

Ministère de la Santé
Région LORRAINE
Ecole de Kinésithérapie de Nancy

INFLUENCE DE LA MOBILISATION PASSIVE DES ARTICULATIONS

PERONEO-TIBIALES, DE LA CHEVILLE ET DU PIED SUR LA

SURFACE D'APPUI DU PIED AU SOL LORS DE LA MARCHE

Rapport de travail écrit personnel
présenté par MARIE MULLER
étudiante en 3ème année de kinésithérapie
en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat
de Masseur-Kinésithérapeute
1991-1992

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION
 1. 1. Description et analyse du support physiologique
 1. 1. 1. Les articulations du pied et de la cheville
 1. 1. 2. La voûte plantaire
 1. 1. 3. La cinétique du pied
 1. 1. 4. L'assise plantaire
 1. 2. Les hypothèses d'efficacité et déductions d'application de la mobilisation passive
2. MATERIEL ET METHODE
 2. 1. Matériel
 2. 1. 1. La population
 2. 1. 2. Le matériel expérimental
 2. 2. Méthode et protocole
 2. 2. 1. Evaluation
 2. 2. 2. Traitement
3. RESULTATS
 3. 1. Présentation des résultats
 3. 2. Traitement statistique des résultats
4. DISCUSSION
5. CONCLUSION
 5. 1. Précision des indications
 5. 2. Extension éventuelle vers d'autres applications

Nous avons relevé l'empreinte plantaire de sujets sains à la marche sur une plate-forme de marche EMED.

Nous avons repris cette mesure après mobilisation passive du pied, de la cheville et des articulations péronéo-tibiales.

Notre étude porte sur vingt sept personnes, kinésithérapeutes de profession, âgés en moyenne de 25 ans.

Nous disposons donc au total de 54 pieds testés.

Il semblerait qu'il y ait une diminution de la surface d'appui au niveau de la voûte plantaire. Cette diminution existerait également au niveau de l'avant pied pour un petit nombre de pieds.

Au niveau de l'arrière-pied, la surface est identique avant et après mobilisation passive.

Les résultats sur les variations de la surface d'appui au niveau de la voûte et de l'avant-pied ne sont pas statistiquement significatifs d'après notre étude.

