

Sujet de thèse 2021-2024

Caractérisation de la coordination neuromusculaire anticipatoire lors de mouvements explosifs

Mots clefs

Mouvement humain, Biomécanique, Coordination neuro-musculaire, Analyse du mouvement, Modélisation musculosquelettique, Approche expérimentale, Sport.

Encadrants

Dr. Floren Colloud – Maître de conférences HDR, Institut Pprime UPR 3346, équipe RobiOSS.

Dr. Romain Tisserand – Maître de conférences, Institut Pprime UPR 3346, équipe RobiOSS.

Contexte

La performance d'un mouvement dynamique repose sur une coordination complexe contrôlée par le Système Nerveux Central (SNC). Le contrôle de cette coordination s'appuie sur des modèles internes permettant d'estimer l'état actuel du corps et de prédire son état futur (Wolpert & Kawato, 1998). Afin d'optimiser la performance lorsque l'état futur est prévisible, le SNC programme des activations musculaires qui précèdent les changements à venir dans le mouvement, créant des conditions biomécaniques favorables. Ce mécanisme permet de répondre aux importantes contraintes, à la fois temporelles et mécaniques, de mouvements explosifs tout en protégeant les articulations (Horita et al. 2002). Ainsi, les activations musculaires anticipatoires sont déterminantes pour la performance d'un mouvement dynamique. Nos résultats préliminaires montrent que, lors d'un mouvement contraint en aviron, les muscles bi-articulaires présentent des variations de longueur et des activations très différentes d'un individu à l'autre. Ces résultats suggèrent que les modèles internes, et donc les activations musculaires qui en découlent, pourraient être différents entre des participants qui produisent une cinématique articulaire pourtant similaire.

Par ailleurs, compte tenu de l'évolution des contraintes imposées par les mouvements sportifs, les modèles internes doivent rester modifiables. Les gestes explosifs répétés sont particulièrement fatiguant pour l'être humain. La fatigue musculaire introduit une variabilité imprévisible et changeante, qui pourrait entraîner un décalage entre ce qui était prévu et ce qui se produit réellement (Monjo et al. 2015). Ceci pousserait alors les athlètes à modifier leurs coordinations neuro-musculaires pour atteindre le même résultat mécanique global (Takahashi et al., 2006), mais engendrerait un risque de blessure beaucoup plus important (Côté et al. 2005). La question de savoir si un tel décalage peut être anticipé ou non par les modèles internes reste aujourd'hui largement sans réponse.

Enfin, bien que plus de 50 % de la population mondiale soit féminine, les modèles de production de force utilisés pour caractériser les mouvements optimaux sont très largement basés sur des études n'incluant que des hommes. Les femmes présentent pourtant des différences significatives avec les hommes au niveau de la géométrie anatomique (du bassin et du membre inférieur notamment), de l'amplitude des mouvements articulaires et de la capacité relative à générer une puissance articulaire dans une tâche donnée. Ainsi, ces différences pourraient induire des adaptations spécifiques de la coordination neuromusculaire anticipatoire liées au sexe (Bussey et al., 2018). Si de telles adaptations existent, elles nécessitent d'être caractérisées finement afin qu'elles puissent être entraînées de façon personnalisée chez les sportives et les sportifs.

Objectifs de la thèse

Le premier objectif sera de caractériser les processus anticipatoires lors de différents mouvements explosifs tels que les sauts verticaux chez des sportifs entraînés, répartis à égale proportion entre des femmes et des hommes. Cette coordination motrice sera quantifiée via l'analyse des synergies musculaires anticipatoires. Le second objectif sera de déterminer la capacité de réorganisation du SNC en condition de fatigue, c'est à dire sa capacité à anticiper un décalage causé par la fatigue. Cette capacité sera estimée par l'analyse des différences entre l'état prédit et l'état actuel. Le troisième objectif sera d'identifier si il existe un effet du sexe dans les processus anticipatoires sous-jacents à la génération de mouvements explosifs, en conditions « normale » et de fatigue.

