

# Exercices d'équilibration sur surfaces instables et proprioception de la cheville : une relation pas si claire

NICOLAS FORESTIER <sup>1</sup>, ROMAIN TERRIER <sup>2</sup>, PASCAL TOSCHI <sup>3</sup>, NORMAND TEASDALE <sup>4</sup>

- 1 PhD, Maître de Conférences (Département STAPS et Laboratoire de Physiologie de l'Exercice – Université de Savoie – France)
- 2 PhD, chercheur associé (Laboratoire de Physiologie de l'Exercice – Université de Savoie – France) et Responsable Scientifique CEVRES Santé (Savoie Technolac – France)
- 3 Kinésithérapeute (Aix-les-Bains), PDG CEVRES Santé (Savoie Technolac – France)
- 4 PhD, Professeur (Groupe de Recherche en Analyse du Mouvement et Ergonomie, Faculté de Médecine, division de kinésiologie Université Laval (Québec, Qc, Canada)

Liens d'intérêts: Romain Terrier et Pascal Toschi sont membres de la société CEVRES Santé qui développe le dispositif Myolux<sup>TM</sup> utilisé dans cette étude. Nicolas Forestier et Normand Teasdale n'ont aucun lien d'intérêt.

**Mots-clés:** *proprioception, vibration musculaire, récurrence, cheville, entorse*

**Key words:** *proprioception, muscular vibration, lateral ankle sprain recurrence.*

## — RÉSUMÉ —

**Introduction:** L'inclusion d'exercices proprioceptifs dans les programmes de rééducation des entorses latérales de cheville repose sur une idée simple émise par Freeman dès 1965. Il est supposé que la déstabilisation du support augmente l'utilisation des signaux afférents musculaires en provenance de la cheville offrant in fine une meilleure stabilisation de l'articulation. Toutefois l'échec des exercices de renforcement proprioceptifs constaté dans la littérature scientifique questionne cette position. Dans la ligne d'une série de travaux qui démontrent que les supports déstabilisants limitent l'utilisation des signaux proprioceptifs, cette étude teste l'hypothèse selon laquelle, une instabilité spécifique de l'arrière pied permettrait de conserver la prévalence du recours aux informations proprioceptives musculaires originaires de la cheville.

**Méthode:** 10 sujets sains ont eu comme consigne de se maintenir en équilibre bipodal sur une plate forme de force dans trois conditions de surface: a) stable, b) instable non spécifique (mousse) et c) instable spécifique (inspiré de l'anatomie de l'arrière pied. De manière à apprécier l'importance des signaux proprioceptifs musculaires originaires

de la cheville dans le contrôle de la posture, des vibrations tendineuses ont été appliquées bilatéralement au niveau des muscles paraspinaux lombaires et des longs fibulaires. Les effets des vibrations sur les variables posturales et sur les activités électriques des longs fibulaires et des paraspinaux ont été analysés.

**Résultats et discussion:** contrairement à l'utilisation d'un support Instable non spécifique, les résultats de ce travail démontre que l'instabilité spécifique de la physiologie articulaire de l'arrière pied s'accompagne d'un maintien du niveau de recours aux informations proprioceptives de la cheville pour le contrôle de la posture ainsi que d'un recrutement spécifique des muscles stabilisateurs de l'arrière pied.

**Conclusion:** un travail d'éducation et de formation semble nécessaire dans le but de construire, dans le domaine du renforcement neuromusculaire, des modalités d'exercices en accord avec la réalité neurophysiologique et/ou sensorimotrice des articulations.

## — INTRODUCTION —

Il est désormais établi que l'entorse latérale de cheville représente en France la pathologie traumatique la plus répandue. Elle génère un coût journalier de prise en charge par la collectivité de près de 1,2 millions d'Euros. Les recommandations de la Haute Autorité de Santé (HAS, rapport de Janvier 2000) <sup>(1)</sup> relatives à la rééducation de