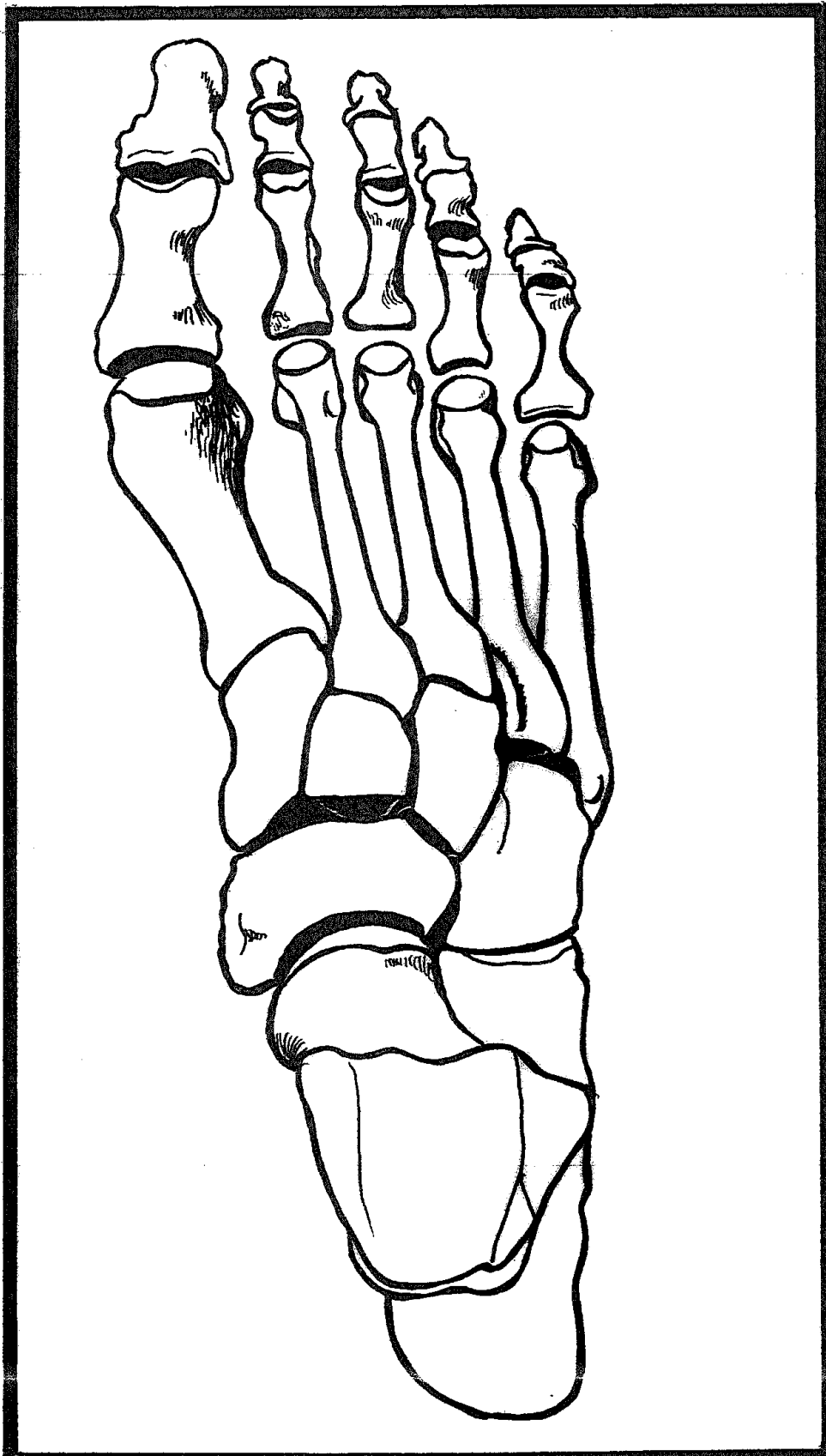


FIGURE 1 : VUE DORSALE DU SQUELETTE DU PIED (6)

1. INTRODUCTION

La présence de troubles, articulaires ou autres, au niveau de la cheville et du pied provoque une modification de la surface d'appui du pied au sol au podoscope par rapport au pied sain.

Pour palier à de telles modifications, il existe de nombreuses techniques, notamment la chaussure orthopédique. Quel complément le kinésithérapeute peut-il apporter à ces techniques ?

De quels moyens disposons-nous pour normaliser la surface d'appui du pied au sol ?

La mobilisation passive des articulations du pied et de la cheville ne serait-elle pas adaptée ?

Tentons d'objectiver par cette étude les effets de la mobilisation passive du pied, de la cheville et des articulations péronéo-tibiales sur la surface d'appui du pied au sol lors de la marche.

1. 1. Description et analyse du support physiologique

1. 1. 1. Les articulations du pied et de la cheville

Le pied est un ensemble de 26 os (fig 1). Il s'articule à la cheville par une art. (articulation).

Le tibia s'articule au péroné par deux art.

La mobilité de ces articulations est à entretenir car elle intervient lors de la flexion et de l'extension de la cheville. En effet, lors de la flexion de la cheville, la malléole externe s'écarte de l'interne, s'élève et tourne en rotation interne. Lors de l'extension, les mouvements sont inversés (fig 2 : La flexion est représentée en traits fins, l'extension en traits gras).

L'art. péronéo-tibiale supérieure est une arthrodie. Elle comporte deux ligaments, un antérieur et un postérieur. L'art. péronéo-tibiale inférieure est une amphiarthrose entourée des ligaments antérieur, postérieur et inter-osseux. (4).

L'art. tibio-tarsienne est une trochléenne entourée des ligaments latéral externe (fig 4) et latéral interne (fig 3). Ce dernier est disposé selon deux plans : un superficiel, nommé ligament deltoïdien, et un profond (fig 4). Ces ligaments assurent la coaptation passive de l'art. et sa stabilité transversale .

L'art. sous-astragalienne est composée de deux arthrodies. Le système ligamentaire principal est constitué du ligament astragalo-calcanéen inter-osseux (fig 5). Il assure la statique et la dynamique de l' art. (4) .

Selon FARABEUF , le calcaneum tangue , vire et roule sous l'astragale (4).

Cet ensemble de mouvements peut se résumer en un mouvement unique autour d'un seul axe : l'axe de HENKE. Il joint la partie supéro-interne du col de l'astragale et la tubérosité postéro-externe du calcaneum (4).