Approche

L'approche qui sera utilisée pour caractériser les coordinations neuromusculaires anticipatoires se situe à la pointe des connaissances actuelles sur le sujet. La personne recrutée devra concevoir des protocoles impliquant la réalisation de mouvements dynamiques explosifs pour des participants humains. Des données devront être collectées à l'aide d'outils d'analyse du mouvement humain (caméras infrarouges et capteurs de force) et de physiologie musculaire (électromyographie et échographes à ultrasons ultrarapides). Les coordinations neuro-musculaires anticipatoires mise en œuvre lors des mouvements enregistrés seront ensuite appréhendées à partir de modélisations multi-échelles et multi-physiques. Les couples articulaires ainsi que la cinématique musculaire seront estimés à partir d'une modélisation musculosquelettique personnalisée (Delp et al, 2007 ; Retailleau & Colloud, 2020) et les données issues des échographes serviront à affiner la caractérisation des interactions entre les fibres musculaires et les structures tendineuses (Cronin & Lichwark, 2013, Hauraix et al., 2013, 2015).

Implications attendues

Les connaissances développées lors de ce projet de doctorat pourront être transférées auprès d'entraîneurs pour améliorer l'apprentissage, et donc l'entraînement, de mouvements explosifs et ainsi optimiser les performances sportives. Plus particulièrement, ces connaissances devraient permettre d'améliorer la personnalisation des entraînements et ainsi aider à déterminer s'ils doivent être conçu différemment pour des sportives et pour des sportifs. Ces connaissances devraient aussi permettre de mieux comprendre les mécanismes de contrôle utilisés pour prévenir les blessures lorsque les mouvements exigent de répondre à d'importantes sollicitations (bio)mécaniques et/ou lorsque les muscles sont fatigués. Enfin, cela pourrait permettre de mieux comprendre les risques liés à l'exécution de mouvement à forte intensité chez des personnes ayant des déficits de production de force et/ou de coordination, comme les personnes vieillissantes ou pathologiques.

Profil recherché

- Master 2 ou diplôme d'ingénieur avec une spécialisation en biomécanique.
- Fort intérêt pour la programmation (Matlab, Python, C++, ...).
- Des compétences en analyse du mouvement et en modélisation musculosquelettique.
- Des connaissances en contrôle moteur seraient un plus.
- Bon niveau en anglais et de bonnes compétences de communication et rédactionnelles.
- Rigueur, initiative, autonomie, persévérance et goût pour le travail expérimental.

Financement

Allocation Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation.

Contacts

Dr. Floren Colloud: floren.colloud@univ-poitiers.fr

Dr. Romain Tisserand: romain.tisserand@univ-poitiers.fr

Calendrier

- Les candidatures doivent être envoyées par courriel aux contacts avant le 20 avril 2021.
- Audition du 17 au 21 mai 2021.
- Début de la thèse 01 octobre 2021.

Le dossier de candidature devra comporter les pièces suivantes

- CV.
- Lettre de motivation.
- Relevés de notes Master 1 et Master 2 ou équivalent.
- Lettres de référence de vos responsables de formation et de vos encadrants de stages.

Références

Bussey M.D., Peduzzi de Castro M., Albade D. & Shemmell (2018). Sex differences in anticipatory postural adjustments during rapid single leg lift. *Human Movement Science*, 57, 417-425.

Côté J.N., Raymond D., Mathieu P.A., Feldman A.G., & Levin M.F. (2005). Differences in multi-joint kinematic patterns of repetitive hammering in healthy, fatigued and shoulder-injured individuals. *Clinical Biomechanics*, 20, 581-590.

Cronin N.J. & Lichtward G. (2013). The use of ultrasound to study muscle-tendon function in human posture and locomotion. *Gait & Posture*, 37, 305-312.

Delp S.L. , Anderson F.C. , Arnold A.S. , Loan P. , Habib A. , John C.T., Guendelman E. & Thelen D.G. (2007). OpenSim : open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 54, 1940-1950.

Hauraix H., Nordez A. & Dorel S. (2013). Shortening behavior of the different components of muscle-tendon unit during isokinetic plantar flexions. *Journal of Applied Physiology*, 115, 1015-1024.

Hauraix H., Nordez A., Guilhem G., Rabita G. & Dorel S. (2015). In vivo maximal fascicle-shortening velocity during plantar flexion in human. *Journal of Applied Physiology*, 117, 3149-3154.

Horita T., Komi P.V., Nicol C. & Kyröläinen H. (2002). Interaction between pre-landing activities and stiffness regulation of the knee joint musculoskeletal system in the drop jump: implications to performance. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 76-84.

