



Biofeedback : nouvelle méthode pour la prévention des amputations chez les patients diabétiques

Rev Med Suisse 2014; 10: 82-6

Z. Pataky
L. Allet
A. Golay

Drs Zoltan Pataky et Lara Allet
Pr Alain Golay
Service d'enseignement thérapeutique
pour maladies chroniques
Centre collaborateur de l'OMS
Département de médecine
communautaire, de premier recours
et des urgences
HUG, 1211 Genève 14
zoltan.pataky@hcuge.ch
lara.allet@hcuge.ch
alain.golay@hcuge.ch

Biofeedback: a new method for the prevention of amputations in patients with diabetes

Lower limb amputations in patients with diabetes are still a huge public health problem. Despite of our knowledge and advanced technical tools, the incidence of amputations and they relapses remain very high and unacceptable. A key role in primary and secondary prevention of amputations is the foot off-loading. We dispose different off-loading devices and techniques which are efficient on short term. However, knowledge about its long term efficacy is missing. In this article, we review different methods of foot off-loading. We also describe a new method for diabetic foot off-loading based on the biofeedback technique we recently developed.

Les amputations des membres inférieurs chez des patients diabétiques représentent toujours un problème majeur de santé publique. Malgré nos connaissances et une technique avancée, les taux d'amputations et de leurs récurrences restent trop élevés et inacceptables. Un des paramètres jouant un rôle-clé dans la prévention primaire et secondaire des amputations est la décharge du pied. Plusieurs modalités de décharges existent aujourd'hui, qui sont très efficaces sur le court terme, mais l'efficacité sur le long terme est insuffisante. Dans cet article, nous faisons la revue de différentes méthodes de décharge du pied diabétique ainsi que la description d'une nouvelle méthode de rééducation par le biofeedback que nous avons récemment mise au point.

UNE DIMINUTION DES AMPUTATIONS EST POSSIBLE AUJOURD'HUI

Le diabète représente un problème majeur de santé publique. Il s'agit d'une maladie qui se répand d'une manière épidémique et engendre des coûts importants. Les complications du diabète au niveau des pieds contribuent largement à son impact non seulement sur le plan économique, mais surtout sur celui de la qualité de vie des patients. Sans présenter des chiffres et des détails, une seule constatation peut être suffisante pour illustrer la gravité du problème: *une amputation toutes les 30 secondes est effectuée chez les patients diabétiques quelque part dans le monde.*¹

Les stratégies de prise en charge du pied diabétique ont considérablement évolué et ont été significativement améliorées ces dernières années. Cependant, et malgré les nouvelles techniques diagnostiques et thérapeutiques que nous avons à disposition, ainsi que des énormes progrès des soins médicaux et chirurgicaux, l'incidence des amputations reste trop élevée. Nous sommes en face d'un décalage entre nos connaissances très pointues associées à une haute technologie d'un côté et de l'autre, le devenir de nos patients. Cependant, une réduction importante du taux d'amputations chez les patients diabétiques est possible. Les études ont démontré² une diminution de 85% de l'incidence de l'amputation. La question persistant est la suivante: *Comment le faire?*

Cet article de revue s'intéresse à la problématique de décharge du pied diabétique, qui reste l'élément-clé de la prévention de l'amputation. Une nouvelle technique de prise en charge de ces patients, basée sur le biofeedback, est décrite.

PHYSIOPATHOLOGIE D'UN ULCÈRE PLANTAIRE (figure 1)

Dans la grande majorité des cas, un ulcère est la conséquence d'une polyneuropathie diabétique. Cette dernière résulte de l'atteinte combinée des nerfs sensitivomoteurs périphériques et des fibres du système nerveux autonome. Par conséquence, la diminution ou la perte de la sensibilité à la douleur entraîne une mauvaise perception des microtraumatismes locaux. L'intensité, mais surtout

