



Source: www.deviantart.com/inssanilyart/

Connaissances de base de podographie

Dr Margrit-R. Meier
PhD, MSc, CPO

Schwerpunkttag OMK, 13. September 2018
Journée thématique CMBO, 13 septembre 2018



Une demande au service de traduction simultanée:

veuillez absolument me faire signe si je parle trop vite!

Aux participant-e-s au cours:

- mon style d'enseignement est interactif.
 - N'hésitez pas à m'interrompre si vous avez des questions
 - Vos brèves remarques sont également bienvenues
 - Pour les discussions, attendre la fin de l'exposé ou la pause



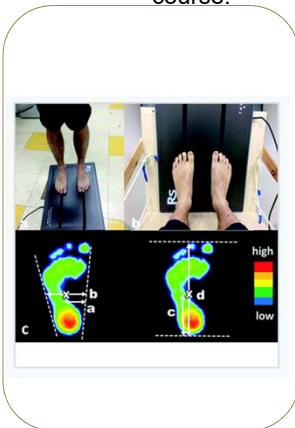
Quelle Figürchen: adaptiert nach www.haukemorrisse.de

Contenu basé sur:

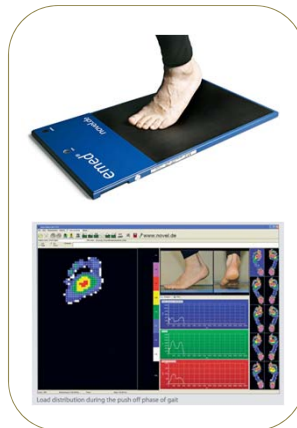
- ✓ **«Ganganalyse in der Praxis»**
Dr sc. nat. Oliver Ludwig
Chapitres 3.1. à 3.4. pages 70-86
- ✓ Complété de
 - mes propres connaissances
 - Autres exemples de la littérature scientifique

Podographie ou podobarographie, parfois aussi «pédographie» (angl.: pedography)

Définition: saisie numérique de la distribution des valeurs de pression sous-plantaire générées durant la station debout, la marche ou la course.



Source pour la station debout:
Kimura et al., J. Med. Devices 2015; 9(4)
doi:10.1115/1.4031100.



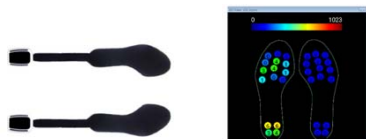
Source pour la marche et la course:
<http://novel.de/novelcontent/download-images>



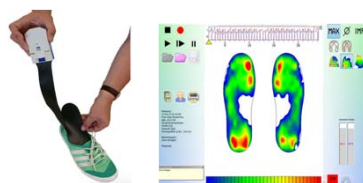
De quels instruments de mesure disposons-nous?

Systèmes de semelles

Exemples:



Tactilus © WLAN de Sensor Products Inc. (www.sensorprod.com)



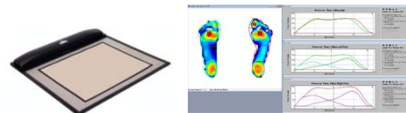
Semelle medilogic WLAN de
T&T medilogic Medizintechnik GmbH (<https://medilogic.com/>)

Systèmes de plaque ou de tapis

Exemples:



(www.zebri.de)



MatScan de Tekscan (www.tekscan.com)

Comment ça marche? – Principes de mesure (1/4)

Pression (p) = force (F) verticale, répartie sur une aire (A) donnée

Différents principes de mesure peuvent être utilisés pour mesurer la pression:

[1]

Systèmes capacitifs → Principe de mesure basé sur des condensateurs
 «capacitif» = fait référence à la capacité de charge d'un condensateur

[2]

Systèmes résistifs → Principe de mesure basé sur des résistances

[3]

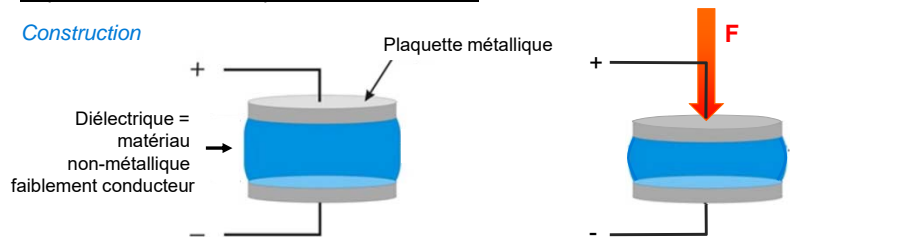
Systèmes piézoélectroniques → Principe de mesure basé sur la génération d'électricité par un matériau soumis à une pression