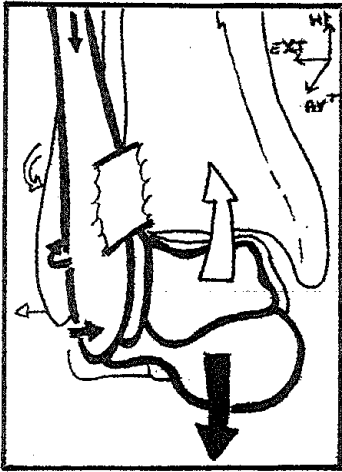


Figure 2 : Art.péronéo-tibio-astragalienne, vue antérieure (3)

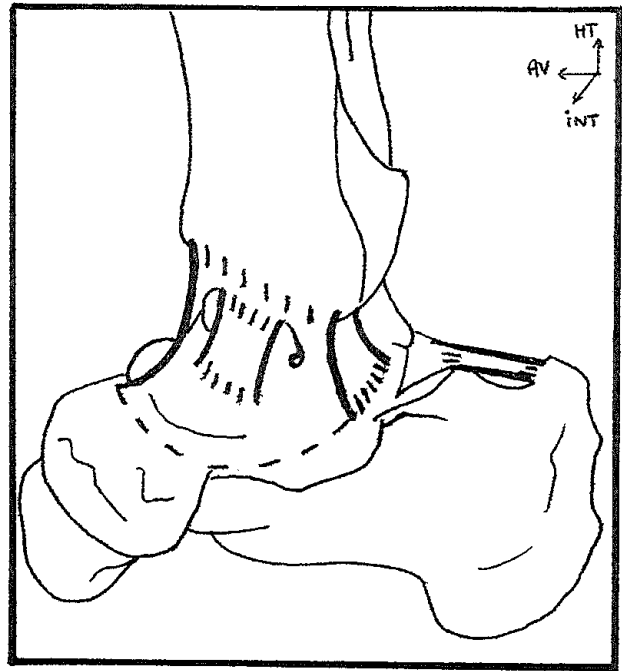


Figure 3 : Art. péronéo-tibio-astragalienne, vue interne (4)

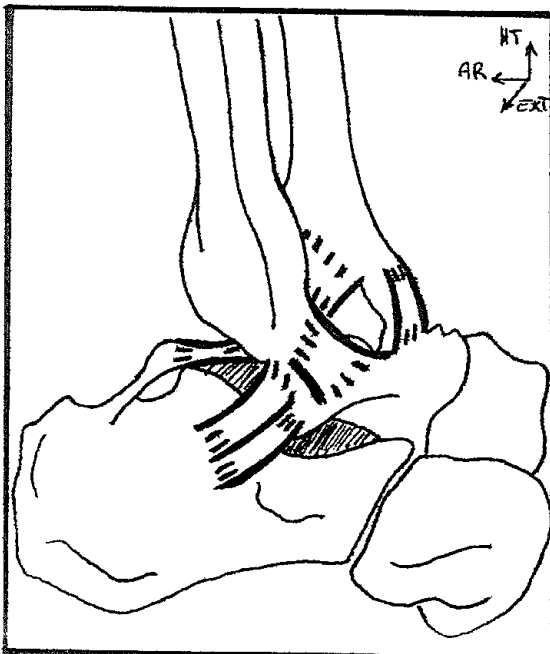


Figure 4 : art.péronéo-tibio-astragalienne, vue externe (4)

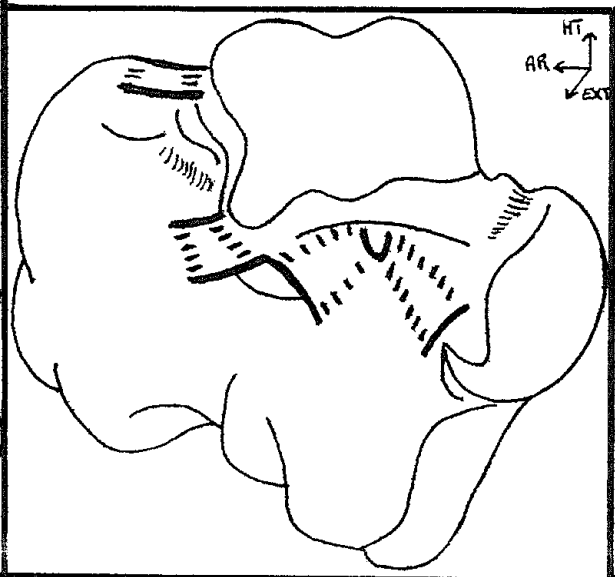


Figure 5 : Articulation sous-astragalienne, vue antéro-externe (4)

L'art. médio-tarsienne est constituée de l'interligne de CHOPART. Cet interligne a la forme d'un S italique, concave en arrière au niveau de l'interligne astragalo-scaphoïdien, une enarthrose, et concave en avant au niveau de l'interligne calcanéocuboïdien, une toroïde. Les ligaments glénoïdien, le ligament en Y de CHOPART et le ligament calcanéocuboïdien dorsal sont situés à l'art. médio-tarsienne, numérotés respectivement de 1 à 3 (fig 6). L' art. comporte d'autres ligaments.