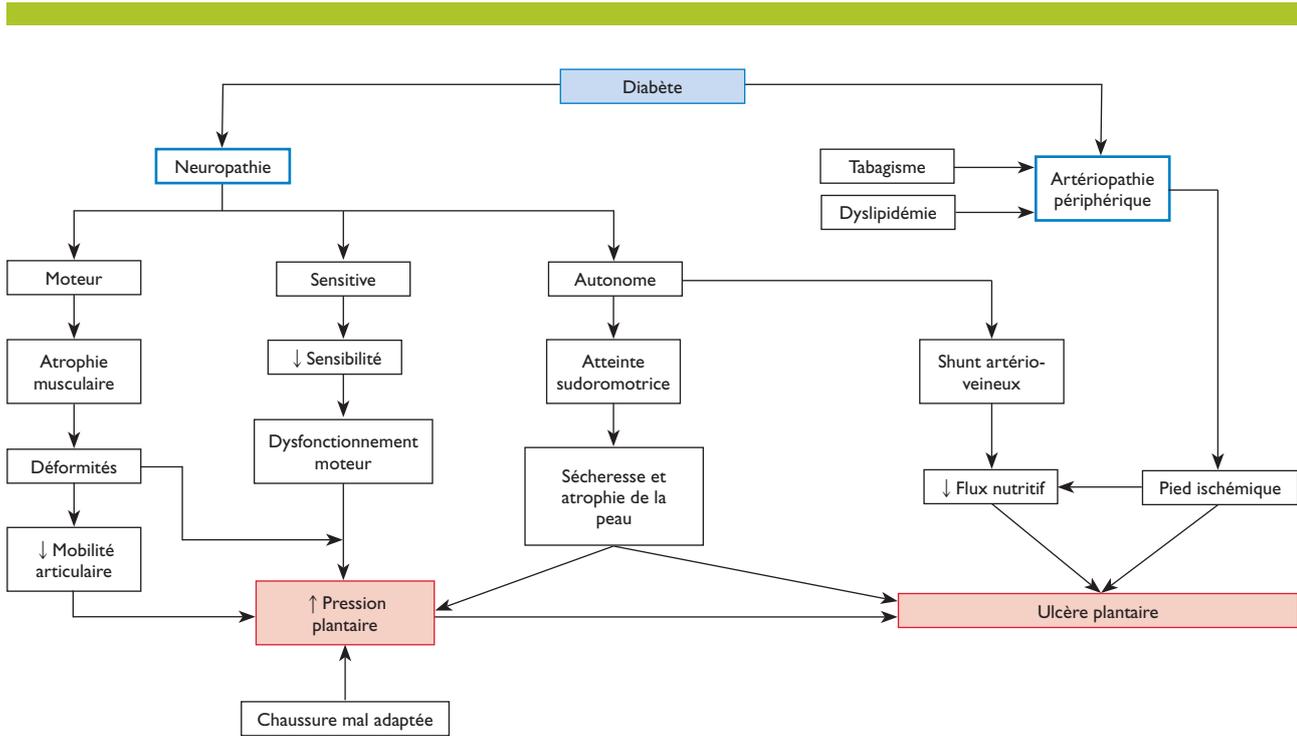


Figure 1. Physiopathologie d'un ulcère plantaire chez le patient diabétique

la répétition de ces microtraumatismes, aboutissent à la constitution d'un ulcère et mal perforant plantaire. La présence de zones de haute pression locale sous la plante du pied, une autre conséquence de la polyneuropathie, semble être le facteur le plus important dans le développement de ce type d'ulcère au pied. Chez les patients diabétiques, 94% des ulcères plantaires se développent dans les zones à forte pression d'appui.³

LA DÉCHARGE DU PIED DIABÉTIQUE EST LA CLÉ DU TRAITEMENT

L'expérience quotidienne démontre que la mise en décharge qui supprime ou diminue l'hyperpression sur les plaies est l'une des conditions essentielles de leur cicatrisation.⁴ Plusieurs modalités pratiques de la mise en décharge sont actuellement à disposition.

Le plâtre fixe de décharge (*total contact cast*) est considéré comme le *gold standard* de la décharge du pied diabétique.⁴ Comparé aux contrôles, ce plâtre peut réduire la pression plantaire (PP) jusqu'à 87%.^{5,6} Cependant, une différence existe entre cette médecine basée sur des preuves et la pratique clinique actuelle. La proportion de patients auxquels le plâtre est prescrit par le médecin est extrêmement basse, variant de 2 à 35%.⁷⁻⁹ Du côté du patient, le plâtre est souvent perçu comme difficile à supporter en permanence. En plus, il contribue à une diminution des activités de la vie quotidienne.