Comment ça marche? – Principes de mesure (2/4)

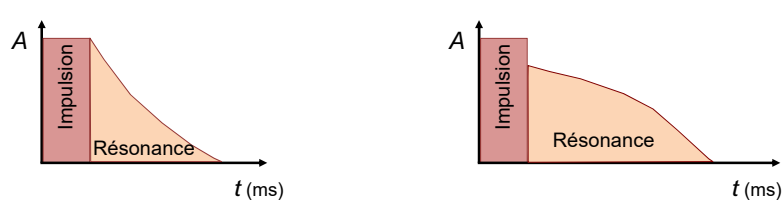
Systèmes capacitifs: Principe de mesure basé sur des condensateurs
 «capacitif» = fait référence à la capacité de charge d'un condensateur

Représentation schématique d'un condensateur:

Construction



Fonction



Comment ça marche? – Principes de mesure (3/4)

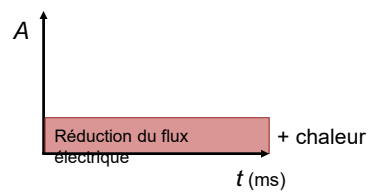
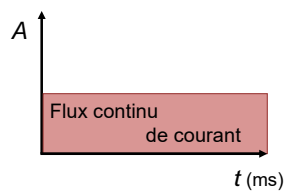
Systèmes résistifs: principe de mesure basé sur des résistances

Représentation schématique d'une méthode de mesure résistive:

Construction



Fonction

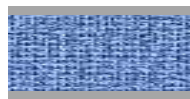


Comment ça marche? – Principes de mesure (4/4)

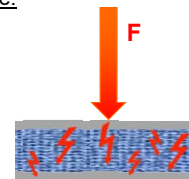
Systèmes piézoélectroniques: principe de mesure basé sur la génération d'électricité par un matériau soumis à une pression

Représentation schématique du principe de mesure piézoélectrique:

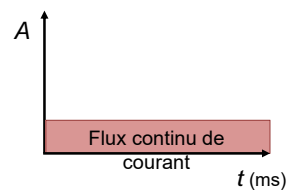
Construction



Cristal = matériau possédant une structure interne régulière et la capacité de produire de l'électricité s'il est soumis à une pression.



Fonction



Systèmes de semelles et de plaque, comparatif

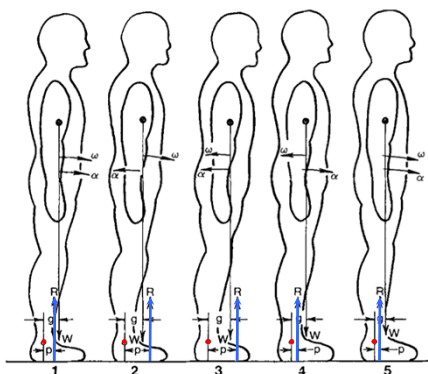


Le meilleur système est toujours celui qui couvre au mieux vos champs d'investigation et vous apporte les meilleures réponses!



Propriétés	Systèmes de semelles	Systèmes de plaque ou de tapis
mobile	✓	✓
Extérieur	✓	Sit. quotidiennes
évent.	✓	limité
Nombre de capteurs: varie selon le produit	✓	✓
dépend de la forme du pied (taille, difformité)	oui	non
Possibilité de calibrage (étalonnage)	À vérifier absolument!	
L'usage dépend des propriétés matérielles du système	oui	négligeable
Facilité d'utilisation: de l'instrument de mesure dans son ensemble	à examiner	
Convivialité: du logiciel	à examiner	

Quelle est la précision de la podographie? (1/5)

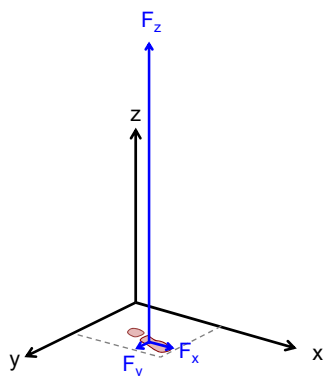


R = ici: force de réaction normale
 = composante verticale de la force de réaction du sol

Figure 1. A subject swaying back and forth while standing quietly on a force platform. Five different points in time are described, showing the centre of gravity (g) and the centre of pressure (p) locations along with the associated angular accelerations (α) and angular velocities (ω). See text for detailed description.