Monjo F., Terrier R. & Forestier N. (2015). Muscle fatigue as an investigative tool in motor control: a review with new insights on internal models and posture-movement coordination. *Human Movement Science*, 44, 225-233.

Retailleau M., Colloud F. (2020). New insights into lumbar flexion tests based on inverse and direct kinematic musculoskeletal modeling. *Journal of Biomechanics*, 105 : 109782.

Takahashi C. D., Nemet D., Rose-Gottron C. M., Larson J. K., Cooper D. M., & Reinkensmeyer D. J. (2006). Effect of muscle fatigue on internal model formation and retention during reaching with the arm. *Journal of Applied Physiology*, 100, 695-706.

Wolpert D.M. & Kawato M. (1998). Multiple paired forward and inverse models for motor control, *Neural Networks*, 11, pp. 1317-1329.

PhD Thesis 2021-2024

Characterization of anticipatory neuromuscular coordination during explosive movements

Keywords

Human movement, Biomechanics, Neuromuscular coordination, Motion Analysis, Musculoskeletal Modelling, Experimental studies, Sport.

Supervisors

Dr. Floren Colloud – Associate Professor, Institut Pprime UPR 3346, Team RobiOSS.

Dr. Romain Tisserand – Associate Professor, Institut Pprime UPR 3346, Team RobiOSS.

Scientific background

The Central Nervous System (CNS) must elaborate a complex motor coordination to efficiently perform dynamic explosive movements. This coordination relies on internal models, that can be used to estimate both current and future states of the whole-body (Wolpert & Kawato, 1998). When the future state is predictable, the CNS optimizes motor performance by programming muscular activations that precedes the expected modifications of the ongoing movement, creating favourable biomechanical conditions. These anticipatory activations reduce the strong temporal and mechanical constraints associated with explosive movements, protecting joints (Horita et al., 2002). Therefore, anticipatory muscular activations are determinant in the performance of a dynamic explosive movement. Results from constrained explosive rowing movements performed in our lab, show that bi-articular muscles have important variations of lengths and activations patterns from one individual to another. These results suggest that muscular activations, and the underlying internal models, may be different between human participants, who yet produce similar motion kinematics.

Given the evolution of constrained sports movements through time, internal models must also remain adaptable. Explosive movements repeated at high frequency are particularly tiring for humans. Muscular fatigue introduces a changing and unpredictable variability, which may cause a mismatch between what has been predicted and what is actually happening (Monjo et al., 2015). This mismatch may encourage athletes to modify their neuromuscular coordination to produce the same global mechanical output (Takahashi et al., 2006), creating a much higher risk of injury (Côté et al., 2005). Whether or not such a mismatch can be predicted using internal models remains largely unknown.

Finally, although more than 50% of the worldwide population is female, force production models used to characterize optimised explosive movement were mostly constructed based on data collected from male participants. Women, however, present significant differences compared to men, such as anatomical geometry (notably for the pelvis and the lower limbs), joint range of motion and joint power generation in a given motor task. Therefore, these differences may cause sex-specific adaptations of the anticipatory neuromuscular coordination (Busser et al., 2018). If such adaptations exist, they must be quantified finely so they can be personalized in optimizing the learning process, both in sportswomen and sportsmen.

Objectives

The first objective will be to characterize the anticipatory processes during several explosive movements such as vertical jumps in a population of trained athletes, equally distributed between

women and men. This neuromuscular coordination will be quantified through the analysis of anticipatory muscular synergies. The second objective will be to determine the ability of the CNS to reorganize muscular activations in the condition of fatigue, i.e. its ability to anticipate a potential mismatch caused by fatigue. This ability will be investigated through differences between predicted and current whole-body states estimates. The third objective will be to identify whether or not sex differences exist in the anticipatory processes underlying explosive movements generation, in both “normal” and fatigue conditions.