ce traumatisme soulignent la nécessité d'utiliser des techniques d'amélioration de la stabilité articulaire. Ces techniques consistent la plupart du temps à utiliser différents supports instables qui placent le patient dans des positions de déséquilibre afin de solliciter les réactions de défense de l'organisme. Ces exercices sont censés diminuer les déficits proprioceptifs, le sentiment d'instabilité articulaire (*giving-way*), le risque de récurrence traumatique et améliorer le contrôle de la posture orthostatique<sup>(2)</sup>. L'utilisation d'exercices « instables » repose sur un positionnement théorique particulier qui associe la déstabilisation à une augmentation de l'utilisation faite, par le Système Nerveux Central (SNC), des signaux afférents proprioceptifs originaires des mécanorécepteurs péri-articulaires de la cheville. Depuis les travaux initiaux de Freeman<sup>(3)</sup> et collaborateurs (1965), il est supposé que la déstabilisation articulaire permet de compenser le déficit proprioceptif d'origine ligamentaire et capsulaire par un engagement plus important des propriocepteurs musculaires (Fuseaux neuromusculaires et Organes tendineux de Golgi). En d'autres termes, la déstabilisation articulaire permettrait, in fine, un meilleur contrôle articulaire. Toutefois, associée à la présence d'une instabilité articulaire chronique chez 40 à 70 % des victimes d'une entorse initiale<sup>(4)</sup>, à un taux de récurrence pouvant atteindre 70 à 80 % pour des populations sportives<sup>(5,6,7)</sup>, cette prise en charge semble présenter certaines limites. Pour illustrer l'ampleur du problème nous avons récemment administré un questionnaire général relatif à l'historique traumatique d'entorse latérale de cheville à trois cohortes composées respectivement de 204, 206 et 149 étudiants de première année de sciences du sport (Université de Savoie – Département STAPS). Le questionnaire interrogeait spécifiquement le nombre d'entorses latérales, le suivi du processus de rééducation par un professionnel, la nature des exercices de rééducation proprioceptive utilisés et la présence d'épisodes de récurrence consécutifs au processus de rééducation. Au total 275 cas d'entorse latérale de la cheville ont été relevés au sein des trois cohortes. De manière très surprenante cette étude démontre que le taux de récurrence général observé sur l'ensemble et estimé à 54 % ne dépend pas de la présence (57 % de récurrence traumatique) ou de l'absence (53 % de récurrence traumatique) d'un processus de rééducation conduit par un professionnel. Bien que ces observations n'aient pas été validées par un examen des dossiers médicaux et que la sévérité de chaque entorse ait été reportée par les sujets eux-mêmes, il n'en demeure pas moins que les résultats obtenus sont en accord avec bon nombre de données internationales. Une récente méta-analyse<sup>(8)</sup> conclut d'ailleurs au fait que, bien qu'utilisés systématiquement et massivement depuis presque 50 ans, il n'existe à ce jour pas de consensus concernant l'efficacité des exercices proprioceptifs sur la prévention de la récurrence traumatique. L'ensemble de ces informations remet ainsi en question l'existence d'un effet bénéfique de la déstabilisation articulaire sur le contrôle neuromusculaire de l'articulation de la cheville. Il semble très difficile de conclure si l'utilisation de surfaces instables au cours du processus de rééducation s'accompagne d'une augmentation ou d'une meilleure utilisation des informations proprioceptives de la cheville.

L'utilisation, dans le domaine de la recherche comportementale humaine, de techniques de vibrations musculo-

tendineuse a permis de comprendre la façon dont les signaux proprioceptifs étaient intégrés et pondérés les uns par rapport aux autres. Il est bien établi<sup>(9)</sup> que l'application de vibrations au niveau musculo-tendineux s'accompagne d'illusions de mouvement auxquelles le SNC réagit par la production d'une réponse posturale compensatrice.

L'importance de la réponse comportementale étant relative à la dépendance des informations proprioceptives pour assurer le contrôle de l'articulation concernée. Ainsi, lorsqu'un muscle est vibré et que le SNC utilise les informations proprioceptives originaires de ce muscle alors l'effet comportemental est important. C'est dans ce contexte que Brumagne<sup>(10)</sup> et collaborateurs ont mis en place une méthodologie qui utilise la vibration comme une sonde comportementale capable de quantifier le poids des informations proprioceptives dans différents contextes d'équilibre. Grâce à cette méthodologie, Kiers<sup>(11)</sup> et collaborateurs démontrent qu'un travail sur plan instable multidirectionnel ne cible pas le travail proprioceptif de la cheville. Il s'avère en effet que placés dans de telles conditions, les sujets adoptent une stratégie posturale basée sur un contrôle de l'articulation de la hanche (stratégie de hanche). Ces auteurs suggèrent finalement que, dans le but de maintenir la prévalence des informations proprioceptives de la cheville pour le contrôle postural, il conviendrait de perturber les autres sources d'informations potentielles, à savoir les informations d'origine vestibulaire et celles d'origine proprioceptive lombaire. Bien que séduisante d'un point de vue théorique, cette méthodologie s'avère compliquée à mettre en œuvre en pratique clinique. Toutefois, sur la base des conclusions des travaux d'Ivanenko<sup>(12)</sup> et collaborateurs qui démontrent que l'utilisation des signaux proprioceptifs de la cheville dépend de l'axe de déstabilisation de cette dernière, une autre méthode de ciblage proprioceptif pourrait être envisagée.

