



**HAL**  
open science

## Effet d'un programme d'entraînement musculaire pour une cycliste présentant une agénésie du pied

Tristan Mulard, Ross Parry, Marie Patouillet, Grégory Baugé, Jean Slawinski

### ► To cite this version:

Tristan Mulard, Ross Parry, Marie Patouillet, Grégory Baugé, Jean Slawinski. Effet d'un programme d'entraînement musculaire pour une cycliste présentant une agénésie du pied. *Revue du Podologue*, 2020, 16, pp.21 - 24. 10.1016/j.revpod.2020.06.007 . hal-03491533

**HAL Id: hal-03491533**

**<https://hal.science/hal-03491533v1>**

Submitted on 30 Aug 2022

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial 4.0 International License

## **Dochead dossier**

### **Sous-dochead Accompagnement de la pratique sportive**

#### **Effet d'un programme d'entraînement musculaire pour une cycliste présentant une agénésie du pied**

**Tristan Mulard<sup>a,\*</sup>**

Étudiant

**Ross Parry<sup>a</sup>**

Enseignant chercheur

**Marie Patouillet<sup>b,c</sup>**

Cycliste handisport, médecin généraliste

**Grégory Baugé<sup>c</sup>**

Cycliste professionnel

**Jean Slawinski<sup>a,d</sup>**

Chercheur en biomécanique et physiologie de l'exercice

<sup>a</sup> Laboratoire interdisciplinaire en neurosciences, physiologie et psychologie : activité physique, santé et apprentissages (LINP2-2APS),

Université Paris-Nanterre, UPL, 200 avenue de la République, 92001 Nanterre, France

<sup>b</sup> Fédération française handisport, 42 rue Louis-Lumière, 75020 Paris, France

<sup>c</sup> US Créteil Cyclisme, 3 rue d'Estienne-d'Orves, 94000 Créteil, France

<sup>d</sup> Institut national du sport de l'expertise et de la performance (INSEP), Laboratoire sport expertise et de la performance (SEP ; EA 7370), 12 avenue du Tremblay, 75012 Paris, France

*\* Auteur correspondant.*

*Adresse e-mail : tri1702@orange.fr (T. Mulard).*

## **Résumé**

Une paracycliste de niveau international atteinte d'une agénésie de deux orteils du pied gauche a suivi un programme spécifique d'entraînement, dont les effets sur la cinématique du pédalage et les qualités anaérobies ont été mesurés. Il s'appuyait, en plus de l'entraînement habituel, sur des techniques de pédalage et de renforcement musculaire du pied. Les résultats suggèrent que l'ajout d'une prise en charge spécifique au handicap permet d'améliorer la rapidité de progression technique et énergétique d'une sportive de haute performance en paralympisme. Un tel travail pourrait être élargi à d'autres personnes atteintes d'une malformation congénitale du membre inférieur.

© 2020

**Mots clés** – agénésie ; cyclisme ; pédalage ; pied ; renforcement musculaire

## Summary à traduire

© 2020

**Keywords** – cycling; foot; malformation; pedaling; strength training

Les malformations congénitales sont le résultat d'une complication dans la morphogenèse d'une ou plusieurs structures anatomiques. Leur apparition peut être liée à des facteurs intrinsèques (anomalie vasculaire ou génétique) ou extrinsèques (agent toxique, choc mécanique) [1]. La prise en charge de ces types d'anomalies est complexe. Pour les cas les plus prévalents (tel le pied bot), il existe des protocoles bien définis pour la prise en charge chirurgicale et/ou rééducative [2]. En revanche, dans le cas de la pratique sportive, les stratégies mises en place pour améliorer la performance ou simplement adapter la méthodologie de l'entraînement chez ce type de patient ne sont pas documentées.

**TEG1 Les malformations du membre inférieur entraînent des limitations conséquentes sur le fonctionnement musculosquelettique.** Une malformation osseuse altère l'intégrité structurelle d'un segment et sa capacité à transmettre des forces [3,4]. En effet, les complications dans la morphogenèse osseuse sont généralement associées à la modification de la configuration osseuse, ce qui entraîne une insertion atypique des muscles. Au-delà de ces incidences biomécaniques, des biopsies musculaires indiquent des modifications histochimiques chez des personnes présentant des malformations congénitales [5]. Ainsi, celles situées au niveau des métatarses sont problématiques, puisque ces os supportent 30 % à 50 % du poids du corps et permettent l'adaptation du pied aux différentes surfaces du sol. À la simple marche, une malformation des métatarses est donc très problématique.