Approach

The approach used to characterize anticipatory muscular coordination is at the top of its field. The Ph.D. student will conceive experimental protocols where human participants have to perform explosive dynamic movements. Data will be collected using both human motion analysis (infrared cameras & force sensors) and muscular physiology (electromyography & superfast ultrasound echograph) equipments. Anticipatory neuromuscular coordination recorded during explosive movements will then be analyzed using multi-scale and multi-physic models. Joint torques and muscular lengths and activation patterns will be estimated from a personalized musculoskeletal model (Delp et al., 2007; Retailleau & Colloud, 2020). Data collected with echography will help refine the characterization of interactions between muscular and tendinous fibers (Cronin & Lichwark, 2013; Hauraix et al., 2013, 2015).

Expected results

Knowledge developed in this project could be transferred to sport coaches, to improve motor learning and training of explosive movements and therefore optimize sports performance. Particularly, they should help to improve personalised training design and determine whether or not motor learning of explosive movements should be optimized differently between sportswomen and sportsmen. This project may also provide a better understanding of the control mechanisms used to prevent injuries when movements are performed under significant (bio)mechanical stresses and/or when muscles are tired. Finally, it may provide a better understanding of the risks associated with performing high-intensity movement in individuals with power generation and/or coordination deficits, such as aging or pathological individuals.

Expected profile

- Master’s degree in mechanics or engineering with a specialization in biomechanics.
- Skills in scientific programming (Matlab, Python, C++, ...).
- Advanced skills in motion capture and musculoskeletal modelling.
- Knowledge in motor control would be a plus.
- Fluent in English (and eventually correct French), good communication and writing skills.
- Rigor, sense of initiative, autonomy and a taste for experimental work.

Funding

French Ministry of Research and Innovation.

Contacts

Dr. Floren Colloud: floren.colloud@univ-poitiers.fr

Dr. Romain Tisserand: romain.tisserand@univ-poitiers.fr

Calendar

- Applications must be sent by email before April, 20th 2021.
- Interview: from May 17th to May 21st 2021.
- Project and funding will start October 1st 2021.

The application file must include

- CV.
- Application letter.
- Postgraduate marks reports (all years).
- References letters from your postgraduate supervisor(s) and/or internship supervisor(s).

References

Bussey M.D., Peduzzi de Castro M., Albade D. & Shemmell (2018). Sex differences in anticipatory postural adjustments during rapid single leg lift. *Human Movement Science*, 57, 417-425.

Côté J.N., Raymond D., Mathieu P.A., Feldman A.G., & Levin M.F. (2005). Differences in multi-joint kinematic patterns of repetitive hammering in healthy, fatigued and shoulder-injured individuals. *Clinical Biomechanics*, 20, 581-590.

Cronin N.J. & Lichtward G. (2013). The use of ultrasound to study muscle-tendon function in human posture and locomotion. *Gait & Posture*, 37, 305-312.

Delp S.L. , Anderson F.C. , Arnold A.S. , Loan P. , Habib A. , John C.T., Guendelman E. & Thelen D.G. (2007). OpenSim : open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 54, 1940-1950.

Hauraix H., Nordez A. & Dorel S. (2013). Shortening behavior of the different components of muscle-tendon unit during isokinetic plantar flexions. *Journal of Applied Physiology*, 115, 1015-1024.

Hauraix H., Nordez A., Guilhem G., Rabita G. & Dorel S. (2015). In vivo maximal fascicle-shortening velocity during plantar flexion in human. *Journal of Applied Physiology*, 117, 3149-3154.

Horita T., Komi P.V., Nicol C. & Kyröläinen H. (2002). Interaction between pre-landing activities and stiffness regulation of the knee joint musculoskeletal system in the drop jump: implications to performance. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 76-84.

Monjo F., Terrier R. & Forestier N. (2015). Muscle fatigue as an investigative tool in motor control: a review with new insights on internal models and posture-movement coordination. *Human Movement Science*, 44, 225-233.

Retailleau M., Colloud F. (2020). New insights into lumbar flexion tests based on inverse and direct kinematic musculoskeletal modeling. *Journal of Biomechanics*, 105 : 109782.

Takahashi C. D., Nemet D., Rose-Gottron C. M., Larson J. K., Cooper D. M., & Reinkensmeyer D. J. (2006). Effect of muscle fatigue on internal model formation and retention during reaching with the arm. *Journal of Applied Physiology*, 100, 695-706.

Wolpert D.M. & Kawato M. (1998). Multiple paired forward and inverse models for motor control, *Neural Networks*, 11, pp. 1317-1329.