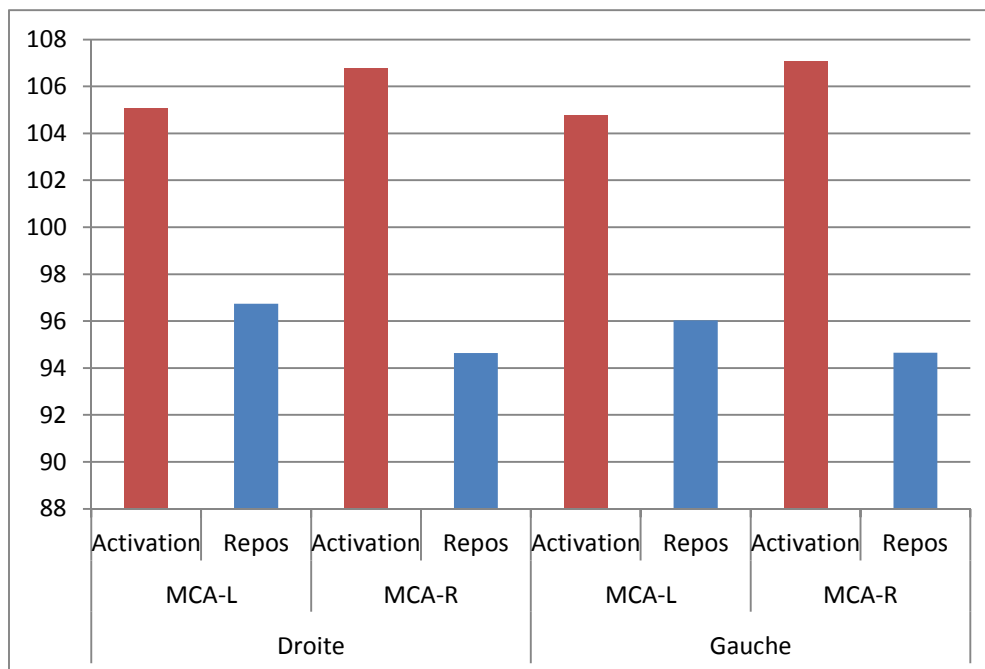


Figure 5 : Moyenne de la vitesse d'écoulement de sang moyenne normalisée pendant les périodes d'activation et de repos dans chaque navire dans les artères cérébrales moyennes droit et gauche dans les différentes tâches lorsque les participants utilisent la main gauche.

MCA-L= l'artère cérébrale moyenne bilatéral gauche; MCA-R= l'artère cérébrale moyenne bilatérale droit.
MCA-L et MCA-R les signaux de BFV des périodes de repos et d'activation;