Les entorses latérales de cheville résultent d'un mouvement de rotation de l'arrière pied autour de son axe physiologique (l'axe de Henké). Au cours de ce mouvement particulier nommé inversion, le contrôle de l'articulation est assuré de manière active par les muscles de la loge latérale de la jambe (court et long fibulaires) mais également par l'intermédiaire de structures passives telles que les systèmes capsulo-ligamentaires collatéral latéral et sous-talien. La mise en jeu spécifique de ces structures au cours des mouvements d'inversion permet de faire l'hypothèse que l'utilisation de supports déstabilisants en rotation autour de l'axe de Henké permettrait de cibler les informations proprioceptive provenant de la cheville et non, comme c'est le cas pour les plans instables multidirectionnels, à redistribuer ces informations en direction d'autres articulations sus-jacentes. Le contrôle de l'axe de déstabilisation doit, de manière à permettre l'utilisation de la cheville comme interface de contrôle postural privilégiée, s'accompagner d'une possibilité d'ancrage de la palette métatarsienne. En effet, réalisée sur un support instable sans possibilités d'ancrage, la déstabilisation de l'arrière pied sera entretenue sans qu'aucun contrôle neuromusculaire ne puisse être effectif. En d'autres termes, l'ancrage métatarsien autorise, par l'application de forces de contact, le travail des muscles stabilisateurs de l'arrière pied.

L'objectif de ce travail consiste à mesurer, grâce à l'application de vibrations musculaires, si, pour une tâche d'équilibre postural, la prévalence des informations proprioceptives originaires de la cheville dépend de la spécificité de l'outil déstabilisant (i.e. déstabilisation localisée sous l'arrière pied et fidèle à son anatomie fonctionnelle). Des enregistrements des effets posturaux associés à l'application de vibrations musculaires (cheville ou lombaires) seront réalisés chez des sujets sains placés dans différentes situations de déstabilisation. L'hypothèse de cette étude est que la spécificité de la déstabilisation permet d'optimiser le contrôle sensorimoteur de l'arrière pied.

## — MÉTHODOLOGIE —

### Sujets

Un groupe de 10 sujets sains (6 femmes, 4 hommes) a participé à l'étude sur la base d'un questionnaire d'inclusion (Âge 23.5 ans  $\pm$  3, Poids 63.4kg  $\pm$  12, Taille 172.7 cm  $\pm$  5.9). Le consentement éclairé des sujets a été obtenu, conformément à la déclaration d'Helsinki relative aux travaux de recherche menés sur les humains. Cette étude a été approuvée par le comité d'éthique de l'Université Laval (référence: 2012-278),

### Matériel

Des électrodes de surface (Thought Technology, Uni-Gel™ electrode) ont été disposées bilatéralement avec une distance inter électrodes de 2 cm au regard des ventres musculaires des muscles Peroneus Longus et Tibialis Anterior parallèlement au trajet des fibres musculaires conformément aux recommandations préconisées<sup>(13)</sup>. Les signaux ont été pré-amplifiés à la source (200x) puis enregistrés (Bortec Electronics, Calgary, AB, Canada) à une fréquence de 1200 Hz (conversion A/D 16). Les déplacements Antéro-Postérieur et Médio-Latéraux du centre des pressions (CP) ont été enregistrés au moyen d'une plateforme de force (AMTI model OR6-1, AMTI, Watertown, MA, USA) à une fréquence de 200 Hz (conversion A/D 16-bit). L'ensemble des signaux a été stocké pour analyses ultérieures (Matlab™, the Mathworks Inc, Natick, MA, USA). Afin d'assurer un contrôle des positions initiales des sujets, les coordonnées et les orientations spatiales de trois émetteurs électromagnétiques (Polhemus Liberty) disposés au regard de la crête occipital externe), du processus épineux de la 7<sup>e</sup> vertèbre cervicale et de la 4<sup>e</sup> vertèbre lombaire ont été enregistrées à 120 Hz. Les vibrations musculaires étaient induites au moyen de vibreurs composés d'une masse décentrée en rotation autour d'un axe et activée par un moteur. Ces vibreurs qui se présentent sous la forme d'un cylindre en plastique (10 cm de long et 3 cm de diamètre) produisent des oscillations mécaniques de 3 mm d'amplitude à une fréquence de 100 Hz. Ils ont été placés bilatéralement au niveau du quart distal des muscles péroniers (2 cm en arrière et au dessus de la malléole externe) ainsi qu'au niveau des muscles paraspiniaux (L1-L4, 2 cm au dessus des crêtes sacrales).