**TEG1 Dans une activité sportive, surtout si elle est pratiquée à haut niveau,** la spécificité de ce type de pathologie doit être prise en compte dans la préparation de l'athlète à la compétition. L'objectif de ce travail sera donc de présenter les effets d'un programme spécifique associé à l'entraînement habituel d'une paracycliste sur piste de haut niveau née avec une agénésie de deux rayons au pied gauche.

## T1 Matériel et méthode

### T2 Cas clinique

**TEG1 L'athlète est une paracycliste de niveau international, spécialiste de l'épreuve de 500 mètres arrêté (37'54''),** est une femme de 30 ans, atteinte d'une agénésie de deux orteils de son pied gauche à la naissance. Des analyses en imagerie soulignent un syndrome malformatif avec une synostose talo-calcanéenne complète. Il s'agit, en d'autres termes, d'un pied gauche constitué des trois premiers rayons et d'un médiotarse constitué uniquement de deux os. L'imagerie montre la fusion du bloc *talus*-calcanéus ainsi qu'une fusion avec des os naviculaire et cuboïde, deux os cunéiformes au lieu des trois normalement présents en temps normal. Les doigts IV et V sont donc absents dans leur totalité (*figure 1*). Le pied droit est normal.

**TEG1 Des tests cliniques ont confirmé la présence de l'ensemble des muscles au niveau du pied gauche.** Cependant, il reste difficile de connaître précisément les origines et les terminaisons des muscles du pied et de la jambe. Cette agénésie entraîne une diminution de la masse musculaire de la jambe gauche par rapport à la jambe droite, avec une différence de 3,5 cm de circonférence au niveau de la moitié de la jambe. Cette diminution du volume musculaire est associée à une baisse de la force du côté gauche. Cliniquement, on observe une diminution de force pour une série de muscles extrinsèques (long extenseur des orteils, le troisième fibulaire, le court fibulaire et le long fléchisseur des orteils) et intrinsèques (l'adducteur de l'*hallux*, le court extenseur des orteils, le court fléchisseur du Quintus, l'adducteur du Quintus, le court fléchisseur des orteils, les muscles

lombricaux, interosseux dorsaux et interosseux plantaires). L'ensemble de ces muscles intervient dans la fixation de la cheville lors de la descente et de la remontée de la pédale, assurant ainsi un pédalage efficace. Par conséquent, dans sa pratique de cyclisme, notre athlète se plaint d'un « *manque de force* » lors de son pédalage.

**TEG1 Du fait de sa pathologie, elle exprime des difficultés dans sa cheville gauche** à transmettre la force produite par son membre inférieur sur la pédale. Elle évoque aussi un manque de stabilité dans cette même cheville, qui est encore plus important dans la phase de départ arrêté, puisque dans cette phase l'athlète doit produire sur la pédale la force la plus élevée [6]. Enfin, la durée de l'épreuve de sprint de 500 m départ arrêté est comprise entre trente-six et quarante secondes. Cette épreuve fait donc appel aux ressources anaérobies qui vont induire une fatigue neuromusculaire et proprioceptive importante et entraîner une perte de force musculaire [7-9].

**TEG1 L'absence de matière osseuse au niveau du pied gauche couplée à un remodelage des trajets** entraîne une diminution de la force des extenseurs, des fléchisseurs et des stabilisateurs de la cheville. Lors d'une épreuve de cyclisme sur piste de 500 m départ arrêté, l'athlète ressent une diminution de la force et du contrôle de l'amplitude au niveau de la cheville au moment du départ et tout au long de la course. Cette agénésie limite donc sa capacité à diriger ses forces appliquées à la pédale, notamment en état de fatigue. L'amélioration de la force des muscles qui croisent l'articulation de la cheville est donc un facteur déterminant dans l'optimisation de la performance.

## **T2 Protocole expérimental**

La paracycliste précédemment évoquée a réalisé avant et après une période d'entraînement un test de Wingate [10] sur cyclo-ergomètre (Excalibur Sport, Lode®). Ce test permet l'évaluation du métabolisme anaérobie lactique et consiste à pédaler le plus vite possible durant vingt secondes contre une force constante. Cette force correspond à environ 7,5 % de la masse corporelle. Lors du test de Wingate, la puissance pic ( $P_{pic}$ ), la puissance moyenne ( $P_{moy}$ ) et l'index de fatigue (IF) sont relevés. Un index permet d'évaluer la capacité (IF) et la puissance pic du métabolisme anaérobie lactique ; il correspond à la différence entre  $P_{pic}$  et la plus petite puissance obtenue à la fin du test.