Les bottes plâtrées et les chaussures de décharge de l'avant-pied peuvent réduire la PP de 44 à 64%.^{6,10} Diverses autres options de chaussures thérapeutiques (par exemple, avec semelles basculantes, semelles sur mesure) offrent

une réduction de la PP au niveau de l'avant-pied de 16 à 52%.^{11,12} Cependant, selon certaines études, les chaussures de type basculant pourraient avoir un effet déstabilisateur sur l'équilibre à la marche, même chez les personnes en bonne santé.¹³ Cet inconvénient potentiel est particulièrement important dans la population des diabétiques, dont le risque de chutes est plus élevé.¹⁴

La réduction de la PP est probablement l'intervention la plus importante mais aussi la plus problématique dans le soin des ulcères du pied.¹⁵ Après la guérison, de nombreux patients diabétiques récidivent, souvent aux mêmes endroits de leurs pieds. Pour répondre à ces questions, les patients diabétiques atteints de neuropathie périphérique ont besoin de développer des changements durables dans leurs habitudes de marche afin d'éviter le développement des zones à haute pression plantaire.

LE BIOFEEDBACK POUR UNE MODIFICATION DE LA MARCHÉ

Plusieurs études ont abordé la question de la modification du schéma de marche de l'humain.^{16,17} Les méthodes basées sur le biofeedback permettent à un sujet d'initier de nouvelles stratégies de marche en utilisant l'information visuelle ou sonore.¹⁸ Chez les patients ayant subi un accident vasculaire cérébral ou une amputation d'un membre inférieur, le biofeedback a été utilisé pour la réhabilitation dans le but de réduire l'asymétrie de la marche.^{19,20} Récemment, un système de feedback sensoriel a été développé.²¹ Avec ce dispositif, le biofeedback visuel, sonore ou vibratoire est généré sur une plate-forme Android d'un téléphone portable. Les résultats préliminaires²¹ suggèrent que

ce dispositif peut influencer la démarche de l'utilisateur. A noter que seuls les sujets contrôles ont été évalués dans cette étude.

Walker et coll. ont évalué la capacité des patients diabétiques à apprendre l'utilisation d'un dispositif de biofeedback pendant la marche.²² Dans cette étude cas-témoins, 30 patients diabétiques avec une neuropathie et des antécédents d'ulcère du pied ont été évalués. Le biofeedback sonore a été fourni au patient par l'intermédiaire d'un écouteur adapté lorsque le temps de contact de surface atteignait 80% du niveau de référence. Les auteurs ont conclu que les personnes diabétiques arrivaient à modifier leur façon de marcher.²² Cependant, aucune étude de confirmation utilisant cette technique n'a été réalisée depuis.

LE BIOFEEDBACK POUR LA DÉCHARGE DU PIED

Peu de littératures existent dans le domaine de l'utilisation du biofeedback pour la décharge du pied diabétique. Chez les sujets sains, plusieurs techniques basées sur le biofeedback ont été proposées pour réduire les PP. Le biofeedback audiovisuel a été décrit chez un volontaire sain.²³ Un signal sonore prévenait l'utilisateur quand la pression plantaire était potentiellement nocive et le sujet recevait un signal visuel correspondant à la valeur de sa PP. Ce sujet était capable de modifier son schéma de marche à l'aide du biofeedback.

Une autre étude a démontré l'applicabilité d'une décharge partielle à l'aide d'un appareil de biofeedback.²⁴ Huit sujets sains ont subi des tests dans lesquels les signaux auditifs et visuels les ont informés de l'excès de la PP. Sur les huit sujets, cinq ont modifié de manière significative leurs habitudes de marche pour réduire la pression plantaire de 5%.²⁴ Cependant, comme dans l'étude citée précédemment,²³ seuls les sujets non diabétiques ont été évalués.²⁴ Plus récemment, les modifications de la marche avec une réduction de PP allant jusqu'à 20% ont été démontrées chez un volontaire sain grâce à un appareil de biofeedback baropodométrique.²⁵

Mueller et coll.²⁶ ont montré, chez sept patients, une diminution significative des PP de 27% au niveau de l'avant-pied par un réapprentissage à la marche en sollicitant la mobilisation de la hanche par rapport à une marche normale (sollicitation au niveau de la cheville). Les effets à long terme de cette rééducation à la marche n'ont pas été documentés.