### Procédure

Pour cette étude, les sujets avaient comme tâche de se tenir debout les pieds écartés de 10 cm et les bras le long du corps. Trois conditions de support ont été utilisées. Les participants ont du maintenir leur équilibre dans une condition stable, les pieds en contact direct avec la plateforme; dans une condition instable non-spécifique, un bloc de mousse intercalé entre la sole plantaire et la plateforme et dans une condition instable spécifique, en équilibre sur la plateforme équipés d'une orthèse de déstabilisation d'arrière pied. Ce dispositif (Myolux Medik II, Cevres Santé, Savoie Technolac, FRANCE) permet une stabilisation de l'avant pied tout en déstabilisant l'arrière pied au tour de l'axe physiologique de l'articulation sous talienne<sup>(14,15)</sup>. Cette tâche d'équilibre bipodal a été réalisée en présence, ou non, de vibrations musculaires (25 sec) appliquées au niveau des péroniers latéraux ou des muscles paraspiniaux. La séquence de passage se compose de 18 essais réalisés dans les différentes conditions de surface et de vibration.

### Analyses des données

Une fois filtrées (filter passe-bas Butterworth de 4<sup>e</sup> ordre, Fréquence de coupure 8 Hz), les oscillations posturales ont été calculées pour chacun des essais. Conformément aux travaux de Brumagne, la part de contrôle proprioceptif attribuée à la cheville est estimée en comparant, pour chaque surface d'appui, l'effet relatif des vibrations sur la surface de déplacement du centre des pressions (Brumagne et al. 2008). L'indice de prévalence proprioceptif de la cheville (IPPCHEVILLE) peut être décrit dans ces termes :

$$IPPCHEVILLE = (CPVIB_{CHEVILLE} - CP_{CTRL}) / [(CPVIB_{DOS} - CP_{CTRL}) + (CPVIB_{CHEVILLE} - CP_{CTRL})]$$

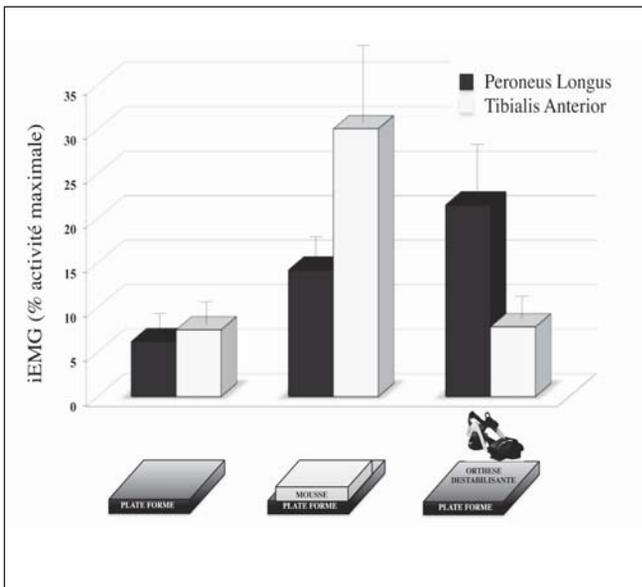
Avec (CP<sub>CTRL</sub>), (CPVIB<sub>CHEVILLE</sub>) et (CPVIB<sub>DOS</sub>) qui représentent respectivement la surface de déplacement du Centre des Pressions au cours d'un maintien de l'équilibre sans vibration, avec une vibration appliquée au niveau des muscles péroniers et enfin avec une vibration appliquée au niveau des muscles paraspiniaux. L'indice de pondération varie entre 0 (pas d'utilisation des informations proprioceptives de la cheville) à 1. Les signaux électromyographiques ont été rectifiés puis lissés (fenêtre glissante centre de 25 points). Les niveaux d'activité électrique des muscles Peroneus longus et Tibialis Anterior ont été intégrés au cours des périodes d'équilibre puis exprimés en pourcentage d'activité maximale.