Winter DA. *Gait Posture* 1995;3:193-214

Quelle est la précision de la podographie? (2/5)



$$\text{Pression } (p) = \frac{\text{Force } F_z}{\text{Surface A}}$$

Attention:

les forces de cisaillement F_x et F_y ne sont **pas** prises en compte dans la formule,

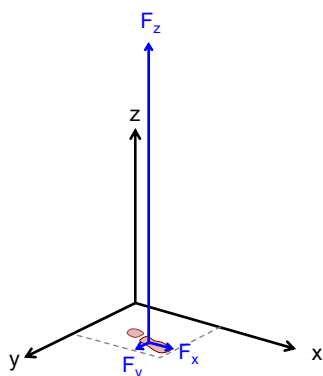
de sorte que nous sommes privés des informations sur les effets de ces forces.

➤ Cela signifie que notre tableau des conditions de pression est incomplet.

Quelle est la précision de la podographie? (3/5)



Au fait, quelle est l'intensité des forces de cisaillement F_x (médio-lat.) et F_y (antéro-post.) négligées dans la formule?



Ligne directrice générale pour la marche normale:

	≈ 81%
Forces verticales: 11 N/kg	≈ 15%
Forces A/P: 2 N/kg	≈ 4%
Forces M/L : 0,6 N/kg	

Scott-Pandorf et al., J Vasc Surg 2007; 46:491-499

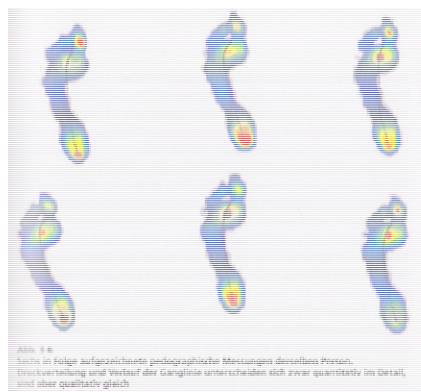
Exemple:

femme de 35 ans, pas de plainte, 65 kg:

Forces verticales:	$65 \times 11 = 715 \text{ N}$
Forces A/P:	$65 \times 2 = 130 \text{ N}$
Forces M/L :	$65 \times 0,6 = 39 \text{ N}$

Quelle est la précision de la podographie? (4/5)

Autre source d'irrégularité: la variabilité naturelle



Ludwig, O. Ganganalyse in der Praxis, 2015

Comment la contrer?

- Établir une moyenne sur plusieurs clichés
- Indiquer l'amplitude de variabilité (écart-type)
- Veiller à ce que les passages s'effectuent à la même vitesse de marche!

Quelle est la précision de la podographie? (5/5)

Autre source d'irrégularité: la variabilité naturelle

Exemple:

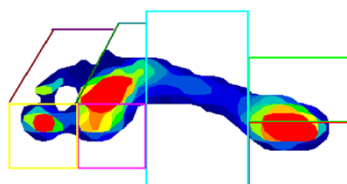


Table 2 Between-session reliability of peak pressure (kPa)

Region	Session 1 (Mean ± SD)	Mean of three trials		ICC (95% CI)	CoV (%)
		Session 2 (Mean ± SD)	Mean Difference		
Lateral heel	268.21 ± 54.78	267.68 ± 41.50	0.53	0.96 (0.92-0.98)	6.81
Medial heel	228.08 ± 60.65	225.91 ± 58.15	2.17	0.97 (0.93-0.99)	10.68
Midfoot	102.75 ± 71.17	99.22 ± 71.35	3.53	0.99 (0.96-0.99)	16.41
1MPJ	149.17 ± 43.97	147.52 ± 47.38	1.65	0.97 (0.89-0.99)	15.24
2-5MPJ	202.25 ± 66.74	203.37 ± 61.41	-1.12	0.93 (0.79-0.95)	8.50
Hallux	194.28 ± 63.38	188.39 ± 57.94	5.89	0.93 (0.83-0.96)	11.26
Lesser toes*	58.32 ± 26.30	88.06 ± 67.83	-29.74	0.67 (0.48-0.87)	29.64

* significant difference ($p < 0.05$) between session 1 and 2

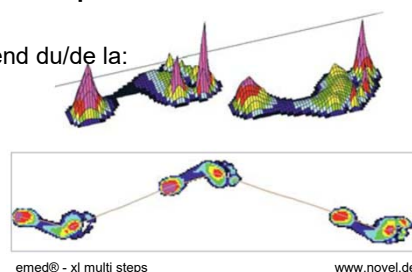
Cousins et al. *J Ankle Foot Res* 2012;5:8

A1 Interprétation (1/5)

Image globale d'une distribution des pressions pendant la marche

La pression (pas seulement la p max) dépend du/de la:

- vitesse de marche
- poids corporel
- forme du pied
- démarche individuelle
- Chaussures



Qu'est-ce qui n'est plus visible sur l'image globale?

