

Neuroenhancement in Military Personnel: Conceptual and Methodological Promises and Challenges

(STO-TR-HFM-311)

Executive Summary

Military personnel are subjected to prolonged operations in harsh and undesirable conditions characterized by severe environmental exposures, resource scarcity, and physical and mental encumbrance. Prolonged military operations under these conditions can degrade the already limited perceptual, cognitive, and emotional resources necessary to sustain performance on mission-related tasks. The complex multi-domain operations of the future battlespace are expected to further increase demands at even the lowest levels of the military echelon. These demands will be characterized by increasingly prolonged operations of small units in austere environments with limited resupply and degraded technological capabilities. It is therefore critical to identify new training and technological approaches to enable sustained, optimized, and/or enhanced performance of military personnel. Research in the international defence science community, academia, and industry has developed several promising neuroscientific strategies for pursuing this goal, including neuromodulatory and neurofeedback techniques. This final report summarizes technical activities of the NATO Human Factors and Medicine panel activity entitled Cognitive Neuroenhancement: Techniques and Technology (HFM-311), including a review of the state of the art in cognitive neuroenhancement research and development emerging from five participating nations: Canada, Germany, the Netherlands, the United Kingdom, and the United States of America. Six neuromodulation techniques are considered, including Transcranial Magnetic Stimulation (TMS), transcranial Focused Ultrasound Stimulation (tFUS), transcranial Electrical Stimulation (tES), transcutaneous Peripheral Nerve Stimulation (tPNS), PhotoBioModulation (PBM), and Cranial Electrotherapy Stimulation (CES). Three neurofeedback techniques are considered, including the use of ElectroEncephaloGraphy (EEG), functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI), and functional Near-InfraRed Spectroscopy (fNIRS) for monitoring brain states, with feedback loops enabled through machine learning and artificial intelligence. Representatives from each participating nation summarize basic and applied research leveraging one or more of these neuromodulation and neurofeedback technologies for the purposes of enhancing Warfighter cognitive performance. The report continues by detailing the inherent methodological challenges of cognitive neuroenhancement and other considerations for conducting research, development, and engineering in this domain. The report concludes with a discussion of promising future directions in neuroenhancement, including biosensing, improved mechanistic and predictive modelling and software tools, developing non-invasive forms of deep-brain stimulation, testing emerging theoretical models of brain and behavior, and developing closed-loop neuroenhancement and human-machine teaming methods. Emphasis is placed on the conceptual and methodological promises and challenges associated with planning, executing, and interpreting neuroenhancement research and development efforts in the context of Warfighter selection, training, operations, and recovery.

Neuro-amélioration du personnel militaire : promesses et défis conceptuels et méthodologiques

(STO-TR-HFM-311)

Synthèse

Le personnel militaire est soumis à des opérations prolongées dans des conditions difficiles et peu souhaitables, caractérisées par de fortes expositions environnementales, une pénurie de ressources et une charge physique et mentale. Les opérations militaires prolongées qui se déroulent dans ces conditions peuvent dégrader les ressources perceptives, cognitives et émotionnelles (naturellement limitées) nécessaires à la bonne réalisation des tâches liées à la mission. Les opérations multidomaines complexes du futur espace de bataille devraient encore augmenter les exigences, même aux niveaux les plus bas de l'échelon militaire. Les opérations seront de plus en plus longues et auront lieu en petites unités dans des environnements austères, avec un réapprovisionnement limité et des capacités technologiques dégradées. Il est donc essentiel d'identifier de nouvelles démarches de formation et de nouvelles approches technologiques pour maintenir, optimiser et/ou améliorer les performances du personnel militaire. Les recherches menées par la communauté scientifique internationale de la défense, le monde universitaire et l'industrie ont développé plusieurs stratégies neuroscientifiques prometteuses dans ce but, notamment des techniques de neuromodulation et de neurofeedback. Le présent rapport final résume les travaux techniques de la Commission sur les facteurs humains et la médecine de l'OTAN, au sein de l'activité intitulée « Neuro-amélioration cognitive : techniques et technologie » (HFM-311), qui comprend une revue de l'état de la recherche et développement en neuro-amélioration cognitive dans cinq pays participants (Allemagne, Canada, États-Unis d'Amérique, Pays-Bas, et Royaume-Uni). Six techniques de neuromodulation sont envisagées, notamment la stimulation magnétique transcrânienne (TMS), la stimulation transcrânienne par ultrasons focalisés (tFUS), la stimulation électrique transcrânienne (tES), la stimulation transcutanée du système nerveux périphérique (tPNS), la photobiomodulation (PBM) et la stimulation crânienne par électrothérapie (CES). Trois techniques de neurofeedback sont envisagées – l'électroencéphalographie (EEG), l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) et la spectroscopie proche infrarouge fonctionnelle (fNIRS) – pour surveiller l'état cérébral, avec des boucles de rétroaction activées par l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle. Les représentants de chaque pays participant résument la recherche fondamentale et appliquée utilisant une ou plusieurs de ces technologies de neuromodulation et de neurofeedback dans le but d'améliorer les performances cognitives du combattant. Le rapport détaille ensuite les défis méthodologiques inhérents à la neuro-amélioration cognitive et d'autres aspects à considérer pour mener les recherches, le développement et l'ingénierie dans ce domaine. Le rapport se conclut par une discussion sur les futures orientations prometteuses en matière de neuro-amélioration, qui incluent la biodétection, la modélisation mécaniste et prédictive améliorée et les outils logiciels, le développement de formes non invasives de stimulation cérébrale profonde, l'essai de modèles théoriques émergents de cerveaux et de comportements et le développement de méthodes de neuro-amélioration en boucle fermée et d'association humain-machine. L'accent est mis sur les promesses et défis conceptuels et méthodologiques associés à la planification, l'exécution et l'interprétation des travaux de recherche et développement en neuro-amélioration, dans le contexte de la sélection, de la formation, des opérations et du rétablissement des combattants.