York et coll.²⁷ ont utilisé, pour les patients diabétiques, la même technique que l'étude de Mueller précédemment citée.²⁶ Cependant, dans cette étude, les auteurs n'ont pas observé une réduction de la PP. Après chaque essai, le groupe avec le biofeedback a reçu une information visuelle concernant la PP. Les auteurs ont conclu que les personnes souffrant de neuropathie diabétique périphérique n'ont pas pu apprendre une nouvelle stratégie de marche visant à réduire les PP à long terme (une semaine).²⁷

A notre connaissance, chez des patients diabétiques atteints de neuropathie périphérique, aucune étude n'a évalué l'effet du biofeedback sur la décharge du pied à risque proprement dit. Changer la façon de marcher, sur-

tout à long terme, pourrait être un défi, en particulier pour les patients souffrant de neuropathie périphérique.

BIOFEEDBACK VISUEL

Nous avons développé une nouvelle technique de biofeedback pour les patients diabétiques atteints de neuropathie, dans le but d'évaluer si ces patients sont capables d'apprendre une nouvelle stratégie de marche, malgré l'insensibilité de leurs pieds.

Notre nouveau protocole de rééducation à la marche utilise l'éducation des patients couplée au système Pedar (Novel GmbH, Munich, Allemagne), l'un des systèmes les plus couramment utilisés pour mesurer la PP à l'aide des semelles incorporées dans la chaussure.

PROCÉDURE DE RÉÉDUCATION

Le soignant explique d'abord le fonctionnement du système de mesure de PP (Pedar) et le retour d'information au patient par le biofeedback (représentation graphique de la pression plantaire sur un écran d'ordinateur (figure 2)). Avant de commencer la rééducation, chaque patient subit une phase préalable d'apprentissage pour comprendre l'information fournie par le biofeedback. Les patients sont invités à marcher le plus naturellement possible avec des semelles Pedar installées dans leurs chaussures. Au cours de cette première phase, les patients reçoivent des informations concernant leur PP lors des dix derniers pas ainsi que la cible de la PP à atteindre. Cette dernière est visible au patient sur l'écran de l'ordinateur et est représentée par deux lignes rouges horizontales (figure 3). Les valeurs maximales des PP doivent se situer dans cette zone cible.

Les patients sont ensuite invités à essayer une nouvelle stratégie de marche, sans aucune aide ou suggestion de soignant, tout en marchant le plus naturellement possible et jusqu'à ce que la PP se situe dans la zone cible.

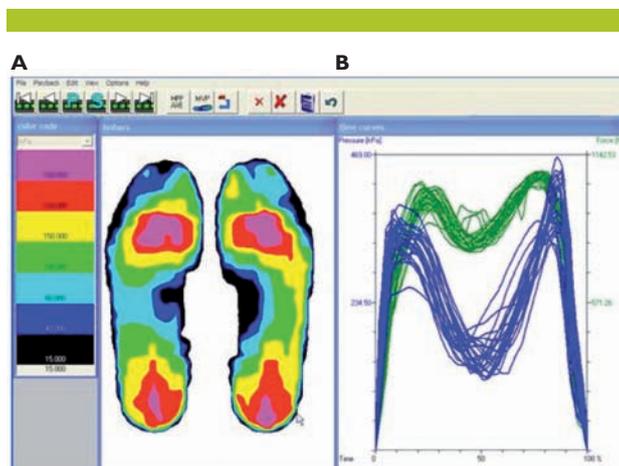


Figure 2. La forme de l'information visuelle est modifiable pour chaque patient

A. Les zones d'hyperpression sont visualisées en rouge et en violet.
B. Evolution de la pression plantaire lors d'un pas à l'endroit à risque du pied. La courbe bleue correspond à la pression plantaire et la courbe verte à la force lors d'un pas à un endroit à risque.

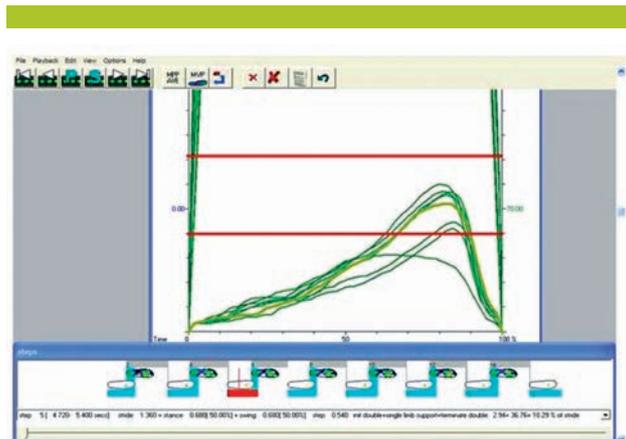


Figure 3. Exemple de biofeedback visuel pendant la marche

Le patient doit s'exercer à diminuer sa pression plantaire afin que celle-ci soit entre les deux lignes rouges.