Le temps! On ne voit plus quelle pression a été mesurée quand ni où.
On sait juste que toutes les valeurs de pression ne sont pas apparues simultanément.

...et bien sûr, on ignore quelles pressions ont été créées par les forces de cisaillement... ☺

Interprétation (2/5)

Center of Pressure (CoP) = point d'application de la force de réaction du sol (= CoP trajectory = tracé / ligne de mouvement du point CoP

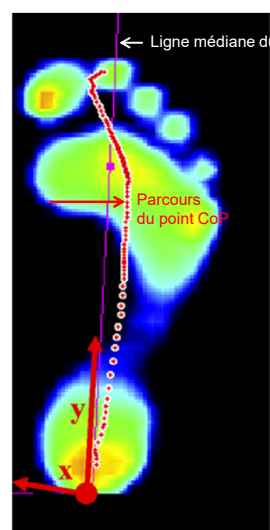
Quels termes utilise-t-on en podographie?

- Représentation horizontale du point d'application de la force de réaction du sol (composante verticale) en fonction du temps

Caractéristiques d'un tracé du point CoP d'un pied

sain:

- accumulation des différents points CoP au niveau du talon et de l'avant-pied
- Mouvement rapide au niveau de la voûte plantaire longitudinale, mis en évidence par l'écart entre les points CoP
- Tracé: légèrement arqué, prend naissance au niveau du talon puis suit la région médio-latérale du médio-pied, parcours plutôt médial au niveau de l'avant-pied et se terminant sur le gros orteil ou dans l'espace interdigital 1-2.

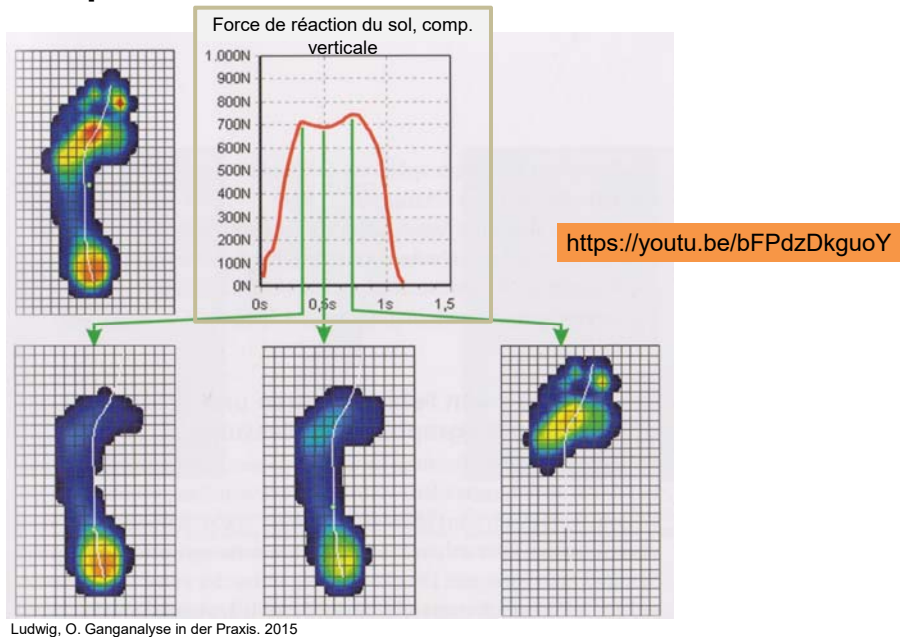


De Cock et al. *Gait Posture* 2008;27:669-675

Folie 17

- A1** Im DE korrigieren mult -> multi
Autor; 21.08.2018

Interprétation (3/5)



Interprétation (4/5)

loading rate = fréquence de mise en charge

Critère d'évaluation de l'étude:

comparaison des forces d'application du talon (*impact forces*) dans la marche pieds nus et la marche pieds chaussés a minima

Groupes examinés:

membres de l'éthnie Tarahumara au Mexique (habitué à marcher pieds nus ou chaussés a minima)

vs

citadins américains (moins habitués à la marche pieds nus ou en chaussures a minima)