### Analyses statistiques

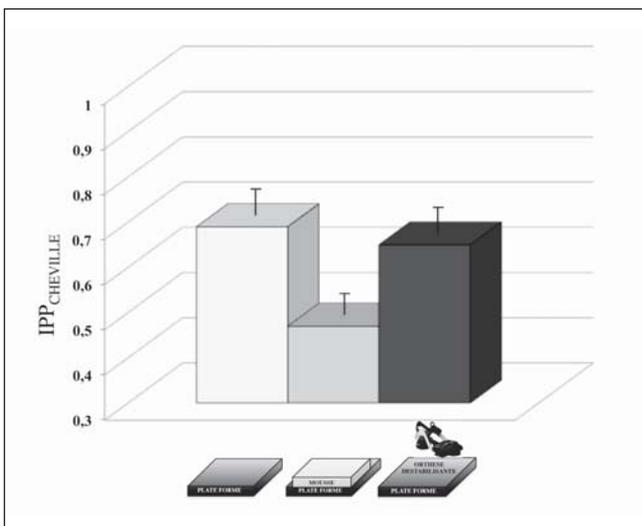
Une fois la normalité des données vérifiée au moyen du test Shapiro-Wilk, les données posturales et électromyographiques ont été soumises à une analyse de la variance (ANOVA) de type 3 conditions de SUPPORT (Stable vs. Instable Non Spécifique vs. Instable Spécifique) X 3 conditions de VIBRATION (VIBNO vs. VIBCHEVILLE vs. VIBDOS) avec mesures répétées sur l'ensemble des données. Des tests post-hoc (comparaisons planifiées) ont été réalisées lorsque nécessaire. Le seuil de significativité a été fixé à P<.05.

## RÉSULTATS

L'Analyse de variance fait apparaître un effet significatif de la surface de support sur l'indice de prévalence proprioceptive de la cheville ( $F(2,18) = 17,88, P < .001$ ). Comme illustré dans la [figure 1](#), les analyses Post-hoc révèlent que le support instable non spécifique est associé aux plus faibles indices de prévalence proprioceptive de la cheville comparativement au support stable et du support instable spécifique (0,47 vs. 0,66 and 0,67).



Pour les deux muscles étudiés, les résultats de l'analyse statistique mettent en évidence l'existence d'un effet principal de la surface de support ( $F(2,18) = 13,1$  et  $6,02, P < .0001$  et  $.05$  pour l'IEMG du Peroneus Longus et du Tibialis Antérieur, respectivement). L'activité électrique du Peroneus Longus est maximale en condition de support instable spécifique, tandis que la condition de support instable non spécifique est associée à une activité dominante du Tibialis Antérieur ([figure 2](#)).



» » Figure 2

## DISCUSSION

Ce travail avait comme objectif de vérifier que la prévalence des informations proprioceptives originaires de la cheville dépend de la spécificité de l'outil de déstabilisation utilisé. Les résultats issus des paramètres posturaux mettent clairement en évidence que, contrairement à un support Instable non-spécifique, l'Instabilité Spécifique générée par l'orthèse s'accompagne d'un maintien du niveau de recours aux informations proprioceptives de la cheville pour le contrôle de la posture. Ces résultats qui s'inscrivent dans la continuité de ceux obtenus par Ivanenko et collaborateurs démontrent que des déstabilisations de l'arrière pied <sup>(12)</sup> réalisées autour d'un axe de mobilité fonctionnelle permettent d'optimiser l'utilisation des signaux proprioceptifs musculaire originaires de la cheville. La reproduction de la dynamique du mouvement d'entorse latérale de cheville (inversion) autorisé par l'orthèse de déstabilisation rendrait la réponse afférente proprioceptive plus pertinente et prioritaire vis à vis du SNC. Cette spécificité de réponse repose également sur le fait que l'avant pied dispose d'une base de maintien stable tandis que l'arrière pied est spécifiquement déstabilisé par l'articulateur. Contrairement aux supports instables tels que les plateaux ou les supports mousse l'ancrage métatarsien autorise la dissociation de l'avant et de l'arrière pied, ce qui permet de générer des forces de compression au sol afin de réguler l'équilibre postural. A la lumière de ces résultats il semble que les supports de déstabilisation spécifiques représentent, du point de vue biomécanique et proprioceptif, une manière efficace de cibler le travail proprioceptif de l'articulation de la cheville. Au delà de la considération sensorielle (i.e. proprioceptive) des résultats obtenus, l'analyse des activités électromyographiques des muscles Peroneus Longus et Tibialis Antérieur permet de constater que l'instabilité spécifique s'accompagne également d'une activation ciblée des muscles éverseurs, principaux muscles stabilisateurs de l'arrière pied.