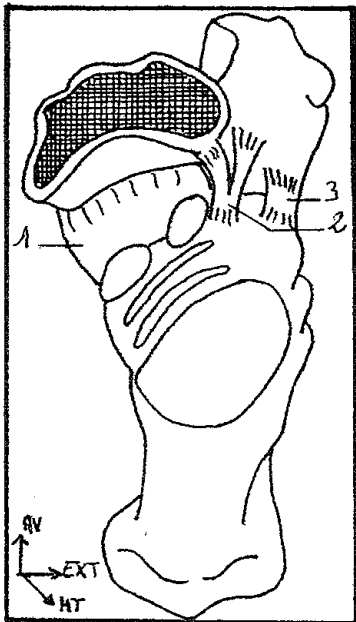


Figure 6 : vue supérieure de l'art. médio-tarsienne, le scaphoïde a été désarticulé de l'astragale et sectionné en son milieu (4)

Les art. scapho-cunéennes sont trois arthrodies entourées de ligaments dorsaux et plantaires (3).

L'art. scapho-cuboïdienne est une syndesmose maintenue par les ligaments plantaire, dorsal et inter-osseux (3).

L'art. tarso-métatarsienne forme l'interligne de Lisfranc. Les trois cunéiformes s'articulent avec les quatre premiers métatarsiens, le cuboïde avec les quatrième et cinquième métatarsiens. Ces arthrodies sont maintenues par de puissants ligaments dont les ligaments dorsaux, plantaires et inter-osseux et le ligament de Lisfranc inséré

à la face externe du premier cunéiforme et à la face interne de la base du deuxième métatarsien (4).

Les art. inter-métatarsiennes sont des arthroïdes, renforcées par les ligaments inter-métatarsiens dorsal et plantaire .

Les art. métatarso-phalangiennes sont des condyliennes, renforcées par les ligaments interne et externe (3).

Les art. inter-phalangiennes sont des trochléennes, renforcées par les ligaments interne et externe (3).

1. 1. 2. La voûte plantaire

Elle est composée de trois arches (4) : l'arche interne, externe et antérieure (fig 7).

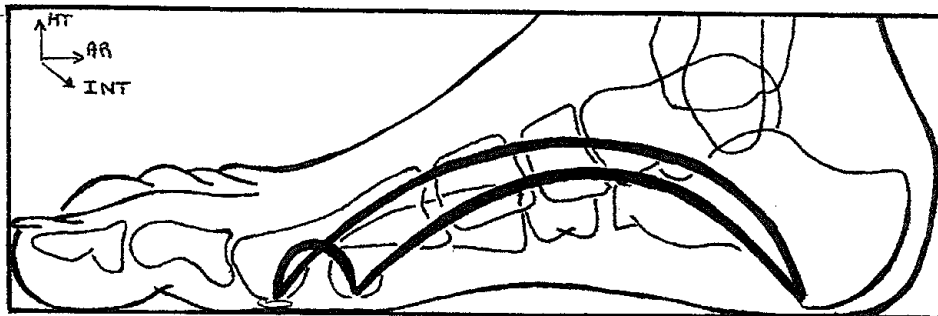


figure 7 : le pied, vue interne (4)

L'arche interne repose au sol par deux points d'appui : les tubérosités postérieures du calcaneum et la tête du premier métatarsien. L'arche est composée du premier métatarsien, du premier cunéiforme, du scaphoïde, de l'astragale et du calcaneum. Sa clé de voûte est le scaphoïde (4). L'arche a la caractéristique d'être souple grâce à la mobilité de

l'astragale sur le calcaneum et doit sa concavité à certains muscles et ligaments (4).

L'arche externe repose au sol par deux points d'appui: les tubérosités postérieures du calcaneum et la tête du cinquième métatarsien. Sa clé de voûte est la grande apophyse du calcaneum. Elle est proche du sol par rapport à celle de l'arche interne. Le ligament calcanéo-cuboïdien plantaire et certains muscles rendent cette arche rigide afin de transmettre l'impulsion motrice du triceps à la marche (4).