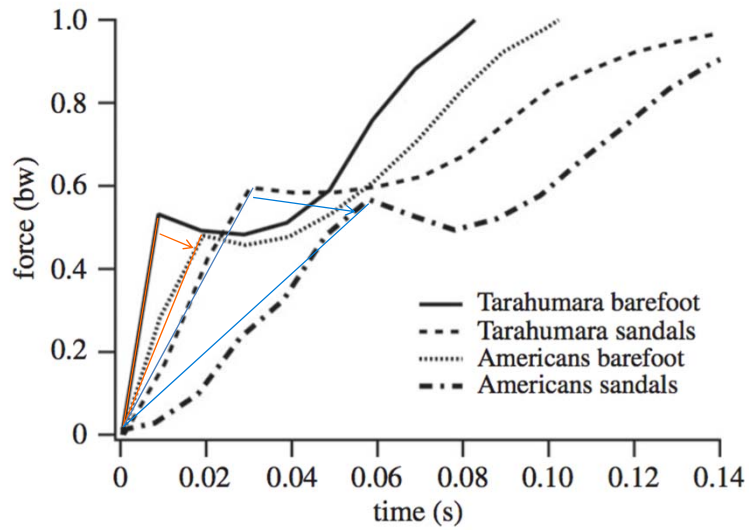
Chaussures a minima utilisées



Wallace et al. *R. Soc. open sci.* 2018;5:180044
<http://dx.doi.org/10.1098/rsos.180044>

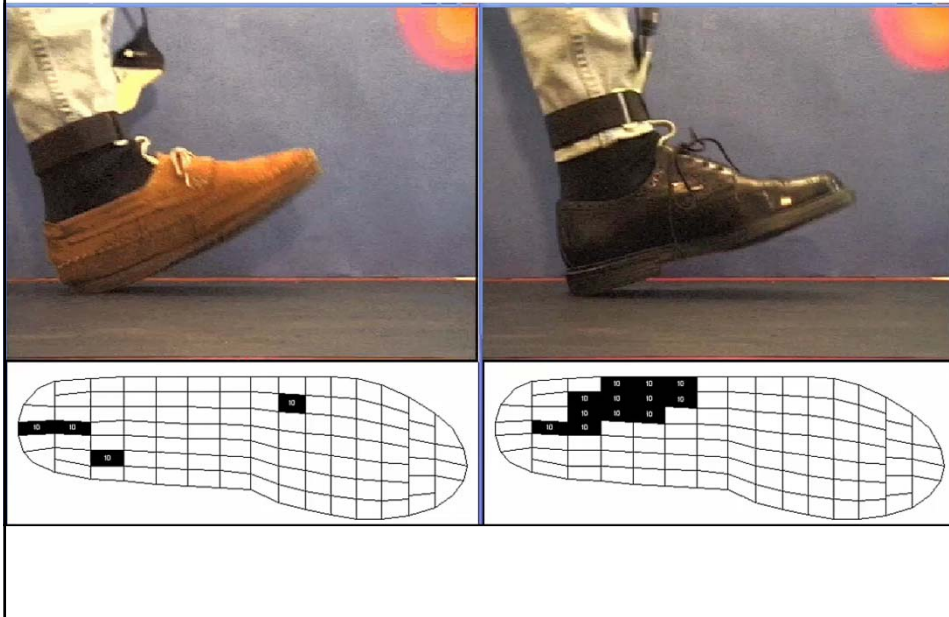
Interprétation (5/5)

Fréquence de mise en charge = *loading rate*



Wallace et al. *R. Soc. open sci.* 5: 180044.
<http://dx.doi.org/10.1098/rsos.180044>

Exemple d'application



Distribution des pressions dans le pied diabétique (1/6)

Complément au sous-chapitre 3.4.1.1, pp 80 + 81

- Un syndrome complexe et multifactoriel.
- Facteurs influençant la formation d'ulcères du pied (liste alphabétique non exhaustive)
 - Ancienneté de la maladie
 - État de perfusion des pieds
 - Poids des patients
 - Formation de callosités
 - État de stabilisation du diabète (contrôle de la glycémie, des infections, etc.)
 - Microclimat de la chaussure
 - Existence ou non d'une polyneuropathie
 - Stress répétitif
 - Changements de position des os du pied
 - Modifications de la peau plantaire (fissures, perte de tissu adipeux, etc.)
 - ...

Distribution des pressions dans le pied diabétique (2/6)

e184

Diabetes Care Volume 38, November 2015



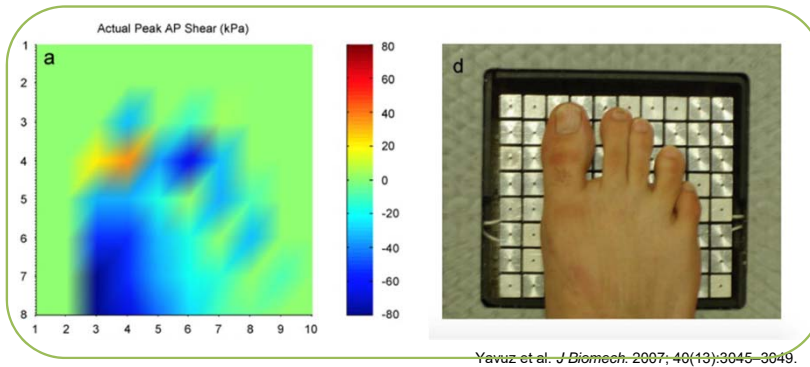
Peak Plantar Shear and Pressure and Foot Ulcer Locations: A Call to Revisit Ulceration Pathomechanics