Pour évaluer la technique de pédalage, la paracycliste était filmée avec un caméscope (iPhone 8 ; 60 Hz) lors d'un passage à une cadence de pédalage de quatre-vingts tours par minute. L'angle sagittal de la cheville gauche, pour quatre positions caractéristiques du pied (*figure 2*), a été mesuré à l'aide du logiciel Kinovea. Ces angles de la cheville ont été comparés à ceux d'un cycliste professionnel valide.

## **T2 Programme de renforcement musculaire**

Un programme d'entraînement musculaire sur une période de dix semaines a été mis en place dans l'objectif d'une préparation pour une compétition. Ce programme avait pour but d'améliorer la puissance musculaire des membres inférieurs à travers des mésocycles d'une semaine.

**TEG1 Au total, l'athlète a suivi cinq semaines d'entraînement en force**, deux semaines en puissance et une semaine de décharge avant de terminer sur deux semaines de travail en vitesse. Les séances d'entraînement musculaire étaient programmées trois fois par semaine en complément des séances de cyclisme qui avaient lieu trois à cinq fois par semaine. Une évaluation de charge maximale (1 répétition maximale [RM]) a été réalisée sur tous les groupes musculaires ciblés en amont afin de calibrer l'intensité d'entraînement selon les différentes phases du programme.

Les exercices dans ce programme d'entraînement avaient pour but de renforcer les faiblesses musculaires associées à l'agénésie du pied gauche et favoriser la technique de pédalage. Une emphase importante a été mise sur la chaîne extenseur des membres inférieurs pour augmenter la force nécessaire dans la phase de poussée de la pédale. Un travail sur les membres supérieurs (tirage horizontal, développé couché, etc.) et des exercices de gainage ont été inclus pour améliorer la posture et la stabilité du tronc, du haut du corps et du bassin, et donner ainsi un meilleur appui pour les membres inférieurs et le pédalage. Un travail spécifique sur les fléchisseurs plantaires et dorsaux

a été réalisé pour améliorer la force et le contrôle de la cheville. L'adaptation de certains exercices a été mise en place pour la spécificité de l'anatomie avec notamment les machines permettant d'isoler le travail de chaque jambe (*leg extension*, *leg curl*, flexions dorsales et plantaires, etc.). Des squats unipodaux à la presse oblique ont également été réalisés, avec un calcul de 1 RM pour chaque membre. Cette méthode permettait de surveiller la charge de travail de la jambe gauche et d'éviter la compensation par celle de droite.

**TEG1 Le volume de travail évoluait selon les macrocycles du programme.** Le travail en force musculaire était réalisé avec des charges entre 85 % et 105 % de 1 RM avec entre une et six répétitions et une durée de récupération de trois à six minutes. Un travail en puissance correspondait à des charges entre 30 % à 70 % de 1 RM, allant de six à dix répétitions et un temps de récupération entre deux et trois minutes. Enfin, un travail de vitesse concordait avec des intensités de 30 % de 1 RM pour 8 à 15 répétitions et des périodes de récupération d'une à deux minutes.

## **T1 Résultats**

Les résultats montrent qu'à la suite du programme proposé une amélioration des qualités du métabolisme anaérobie et de la cinématique de pédalage est observée.  $P_{pic}$  progresse de 20 %,  $P_{moy}$  de 26 %, seul l'IF diminue de 26 % (*figure 3*). Cette baisse est vraisemblablement liée à l'amélioration de  $P_{pic}$ . La cinématique de pédalage est également améliorée et se rapproche de celle du cycliste valide de référence (*tableau 1*).

## **T1 Discussion**

Cette étude de cas illustre les effets d'un programme d'entraînement musculaire pour une athlète ayant une malformation congénitale du pied gauche. La progression d'exercice pendant une intervention de dix semaines a permis des améliorations dans la force et la puissance musculaires des membres inférieurs, mesurées sur ergocycle. Ces observations soulignent l'efficacité de ce programme d'entraînement physique, adapté aux caractéristiques pathologiques et aux objectifs sportifs de cet individu. En principe, ces gains musculaires devraient se traduire par de meilleures performances à vélo. Chez des cyclistes entraînés, des séances d'entraînement spécifique en puissance musculaire permettent d'améliorer le temps sur des essais chronométrés par rapport à ceux qui font de l'entraînement uniquement sur vélo [11].