L'arche antérieure repose au sol par la tête du premier métatarsien et par celle du cinquième métatarsien. Composée de la tête des cinq métatarsiens, elle repose au sol sur des parties molles, soutenue par le ligament inter-métatarsien et par un des faisceaux du muscle abducteur du premier métatarsien. Elle n'existe plus lors de la mise en charge du pied (4).

1. 1. 3. La cinétique du pied

Lors du déroulement du pied au sol à la marche, le centre de gravité du corps est transféré du bord postéro-externe du pied à son bord antéro-interne (fig 8) (1).

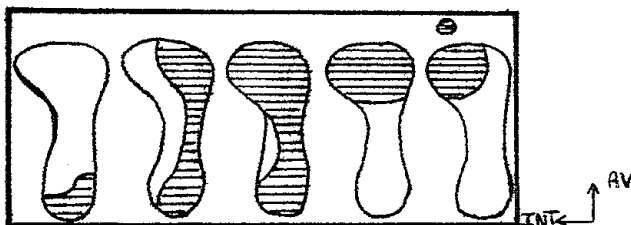


Figure 8 : surfaces d'appui du pied au sol à la marche (1)

Tandis que le pas se déroule, l'appui se transfère du bord postéro-externe du talon à la pulpe du gros orteil.

Ceci met en évidence l'existence d'un axe de torsion, l'axe de HENKE, divisant le pied en deux : le pied astragalien avec l'astragale, le scaphoïde, les cunéiformes et les trois premiers métatarsien, et le pied calcaneun (fig 9) (1).

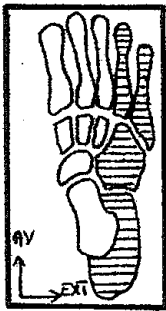


Figure 9 : Pied calcaneun
et astragalien (1)

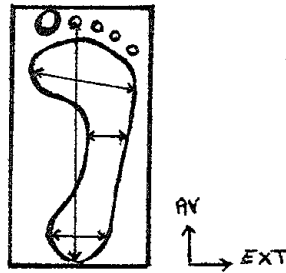


Figure 10 : empreinte plantaire (1)

1. 1. 4. L'assise plantaire

Elle est constituée de cinq éléments (fig 10) :

- une bande antérieure transversale métatarsienne
- un appui talonnier postérieur ovalaire
- un isthme dont la largeur est le tiers de celle de la bande antérieure
- l'empreinte des orteils
- l'alignement selon l'axe statique, passant par le second orteil

1. 2. Hypothèses d'efficacité et déductions d'application de la mobilisation passive

Nos mouvements les plus courants, comme ceux de la marche, ne nécessitent pas un balayage articulaire complet. Nos articulations ne sont pas sollicitées dans tout leur secteur angulaire. La mobilisation passive permet de reprendre conscience de l'existence de ce secteur et d'éviter qu'il ne s'enraidisse. Une mobilisation passive poussée au bout des amplitudes est préférable.

On associera, si nécessaire, des mouvements de glissement et de roulement au balayage articulaire (2). Une art., composée d'une surface concave et d'une surface convexe, est soumise à certains glissements et roulements d'une surface articulaire sur l'autre lors de sa mobilisation (2).

Une art. sollicitée en compression sera mobilisée en décompression.

Il existe entre les os et les muscles, entre les muscles et leurs aponévroses, de nombreux plans de glissement. La mobilisation passive, répétée plusieurs fois dans chaque degré d'amplitude articulaire, permet de les entretenir ou de les libérer les uns des autres.

Déclenchant une sécrétion de synovie (2), elle entretient les plans de glissement des surfaces articulaires .

Elle entretient le balayage de la capsule articulaire par les ligaments (2).

Elle stimule Les récepteurs musculaires et ostéo-

articulaires. On dose cette stimulation en mobilisant les art. une à une.

La mise en confiance du sujet, son installation confortable, des prises mobilisatrices fermes mais non agressives permettront d'obtenir une bonne détente musculaire et donc un gain d'amplitude articulaire.

Certains pieds creux sont dus à une contracture musculaire ou à une rétraction de l'aponévrose plantaire. La mobilisation passive semble être appropriée au traitement de ces pieds creux.

2. MATERIEL ET METHODE

2. 1. Matériel

2. 1. 1. la population

Nous avons fait cette étude sur une population de 27 personnes. Elles n'ont jamais eu d'entorse de cheville, ni de fracture. La mobilité articulaire du pied et de la cheville est bonne. Il n'y a aucun trouble de la marche ni de trouble de l'équilibre ou de la statique.