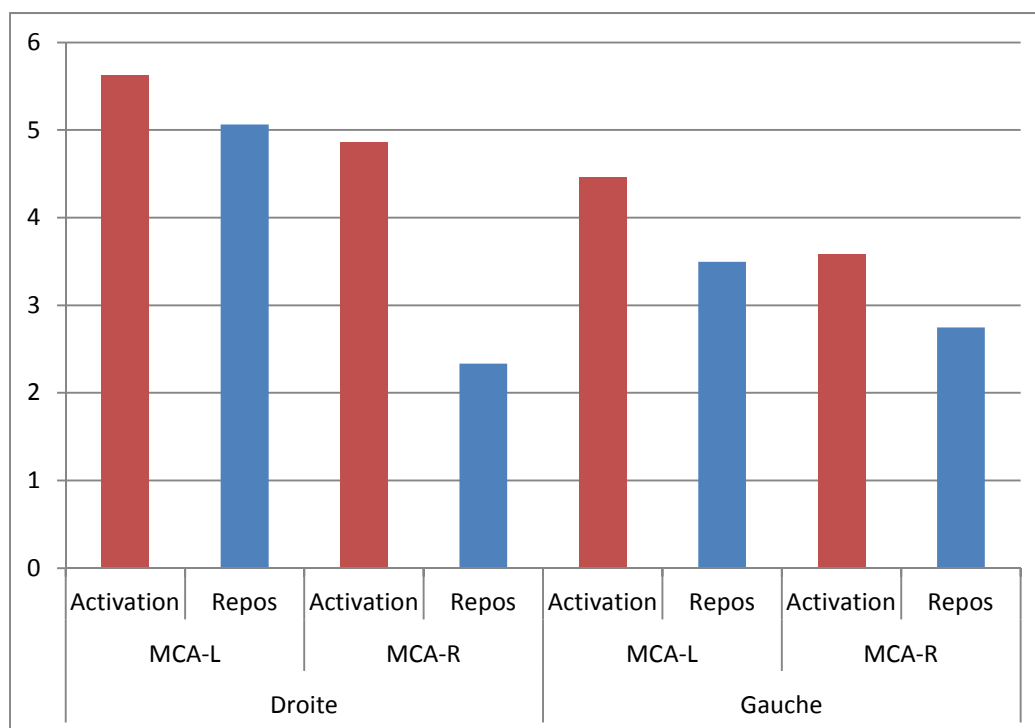


Figure 6 : l'écart type la vitesse d'écoulement de sang moyenne normalisée pendant les périodes d'activation et de repos dans chaque navire dans les artères cérébrales moyennes droit et gauche dans les différentes tâches lorsque les participants utilisent la main gauche.

MCA-L= l'artère cérébrale moyenne bilatéral gauche; MCA-R= l'artère cérébrale moyenne bilatérale droit.
MCA-L et MCA-R les signaux de BFV des périodes de repos et d'activation;

4 DISCUSSION

L'étude présentée dans ce travail montre que l'exécution des tâches mentales (visuelles ou motrices) provoque une augmentation de la BFV maximale en quelques secondes après le début de la stimulation de signal BFV.

Avec ce travail, nous confirmons qu'il est possible d'analyser les données BFV capturées avec TCD des sujets réagissant à des stimuli visuels, obtenir les paramètres objectifs de la méthodologie proposée pour estimer les variations entre le repos et l'activation.

Les résultats de ce travail montrent comment un type spécifique de stimuli peut contribuer à l'interprétation de l'évolution de la BFV pendant les expériences dans VE. En présence de stimuli visuels. L'activité dans le lobe occipital du cerveau, provoquée par le stimulus visuel est à l'origine de l'augmentation du BFV que l'on observe dans les PCA dans la présente étude. Les paramètres obtenus ont montré des variations importantes entre la période de repos et activation de MCA -L et MCA - R Ces résultats sont en cohérence avec les études antérieures, [2, 3, 10, 11, 12 et 13].

La répétition de la même expérience à plusieurs reprises (10 fois exactement) et le fait d'appliquer un test t fournit une exactitude optimale lorsque l'on cherche à localiser exactement l'intervalle de temps où il existe des différences significatives dans la BFV entre le repos et l'activation (lors de l'exécution d'une tâche donnée). L'exactitude fournie par le procédé a un impact important lors de l'étude de l'activation du cerveau.

La TCD a été choisie pour être utilisée dans notre étude, non seulement en raison de l'absence d'envahissement, mais aussi en raison de sa capacité à fournir des informations instantanées sur les changements de débit cérébral et la capacité minimiser les influences que les facteurs environnementaux peuvent provoquer. La possibilité d'enregistrer en même temps les deux vaisseaux de gauche et droit de l'hémisphère du cerveau réduit les effets de l'enregistrement de chaque vessel séparément. De plus, il nous permet d'analyser l'évolution temporelle de l'activation cérébrale dans chaque hémisphère en fonction de ses variations de vitesse d'écoulement de sang, qui peuvent être appliquées dans les études de latéralité.