Metin Yavuz,¹ Hiral Master,¹
Alan Garrett,^{1,2} Lawrence A. Lavery,³
and Linda S. Adams⁴

Diabetes Care 2015;38:e184–e185 | DOI: 10.2337/dc15-1596

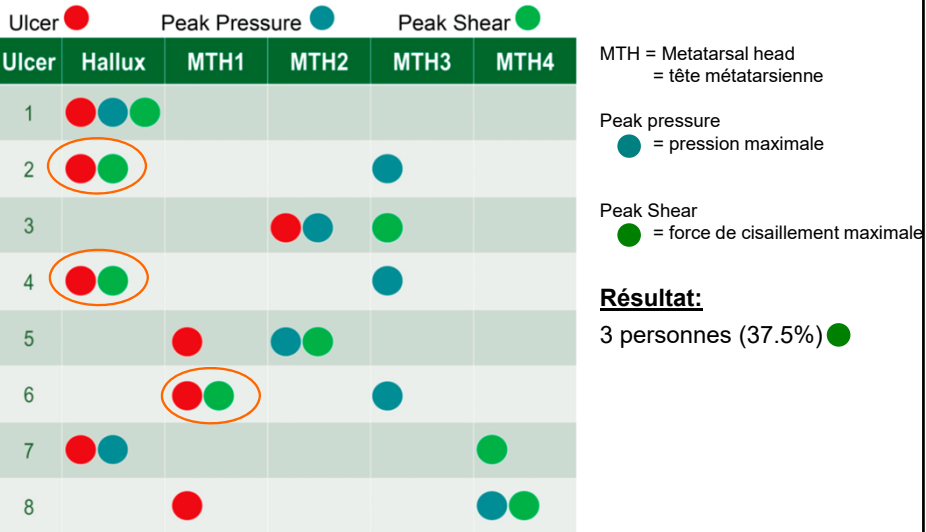
Forces de cisaillement maximales sur la plante, pression (maximale) et localisation des ulcères: appel à reconsidérer les mécanismes pathogéniques de l'ulcération.

Distribution des pressions dans le pied diabétique (3/6)



Distribution des pressions dans le pied diabétique (4/6)

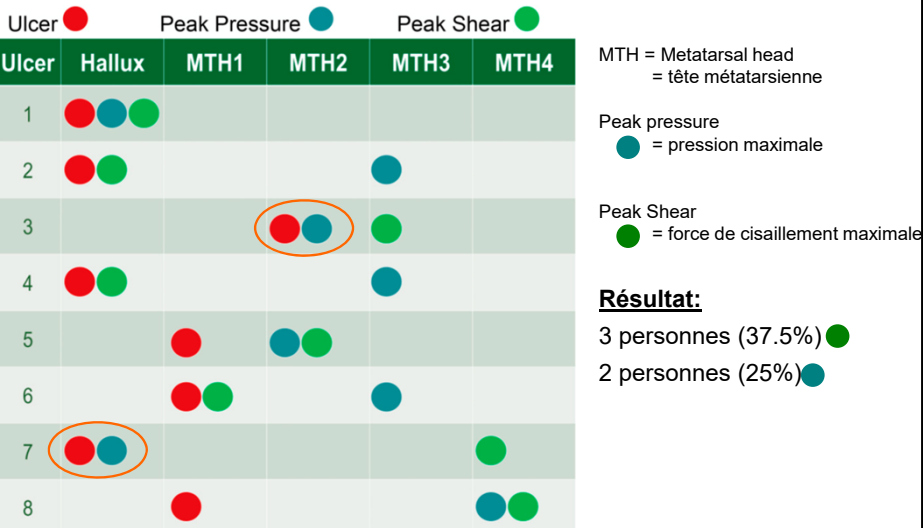
Étude sur 8 participants avec ulcère de l'avant-pied guéri depuis peu



Yavuz et al. Diabetes Care 2015;38:e184-4185

Distribution des pressions dans le pied diabétique (4/6)