2. 1. 2. Le matériel expérimental

Les mesures ont été faites sur une plate-forme de marche EMED. Le matériel comprend un logiciel (fig 11) et la plate-forme elle-même (fig 12) .

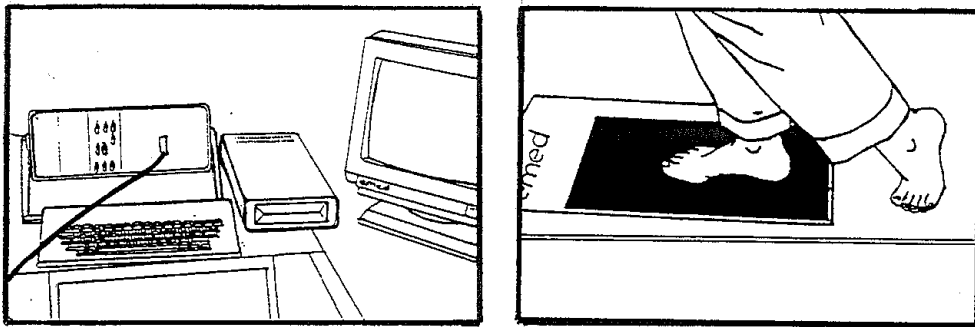


Figure 11 : Le logiciel Figure 12 : La plate-forme
 La plate-forme comporte six capteurs par centimètre carré. Ils sont sensibles au Newton près. La plate-forme mesure 48.5 cm de long et 27 cm de large.

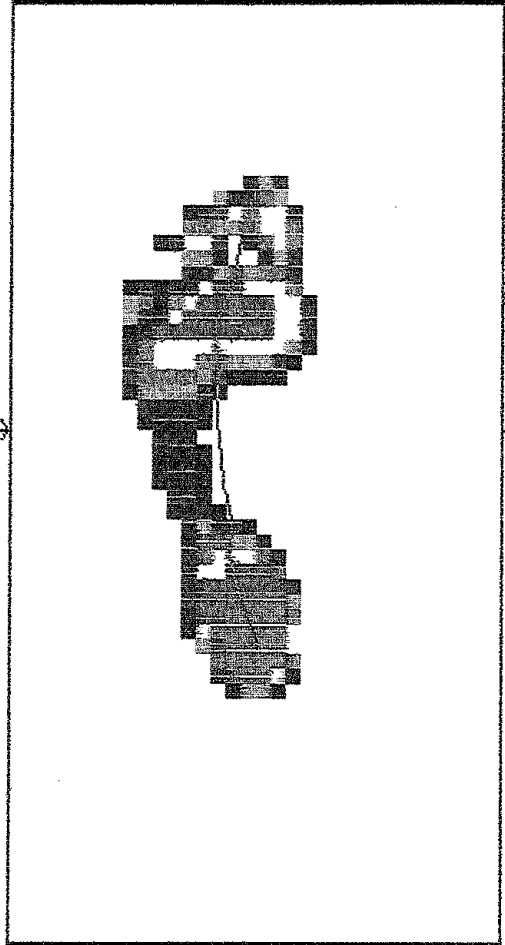
Une fois l'empreinte prise, il s'affiche sur l'écran une image du type de celle qui figure page suivante.

Nous pouvons lire sur la moitié gauche de l'écran la valeur de la pression de la totalité du pied imprimée sous forme de pic maximal de pression que nous nommerons MPP, exprimé en Newton par centimètre carré. La pression est visualisée par un dégradé de couleur

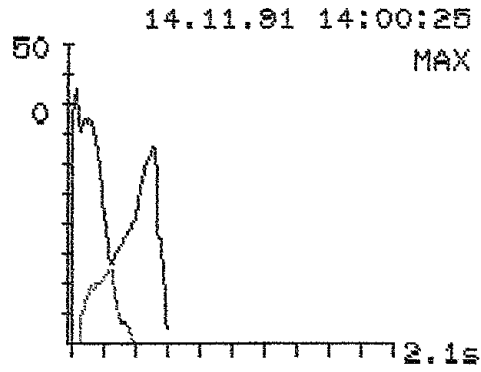
Sur la moitié droite de l'écran, nous pouvons lire trois types de courbe, toutes exprimées en fonction du déroulement du pas en seconde.