Nous avons montré, dans nos études, que cette technique de rééducation à la marche peut être efficace chez des patients diabétiques.^{16,28} Nous avons pu démontrer que l'apprentissage par le biofeedback visuel modifie la répartition des pressions plantaires sous la plante des pieds en diminuant la pression sous la zone à risque sans augmenter significativement la PP sous d'autres endroits des deux pieds.

A notre connaissance, c'est une première tentative pour démontrer que les patients atteints d'une neuropathie diabétique sont en mesure de décharger la zone à risque du pied par biofeedback sans développer des nouveaux endroits à risque de leurs deux pieds. La technique de biofeedback, telle que nous l'avons développée et testée, pourrait être un outil complémentaire aux dispositifs de décharge existants pour le traitement et la prévention des ulcères du pied diabétique sur le long terme.

CONCLUSION

Les méthodes basées sur le biofeedback ont prouvé leur efficacité dans différents domaines de médecine. Nous avons développé un protocole de rééducation par biofeedback qui combine la technologie moderne avec une approche individualisée et basée sur l'éducation du patient. Avec cette nouvelle technique, les patients atteints de diabète sont capables de changer leurs habitudes de marche avec une réduction de la PP au niveau des zones à risque de pied. Cette rééducation est possible, même en présence d'une neuropathie périphérique des membres inférieurs. Pour la première fois, nous avons pu démontrer que la neuropathie n'est pas un obstacle au changement des habitudes de marche présentes depuis l'enfance, même quand la sensibilité aux pieds est fortement réduite ou totalement absente.

Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêts en relation avec cet article.

Implications pratiques

- > Ce que l'on savait déjà
 - L'augmentation de la pression plantaire, accompagnée d'une diminution ou d'une perte de la sensibilité à la douleur, est la principale cause des maux perforants plantaires chez les patients diabétiques avec une polyneuropathie des membres inférieurs
 - La décharge du pied diabétique est l'élément-clé pour la cicatrisation d'un ulcère et pour la prévention des amputations
- > Ce que cela apporte de nouveau
 - La neuropathie diabétique n'est pas un obstacle pour l'apprentissage d'une nouvelle technique de marche, même chez les diabétiques avec une perte totale de la sensibilité
 - La méthode du biofeedback que nous avons développée pour décharger le pied diabétique est novatrice et pourrait être un outil efficace pour une diminution des amputations des membres inférieurs

