

Contrôle de la force musculaire par une commande non-linéaire

Maillard A.¹, Bakir T.¹ & Binczak S.¹

¹ Université de Bourgogne Franche-Comté, Arts et Métiers - Laboratoire LE2I UMR 6306 Ailes des sciences de l'ingénieur BP 47870 21078 Dijon Cedex
stbinc@u-bourgogne.fr

L'électromyostimulation (EMS) consiste à envoyer des impulsions électriques à travers un muscle à l'aide d'électrodes de surface. Ces impulsions induisent des contractions musculaires sans aucune intervention du système nerveux. Depuis de nombreuses années, les athlètes et les kinésithérapeutes utilisent les EMS dans le reconditionnement musculaire. Les EMS aident à augmenter les performances, à retrouver l'usage d'une fonction musculaire ou encore à stimuler des muscles déficients. Cependant, l'efficacité des EMS est limitée par la fatigue induite. C'est pourquoi, divers travaux tentent de modéliser les effets des stimulations sur la force développée et sur la fatigue musculaire générée. La modélisation est réalisée par l'utilisation de modèles mathématiques prenant en compte les paramètres physiologiques qui, d'une personne à une autre varient [1], ce qui rend cette tâche difficile.

Le système dynamique non-linéaire proposé dans l'étude [2, 3] utilise un modèle à protocole spécifique qui a prouvé sa fiabilité à résoudre ces difficultés de modélisation de par ces bons résultats et de par la présence du lien force-fatigue dans le modèle. Ces raisons ont conforté notre choix d'utiliser ce modèle pour notre étude. Ce modèle a aussi été utilisé pour analyser l'influence de la fréquence de stimulation comme variable de contrôle sur la force et la fatigue [4-6]. Actuellement, les systèmes d'EMS n'adaptent pas les paramètres de stimulation automatiquement et ne prennent pas en compte les paramètres physiologiques. Pour adapter ces paramètres aux réponses musculaires et optimiser les séances de rééducation, nous proposons d'appliquer une méthode de contrôle non-linéaire à un modèle physiologique incluant les effets de la fatigue musculaire [7, 8]. Ce contrôle non-linéaire est conçu pour permettre le contrôle de la force musculaire tout en contrebalançant l'influence de la fatigue. Le contrôle agit alors sur deux paramètres : le temps d'inter-pulsation des contractions et l'amplitude des impulsions électriques. L'analyse des résultats permet de conclure sur l'efficacité obtenue et d'en définir les limites.

Références

1. Z. Li, M. Hayashibe, C. Fattal and D. Guiraud, "Muscle fatigue tracking with evoked EMG via recurrent neural network : toward personalized neuroprosthetics", *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 2014, 9 (2), 38-46.
2. J. Ding, A. S. Wexler and S. A. Binder-Macleod, "A predictive fatigue model-I : Predicting the effect of stimulation frequency and pattern on fatigue", *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation*, vol 10, no 1 March 2002.
3. J. Ding, A. S. Wexler, and S. A. Binder-Macleod, "A predictive fatigue model-II : Predicting the effect of resting times on fatigue", *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation*, vol 10, no 1 March 2002.
4. Li-Wei Chou, Jun Ding, Anthony S. Wexler, Stuart A. Binder-Macleod, "Predicting optimal electrical stimulation for repetitive human muscle activation", *International Congress Series 15 (2005)* 300-309.
5. Jun Ding, Anthony S. Wexler, Stuart A. Binder-Macleod, "Mathematical models for fatigue minimization during functional electrical stimulation", *International Congress Series 13 (2003)* 575-588.
6. Jun Ding, Anthony S. Wexler, Stuart A. Binder-Macleod, "A mathematical model that predicts the force-frequency relationship of human skeletal muscle", *Wiley Periodicals, Inc. Muscle Nerve* 26 (2002) 477-485.
7. A. Fettweis, J-L. Massey, J.W. Modestino and M. Thoma, "Alberto Isidori : Nonlinear Control Systems", *Communications and Control Engineering Series*, 1985.
8. A. Maillard, M. Yochum, T. Bakir, S. Binczak, "On the control of a muscular force model including muscular fatigue", *Neural Engineering IEEE EMBS*, 2015.