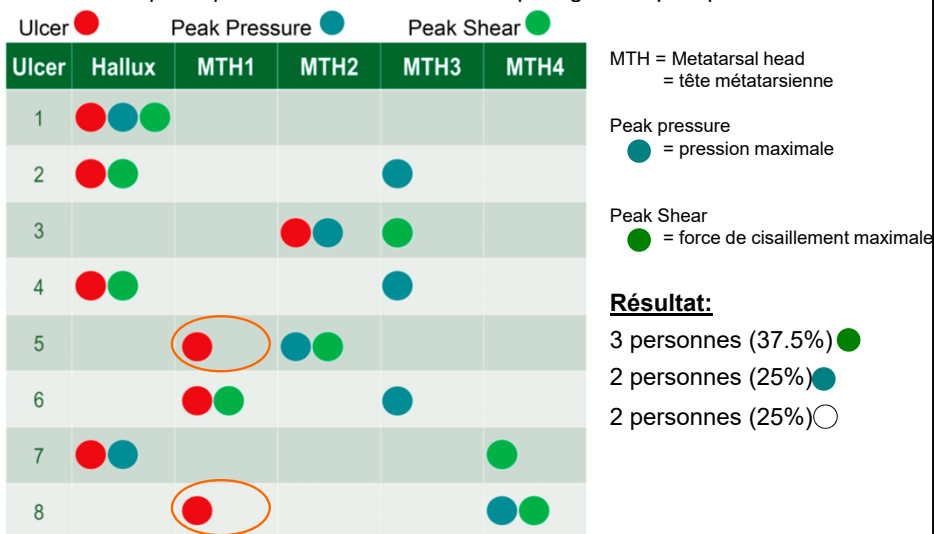
Étude sur 8 participants avec ulcère de l'avant-pied guéri depuis peu



Yavuz et al. *Diabetes Care* 2015;38:e184-4185

Distribution des pressions dans le pied diabétique (4/6)

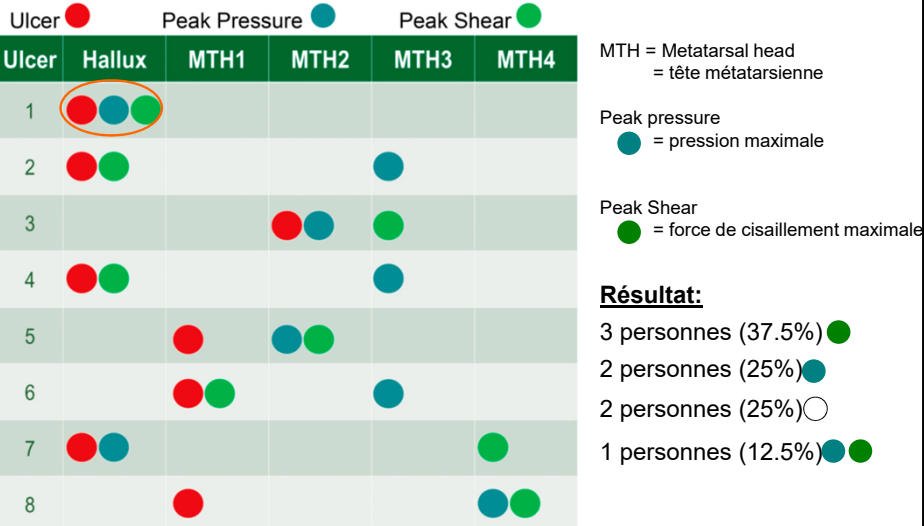
Étude sur 8 participants avec ulcère de l'avant-pied guéri depuis peu



Yavuz et al. *Diabetes Care* 2015;38:e184-4185

Distribution des pressions dans le pied diabétique (4/6)

Étude sur 8 participants avec ulcère de l'avant-pied guéri depuis peu



Yavuz et al. *Diabetes Care* 2015;38:e184-4185

Distribution des pressions dans le pied diabétique (5/6)

Signification?

En l'état actuel de la recherche

Groupe le plus grand:

ulcère sous forces de cisaillement maximales

Deuxième groupe par son effectif:

ulcère sous pression verticale maximale

OU

ulcère à des endroits **non exposés** à des maxima

Conclusions résumées des auteurs:

- Les forces de cisaillement jouent sans doute un rôle important dans la formation d'ulcères
 - Effet de fatigue (*fatigue failure*) des parties molles
 - Facteur causal dans la formation de callosités
 - Réchauffement des parties molles qui a pour effet de diminuer leur résistance
- Des ulcères localisés en des endroits différents pourraient avoir des causes distinctes

Les auteurs recommandent d'investir impérativement dans la recherche sur les forces de cisaillement, que ce soit sous la forme d'études cliniques ou en développant des instruments de mesure adéquats!