Bibliographie

- 1 IDF. International Diabetes Federation. «Facts and figures: Did you know?» Available at: www.idf.org, 2012.
- 2 Assal JP, Albeanu A, Peter-Riesch B, Vaucher J. Cost of training a diabetes mellitus patient. Effects on the prevention of amputation. *Diabetes Metab* 1993;19:491-5.
- 3 Boulton AJ, Franks CI, Betts RP, Duckworth T, Ward JD. Reduction of abnormal foot pressures in diabetic neuropathy using a new polymer insole material. *Diabetes Care* 1984;7:42-6.
- 4 Armstrong DG, Lavery LA, Nixon BP, Boulton AJ. It's not what you put on, but what you take off: Techniques for debriding and off-loading the diabetic foot wound. *Clin Infect Dis* 2004;39(Suppl. 2):S92-9.
- 5 Fleischli JG, Lavery LA, Vela SA, Ashry H, Lavery DC. 1997 William J. Stickle Bronze Award. Comparison of strategies for reducing pressure at the site of neuropathic ulcers. *J Am Podiatr Med Assoc* 1997;87:466-72.
- 6 Beuker BJ, van Deursen RW, Price P, et al. Plantar pressure in off-loading devices used in diabetic ulcer treatment. *Wound Repair Regen* 2005;13:537-42.
- 7 * Wu SC, Jensen JL, Weber AK, Robinson DE, Armstrong DG. Use of pressure offloading devices in diabetic foot ulcers: Do we practice what we preach? *Diabetes Care* 2008;31:2118-9.
- 8 Fife CE, Carter MJ, Walker D. Why is it so hard to do the right thing in wound care? *Wound Repair Regen* 2010;18:154-8.
- 9 Prompers L, Huijberts M, Apelqvist J, et al. Delivery of care to diabetic patients with foot ulcers in daily practice: Results of the Eurodiab Study, a prospective cohort study. *Diabet Med* 2008;25:700-7.
- 10 Bus SA, van Deursen RW, Kanade RV, et al. Plantar pressure relief in the diabetic foot using forefoot offloading shoes. *Gait Posture* 2009;29:618-22.
- 11 Bus SA, Ulbrecht JS, Cavanagh PR. Pressure relief and load redistribution by custom-made insoles in diabetic patients with neuropathy and foot deformity. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2004;19:629-38.
- 12 Guldmond NA, Leffers P, Schaper NC, et al. The effects of insole configurations on forefoot plantar pressure and walking convenience in diabetic patients with neuropathic feet. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2007;22:81-7.
- 13 Albright BC, Woodhull-Smith WM. Rocker bottom soles alter the postural response to backward translation during stance. *Gait Posture* 2009;30:45-9.
- 14 Bowling FL, Reeves ND, Boulton AJ. Gait-related strategies for the prevention of plantar ulcer development in the high risk foot. *Curr Diabetes Rev* 2011;7:159-63.
- 15 Pataky Z, Vischer U. Diabetic foot disease in the elderly. *Diabetes Metab* 2007;33(Suppl. 1):S56-65.
- 16 Pataky Z, de Leon Rodriguez D, Allet L, et al. Biofeedback for foot offloading in diabetic patients with peripheral neuropathy. *Diabet Med* 2010;27:61-4.
- 17 Drerup B, Szczepaniak A, Wetz HH. Plantar pressure reduction in step-to gait: A biomechanical investigation and clinical feasibility study. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2008;23:1073-9.
- 18 Pataky Z, Faravel L, Da Silva J, Assal J. A new ambulatory foot pressure device for patients with sensory impairment. A system for continuous measurement of plantar pressure and a feed-back alarm. *J Biomech* 2000;33:1135-8.
- 19 Bamberg SJ, Benbasat AY, Scarborough DM, Krebs DE, Paradiso JA. Gait analysis using a shoe-integrated wireless sensor system. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 2008;12:413-23.



- 20** Patterson KK, Gage WH, Brooks D, Black SE, McIlroy WE. Evaluation of gait symmetry after stroke: A comparison of current methods and recommendations for standardization. *Gait Posture* 2010;31:241-6.
- 21** Redd CB, Bamberg SJ. A wireless sensory feedback system for real-time gait modification. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2011;2011:1507-10.
- 22** Walker SC, Helm PA, Lavery LA. Gait pattern alteration by functional sensory substitution in healthy subjects and in diabetic subjects with peripheral neuropathy. *Arch Phys Med Rehabil* 1997;78:853-6.
- 23** Femery VG, Moretto PG, Hespel JM, Thevenon A, Lensele G. A real-time plantar pressure feedback device for foot unloading. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85:1724-8.
- 24** Femery V, Potdevin F, Thevenon A, Moretto P. Development and test of a new plantar pressure control device for foot unloading. *Ann Readapt Med Phys* 2008;51:231-7.
- 25** Descatoire A, Thevenon A, Moretto P. Baropodometric information return device for foot unloading. *Med Eng Phys* 2009;31:607-13.
- 26** Mueller MJ, Sinacore DR, Hoogstrate S, Daly L. Hip and ankle walking strategies: Effect on peak plantar pressures and implications for neuropathic ulceration. *Arch Phys Med Rehabil* 1994;75:1196-200.
- 27** York RM, Perell-Gerson KL, Barr M, Durham J, Roper JM. Motor learning of a gait pattern to reduce forefoot plantar pressures in individuals with diabetic peripheral neuropathy. *PM R* 2009;1:434-41.
- 28** ** De Leon Rodriguez D, Allet L, Golay A, et al. Biofeedback can reduce foot pressure to a safe level and without causing new at-risk zones in patients with diabetes and peripheral neuropathy. *Diabetes Metab Res Rev* 2013;29:139-44.

* à lire

** à lire absolument