Les données obtenues confirment l'hypothèse générale d'un effet de la spécificité de la surface instable sur l'utilisation des informations proprioceptives de la cheville. Ce travail permet de démontrer qu'il est possible de créer des conditions de déstabilisation capables d'augmenter sélectivement le travail des muscles éverseurs de la cheville tout en maintenant le recours prédominant du SNC aux signaux proprioceptifs de la cheville. Ces résultats démontrent que le lien entre exercices de déstabilisation et renforcement proprioceptif n'est pas aussi clair qu'initialement prévu par Freeman et al. (1965). Un axe de déstabilisation spécifique inspirée de l'anatomie de l'arrière pied associé à des possibilités d'ancrage métatarsien permettant de générer des forces de compression au sol semblent être des conditions optimales pour le renforcement de la boucle sensori-motrice de la cheville. Ces résultats soulignent qu'un travail d'éducation et de formation est nécessaire afin de construire des modalités de travail en accord avec la réalité neurophysiologique.

## CONTACT

Auteur correspondant : Nicolas FORESTIER  
(e-mail: nicolas.forestier@univ-savoie.fr)

## BIBLIOGRAPHIE

1. HAS (2000) [http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/entorse\\_rap.pdf](http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/entorse_rap.pdf)
2. Rozzi SL, Lephart SM, Sterner R, Kuligowski L: Balance training for persons with functionally unstable ankles. J Orthop Sports Phys Ther 1999;29:478-86
3. Freeman MAR, Dean MRE, Haman IWF: The etiology and prevention of functional instability of the foot. J Bone Joint Surg 1965;47:678-85
4. Chinn L, Dicharry J, Hertel J: Ankle kinematics of individuals with chronic ankle instability while walking and jogging on a treadmill in shoes. Phys Ther Sport 2013;12:114-
5. Yeung MS, Chang KM, So CH, Yuan WY: An epidemiological survey on ankle sprain. Br J Sports Me 1994;28:112-116
6. Denegar CR, Miller SJ: Can chronic ankle instability be prevented? Rethinking management of lateral ankle sprains. J Athletic Train 2002;37:430-435
7. Webster KA, Gribble PA: Functional rehabilitation interventions for chronic ankle instability: a systematic review. J Sport Rehab 2010;19:98-114
8. Postle, K., Pak, D., & Smith TO. (2012). Effectiveness of proprioceptive exercises for ankle ligament injury in adults: A systematic literature and meta-analysis. Manual Therapy, 17, 285-291.
9. Roll, J. P., Vedel, J. P., & Roll, R: Eye, head and skeletal muscle spindle feedback in the elaboration of body references. Progress in Brain Research 1989;80,113-123; discussion 57-60
10. Brumagne, S., Janssen, L., Knapen, S., Claeys, K., & Suuden-Johannson, E. (2008). Persons with recurrent low back pain exhibit a rigid postural control strategy. European Spine Journal, 17, 1177-1184.
11. Kiers, H., Brumagne, S., Dieën, JV., van der Wees, P., & Vanhees, L. (2012). Ankle proprioception is not targeted by exercises on an unstable surface. European Journal of Applied Physiology, 112, 1577-1585.
12. Ivanenko YP, Solopova IA, Levik YS: The direction of postural instability affects postural reactions to ankle muscle vibration in humans. Neurosci Lett 2000;292:103-6
13. Hermens HJ, Freriks B, Merletti R et al. : European recommendations for surface electromyography (SENIAM). SENIAM guidelines. Roessingh Research and Development 1999
14. Forestier N, Toschi, P: The effect of an ankle destabilization device on muscular activity while walking. Int J Sport Med;2005;25:1-7
15. Forestier N, Terrier R: Peroneal reaction time measurement in unipodal stance for two different destabilization axes. Clin. Biomech 2011;26:766-771



**Notre passion –  
votre mouvement.**

[www.physioswiss.ch](http://www.physioswiss.ch)



**Médical + Esthétique**

À votre service depuis plus de 15 ans

Maîtrise fédérale en électronique

Délais d'intervention **express**

95% des réparations faites **sur site**

Aucun intermédiaire

Réparation **multimarque**

Réfection de ski

Vente de **tables** et **appareils physio**

Soutra – 076 / 363 35 70 – [info@soutra.ch](mailto:info@soutra.ch)

*Bon de réduction*  
**50.- CHF**

remise sur l'achat d'une table  
ou sur une réparation.

\*non cumulable