La courbe du dessus représente la pression totale du pied au sol à chaque image c'est-à-dire toutes les soixante dixième

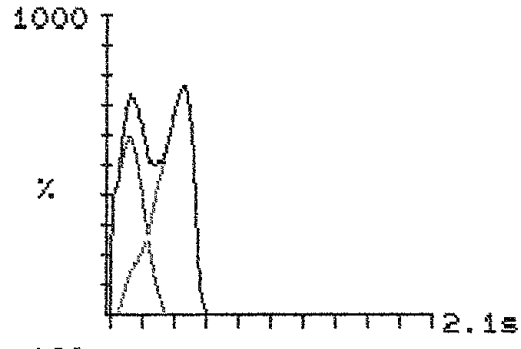
1> 3> 6>10 >22>30 N/cm²



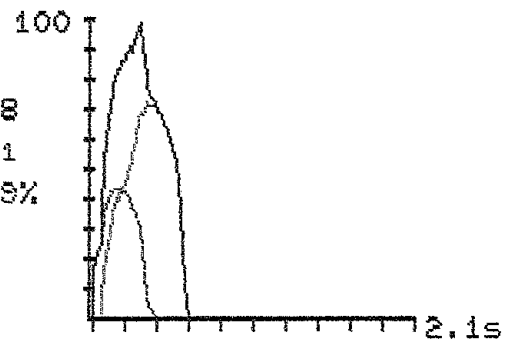
FAST
[D R S I T C]
HARDCOPY SMALL
Time [ms]
Pmax [N/cm²]



Force [N]



Area [cm²]
77 51
61% 39%



emed-system novel gmbh

de secondes. Le premier pic de pression de la courbe indique la pression maximum en Newton par centimètre carré du talon lors du déroulement du pas. Le second pic de pression indique la pression maximum de l'avant-pied lors du déroulement du pas.

La courbe située sous la précédente représente la force totale d'appui du pied au sol en Newton à chaque image.

La courbe du bas indique la surface totale d'appui du pied au sol en centimètre carré toutes les soixante dixièmes de secondes.

Un curseur situé sur la moitié gauche de l'écran permet de diviser le pied en deux parties. Nous pouvons analyser chaque partie et étudier sa courbe figurée en rouge ou en vert sur la moitié droite de l'écran.

Le logiciel peut fonctionner en mode continu, nommé : "on" ou en discontinu, nommé : "mode fast". Il enregistre soixante dix images par seconde, disposant au total de cent cinquante images.

Nous n'utiliserons ce logiciel que sur ce mode.

Une fois les mesures prises sur la plate-forme et enregistrées sur disquette, elles sont transmises à un ordinateur comportant deux disques durs d'une capacité totale de 70 MB(Megabytes).

Un logiciel nous permettra de poser différents " masks" c'est-à-dire de diviser le pied en zones. Chaque mask correspond à une zone. Nous avons formé trois masks.

Le premier mask couvre le talon soit environ 25% de la surface plantaire. Nous le nommons M1.

Le second mask, M2, est constitué de 25% de la surface

plantaire du pied localisée après le talon et correspond approximativement à la voûte du pied.

Le dernier mask, nommé M3, couvre tout le reste du pied, soit 50% environ de l'empreinte plantaire. Il correspond à l'avant pied.

Le pourcentage de chacun de ces masks a été choisi de façon arbitraire.

Ce logiciel peut faire une analyse statistique sur un groupe allant jusqu'à 250 pieds. Nous n'analyserons qu'un groupe de 54 pieds.

Il fait une synthèse de leur surface, de leur force et de leur pression en MPP et calcule la moyenne et l'écart type de l'ensemble des mesures prises.

2. 2. Méthode et protocole

2. 2. 1. Evaluation

Elle se fait au quatrième pas posé sur la plate-forme de marche.

Le sujet démarre sa marche à une distance de quatre de ses pas, ayant ainsi son rythme propre avant de poser le pied sur la plate-forme, puis poursuit sa marche de quelques pas après avoir marché sur la plate-forme afin de ne pas ralentir sa marche lors de la mesure. Chaque sujet passera sur la plate-forme du pied droit, puis du pied gauche.

Nous effectuerons une deuxième mesure sur chaque pied au quatrième pas après mobilisation passive.

2. 2. 2. Le traitement

Ayant pris connaissance des antécédents du sujet, nous vérifions l'intégrité de la peau et l'harmonie de la marche.

Le sujet est installé confortablement, soit en décubitus dorsal, soit en position assise sur une table.

La mobilisation passive est précédée d'un repérage articulaire précis.

L'art. péronéo-tibiale supérieure est sous l'interligne articulaire du genou fléchi à 90°, à son bord externe.