**TEG1 La modification de la cinématique au niveau de la cheville** pendant le pédalage est un résultat clé pour cette athlète. À la fin du programme, les valeurs pour l'angle de la cheville se rapprochent de celles du cycliste professionnel de référence (*tableau 2*). Cette tendance atteste d'un meilleur contrôle de la cheville. En revanche, on ne peut pas identifier précisément les adaptations responsables pour cette amélioration cinématique. Il est possible qu'elle soit due à une prise de masse musculaire ou à la consolidation de nouvelles fibres musculaires qui augmente la capacité contractile. En effet, un programme de renforcement musculaire peut modifier les propriétés viscoélastiques des unités musculo-tendineuses et induire une augmentation de raideur [12]. D'autres facteurs neuromusculaires tels que la synchronisation et la fréquence d'activation pendant le pédalage pourraient également contribuer à cette amélioration de coordination [13]. D'autres investigations (ostéodensitométrie, ultrasonographie, électromyographie) avec l'ajout de sujets contrôles seraient nécessaires afin de préciser jusqu'à quel point ces différentes adaptations ont contribué aux changements cinématiques observés. D'un point de vue fonctionnel, il reste un écart entre la posture de la cheville de cette athlète et celle du cycliste professionnel, notamment dans la phase de traction. Il serait donc important de prévoir des exercices isométriques pour les fléchisseurs dorsaux dans la continuité de la préparation physique pour cette personne.

**TEG1 Cette étude de cas illustre certains principes qui seraient généralisables à la prise en charge d'autres personnes ayant une malformation congénitale du pied.** Bien que certaines études suggèrent que les mécanismes de croissance musculaires soient déficients dans ces populations [14], les observations dans cette étude montrent qu'un programme de renforcement musculaire avec une

charge de travail progressive selon la séquence de mésocycles permet de majorer la force musculaire chez une personne ayant une agénésie du pied. La progression observée sur le test de Wingate témoigne de l'amélioration de l'efficacité du système aérobie lactique.

Des études histochimiques ont démontré que certaines malformations congénitales du membre inférieur sont associées à une proportion élevée des fibres musculaires de type I et une diminution de la densité capillaire [15]. L'amélioration  $P_{pic}$  et  $P_{moy}$  lors du test de Wingate chez la paracycliste dans cette étude montre que malgré ces différences, une modification importante dans la capacité du métabolisme glycolytique est possible dans un programme d'entraînement musculaire adapté. D'autres analyses telles qu'une biopsie musculaire seraient nécessaires pour vérifier si ce changement est associé à une augmentation de fibres musculaires de type II.

## **T1 Conclusion**

À travers cette étude, il a été montré comment réaliser un programme d'entraînement spécifique pour une pathologie telle que l'agénésie de deux orteils. Celui-ci a permis un renforcement musculaire de la jambe, où se trouvait le pied pathologique, qui s'est traduit par une amélioration de la puissance du métabolisme anaérobie et une meilleure efficacité du pédalage sur le vélo.

## **Déclaration de liens d'intérêts**

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

## **Références**

- [1] Corsello G, Giuffrè M. Congenital malformations. *J Matern Neonatal Med* 2012;25 Suppl 1:25-9.
- [2] Banskota B, Banskota AK, Regmi R, et al. The Ponseti method in the treatment of children with idiopathic clubfoot presenting between five and ten years of age. *Bone Joint J* 2013;95-B(12):1721-5.
- [3] Chan CW, Rudins A. Foot biomechanics during walking and running. *Mayo Clin Proc* 1994;69(5):448-61.
- [4] Lezak B, Massel DH. Anatomy, bony pelvis and lower limb, metatarsal bones. In: StatPearls. Treasure Island (États-Unis): StatPearls Publishing; 2020.
- [5] Isaacs H, Handelsman JE, Badenhorst M, Pickering A. The muscles in club foot – A histological histochemical and electron microscopic study. *J Bone Joint Surg Br* 1977;59-B(4):465-72.
- [6] Dorel S, Couturier A, Lacour JR, et al. Force-velocity relationship in cycling revisited: Benefit of two-dimensional pedal forces analysis. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42(6):1174-83.
- [7] Brøchner Nielsen NP, Hug F, Guével A, et al. Changes in motor coordination induced by local fatigue during a sprint cycling task. *Med Sci Sports Exerc* 2018;50(7):1394-404.
- [8] Collins BW, Pearcey GEP, Buckle NCM, et al. Neuromuscular fatigue during repeated sprint exercise: Underlying physiology and methodological considerations. *Appl Physiol Nutr Metab* 2018;43(11):1166-75.
- [9] Proske U. Exercise, fatigue and proprioception: A retrospective. *Exp Brain Res* 2019;237(10):2447-59.
- [10] Driss T, Vandewalle H. The measurement of maximal (anaerobic) power output on a cycle ergometer: A critical review. *Biomed Res Int* 2013;2013:589361.