Distribution des pressions dans le pied diabétique (6/6)

Conclusion

Distribution des pressions dans le pied diabétique (6/6)

Conclusion

Étendue des valeurs de pression dans le pied diabétique

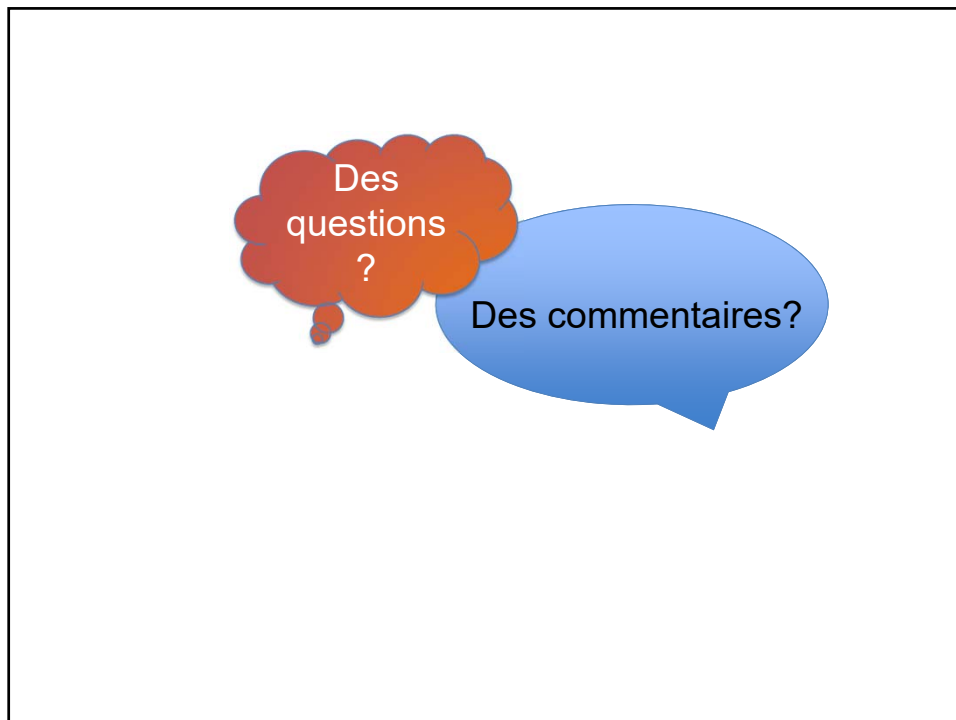
Mesure de la pression sur tout le pied	Personnes avec ulcère ancien ou existant dû au diabète	Personnes atteintes de polyneuropathie diabétique (actuellement sans ulcère)
Valeur minimale	36.7 N/cm ² (SD 8.6)	26.0 N/cm ² (SD 12.6)
Valeur maximale	149.06 N/cm ² (SD 67.7)	107.87 N/cm ² (SD 47.6)

DM = Diabetes Mellitus (diabète sucré)
SD = Standard Deviation (écart-type)

Fernando et al. *PLoS ONE* 2014;9(6):e99050
doi:10.1371/journal.pone

Il n'existe pas de recommandation valide quant aux valeurs de pression qui seraient dangereuses pour le pied diabétique!





Littérature supplémentaire consultée

- Cousins SD, Morrison SC and Drechsler WI. The reliability of plantar pressure assessment during barefoot level walking in children aged 7-11 years. *Journal of Foot and Ankle Research* 2012; 5:8.
<http://www.jfootankleres.com/content/5/1/8>
- De Cock A, Vanrenterghem J, Willems T, Witvrouw E, De Clercq D. The trajectory of the centre of pressure during barefoot running as a potential measure for foot function. *Gait & Posture* 2008; 27:669–675.
- Kimura T, Kubota M, Taguchi T, Suzuki N, Hattori A and Marumo K. Ability of a novel foot and ankle loading device to reproduce loading conditions in the standing position during computed tomography. *Journal of Medical Devices* 2015; 9(4). doi:10.1115/1.4031100.
- Scott-Pandorf MM, Stergiou N, Johanning JM, Robinson L, Lynch TG and Pipinos II. Peripheral arterial disease affects ground reaction forces during walking. *Journal of Vascular Surgery* 2007;46:491-499.
- Winter DA. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture* 1995; 3:193-214.
- Yavuz M, Botekc G and Brian L. Davis BL. Plantar shear stress distributions: Comparing actual and predicted frictional forces at the foot-ground interface. *J Biomech.* 2007 ; 40(13): 3045–3049.
- Yavuz M, Master H, Garrett A, Lavery LA and Adams LS. Peak plantar shear and pressure and foot ulcer locations: A call to revisit ulceration pathomechanics. *Diabetes Care* 2015; 38:e184-e185.