Ce genre d'études peut être utile pour de futures études utilisant TCD aspirant à une meilleure compréhension de l'activité cérébrale dans les réglages VR. Chaque facteur contribuant à générer une expérience complète de VR doit être

étudiée séparément pour analyser son influence sur les variations BFV, afin de mieux comprendre l'activité du cerveau dans des environnements VR. D'autres études seront nécessaires pour analyser les stimuli visuels avec une plus grande complexité et d'autres facteurs individuels qui contribuent à l'expérience VR.

REMERCIEMENTS

Cette section non numérotée est utilisée pour identifier les personnes qui ont aidé les auteurs dans l'accomplissement du travail présenté et de reconnaître les sources de financement.

REFERENCES

- [1]. R. Aaslid, T.M. Markwalder, H. Nornes. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 1982;57:769–774.
- [2]. N. Stroobant, G. Vingerhoets. Transcranial Doppler ultrasonography monitoring of cerebral hemodynamics during performance of cognitive tasks: A review. *Neuropsychol Rev* 2000;10:213–231.
- [3]. G. Orlandi and L. Murri, Transcranial Doppler assessment of cerebral flow velocity at rest and during voluntary movements in young and elderly healthy subjects, *International Journal of Neuroscience*, vol. 84, no. 1, pp. 45–53, 1996.
- [4]. S. Duschek, R. Schandry. Functional transcranial Doppler sonography as a tool in psychophysiological research. *Psychophysiology* 2003;40: 436–454.
- [5]. R.E. Kelley, J.Y. Chang, N.J. Scheinman, B.E. Levin, R.C. Duncan, S.C. Lee. Transcranial Doppler assessment of cerebral flow velocity during cognitive tasks. *Stroke* 1992;23:9–14.
- [6]. Mariano Alcañiz, Beatriz Rey, José Tembl, Vera Parkhutik, “A Neuroscience Approach to Virtual Reality Experience Using Transcranial Doppler Monitoring”. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 18(2): 97-111, 2009.
- [7]. Beatriz Rey, Vera Parkhutik, Mariano Alcañiz, José Tembl, Valery Naranjo. “Transcranial Doppler: A Tool for Augmented Cognition in Virtual Environments”. *Computer Science*, page 427-436. Springer, 2009.
- [8]. B. Rey, V. Naranjo, V. Parkhutik, J. Tembl, M. Alcañiz. A New Visually Evoked Cerebral Blood Flow Response Analysis Using a Low Frequency Estimation. *Ultrasound in Medicine and Biology*, 36(2010), 383-391.
- [9]. S. Knecht, B. Drager, M. Deppe, L. Bobe, H. Lohmann, A. Floel, E.B. Ringelstein, H. Henningsen. Handedness and hemispheric language dominance in healthy humans. *Brain* 2000;123:2512.
- [10]. M. Sitzer, U. Knorr, and R. J. Seitz, “Cerebral hemodynamics during sensorimotor activation in humans,” *Journal of Applied Physiology*, vol. 77, no. 6, pp. 2804–2811, 1994.
- [11]. J. Klingelhöfer, G. Matzander, D. Sander, J. Schwarze, H. Boecker, and C. Bischoff, “Assessment of functional hemispheric asymmetry by bilateral simultaneous cerebral blood flow velocity monitoring,” *Journal of Cerebral Blood Flow & Metabolism*, vol. 17, no. 5, pp. 577–585, 1997.
- [12]. M. Matteis, C. Caltagirone, E. Troisi, F. Vernieri, B. C. Monaldo, and M. Silvestrini, “Changes in cerebral blood flow induced by passive and active elbow and hand movements,” *Journal of Neurology*, vol. 248, no. 2, pp. 104–108, 2001.
- [13]. M. Silvestrini, C. Caltagirone, L. M. Cupini, M. Matteis, E. Troisi, and G. Bernardi, “Activation of healthy hemisphere in poststroke recovery. A transcranial Doppler study,” *Stroke*, vol. 24, no. 11, pp. 1673–1677, 1993.