[11] Bastiaans JJ, van Diemen AB, Veneberg T, Jeukendrup AE. The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. Eur J Appl Physiol 2001;86(1):79-84.

[12] Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. J Physiol 2002;538(Pt 1):219-26.

[13] Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Developing maximal neuromuscular power: Part 1- biological basis of maximal power production. Sports Med 2011;41(1):17-38.

[14] Ippolito E, De Maio F, Mancini F, et al. Leg muscle atrophy in idiopathic congenital clubfoot: Is it primitive or acquired? J Child Orthop 2009;3(3):171-8.

[15] Maffulli N, Capasso G, Testa V, Borrelli L. Histochemistry of the triceps surae muscle in idiopathic congenital clubfoot. Foot Ankle 1992;13(2):80-4.

**Tableau 1. Planification avec explication des différentes méthodes en fonction des axes de travail.**

|  | Macrocycle de 10 semaines |                         |                       |                       |
|--|---------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Mésocycle                                | 5 semaines de force       | 2 semaines de puissance | 1 semaine de décharge | 2 semaines de vitesse |
| Nombre de séries en moyenne par exercice | 4                         | 5 ou 6                  | 5                     | 5 ou 6                |
| Nombre de répétitions par série          | entre 1 et 6              | entre 6 et 10           | entre 8 et 10         | entre 8 et 15         |
| % de 1 répétition maximale               | entre 85 % et 105 %       | entre 40 % et 70 %      | entre 40 % et 50 %    | 30 %                  |
| Temps de pause moyen entre chaque série  | entre 3 et 6 minutes      | entre 2 et 3 minutes    | entre 2 et 3 minutes  | entre 1 et 2 minutes  |

**Tableau 2. Angles de cheville de la paracycliste mesurés en pré- et en postentraînement. Ces angles sont comparés aux angles de référence d'un cycliste professionnel valide.**

|                               | Prétest | Post-test | Réf | $\Delta$ pré-post | $\Delta$ post-réf | $\Delta$ pré-réf |
|-------------------------------|---------|-----------|-----|-------------------|-------------------|------------------|
| Phase de poussée (A)          | 131     | 97        | 96  | - 26 %            | 1 %               | 36 %             |
| Phase de transition basse (B) | 133     | 113       | 117 | - 15 %            | - 3 %             | 14 %             |
| Phase de traction (C)         | 113     | 103       | 90  | - 9 %             | 14 %              | 26 %             |
| Phase de transition haute (D) | 132     | 105       | 88  | - 20 %            | 19 %              | 50 %             |

*Réf: valeur de référence chez un cycliste professionnel valide;  $\Delta$ pré-post: différence entre préentraînement et postentraînement (en pourcentage de variation);  $\Delta$ pré-réf: comparaison avec les angles de référence d'un cycliste professionnel valide.*

Fig1\_Mulard.tiff

© T. Mulard

**Figure 1. Radiographie du pied gauche.**

Fig2\_Mulard.tiff

© T. Mulard

**Figure 2. Quatre phases caractéristiques du pied lors du pédalage : phase de poussée, phase de transition basse, phase de traction, phase de transition haute.**

**Fig3\_Mulard.jpg**

© T. Mulard

**Figure 3. Puissance développée lors du test de Wingate en pré- et postentraînement.  $P_{pic}$  : puissance pic ;  $P_{moy}$  : puissance moyenne ; IF : index de fatigue.**





Phase de poussée  
(A)

Phase de transition basse  
(B)

Phase de traction  
(C)

Phase de transition haute  
(D)