L'art. péronéo-tibiale inférieure est palpable au bord antérieur de la malléole péronière.

L'art. tibio-astragalienne se palpe à la face antérieure de l'épiphyse distale du tibia et la sous-astragalienne au sinus du tarse.

L'art. astragalo-scaphoïdienne se palpe en arrière de la tubérosité du scaphoïde .

En avant de cette art., en suivant l'arche interne, on sent l'art. entre le scaphoïde et le premier cunéiforme.

Toujours dans le prolongement de l'arche, on sent l'art. entre le premier cunéiforme et le premier métatarsien.

En suivant le corps du premier métatarsien, on arrive à l'art. inter-phalangienne du gros orteil.

A la face postérieure de la tête du premier métatarsien, on sent les sésamoïdes.

Pour repérer les art. inter-phalangiennes distales et proximales et les art. métatarso-phalangiennes de chaque rayon, on procédera de même.

En arrière de la tubérosité du cinquième métatarsien, on palpe l'art. entre le métatarsien et le cuboïde.

En remontant l'arche externe, on palpe l'art. calcanéocuboïdienne.

L'art. scaphoïdo-cuboïdienne est repérée à l'intersection de deux droites : la première est tracée au troisième espace inter-métatarsien, la seconde est perpendiculaire à la première et passe par le tubercule du cinquième métatarsien. Sous cette art. se palpe l'art. entre le cuboïde et le troisième cunéiforme.

Les art. des têtes métatarsiennes entre elles se palpent au fond des espaces inter-métatarsiens.

Les art. des cunéiformes entre eux sont difficilement palpables.

On palpe les art. des métatarsiens avec les cunéiformes à l'épiphyse proximale des métatarsiens.

La mobilisation de ces art. répond à certains principes (7).

Le sujet est installé genou fléchi à 90° pour mobiliser la cheville et l'arrière-pied, cheville à 90° pour mobiliser des art. de la voûte et de l'avant-pied.

Il faudra mobiliser art. par art., sans en interposer d'autre entre les prises du kinésithérapeute (7).

La prise, mobilisant l'os distal et la contre-prise, immobilisant l'os proximal, sont placées le plus près

possible des surfaces articulaires.

La mobilisation sera lente pour obtenir un effet décontracturant et non un effet excito-moteur.

Elle se fait en quatre temps pour chaque axe articulaire :

Le premier temps consiste à mobiliser lentement l'os distal dans un des deux sens de l'axe du mouvement.

Au second temps on maintient cette position une à deux secondes.

Au troisième temps on mobilise lentement l'os distal dans l'autre sens du mouvement.

Au quatrième temps on maintient cette position quelques secondes.

Chaque mobilisation sera faite arbitrairement dix fois par art. dans les deux sens de chaque axe articulaire.

Nous ne décrivons ici qu'une mobilisation, les autres seront faites de façon identique.

On mobilise l'art. sous-astragaliennne en abduction-adduction, hanche et genou fléchis. Le membre inférieur du sujet repose sur la cuisse du thérapeute qui est assis sur la table au niveau du genou du sujet (fig 13). Le thérapeute, par une prise en bracelet, entoure les faces latérales et antérieur du calcaneum de ses deux mains et le tracte dans l'axe du segment jambier en mobilisant.

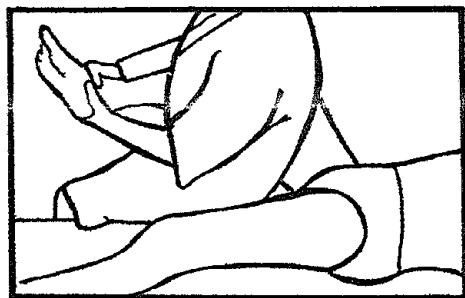


Figure 13 : Mobilisation de l'articulation sous-astraliennne

3. RESULTATS

3. 1. Présentation des résultats

Le logiciel a établi une étude statistique des MPP en fonction de la pression, de la force et de la surface pour les trois zones du pied nommées M1, M2, M3. Il a déterminé l'écart-type et la moyenne des mesures pour chacune des trois grandeurs (tableau I en annexe).

3. 2. Traitement statistique des résultats

Ce traitement se fait par le test "t" de STUDENT FISCHER basé sur une table (tableau II en annexe).

Celle-ci, pour une certaine valeur de t, en fonction du nombre de pieds testés, nous donne la probabilité α . Elle représente la probabilité de l'exactitude des résultats. La valeur de d.d.l, pour notre étude, est l'infini selon cette table. Nous calculerons la valeur de t selon une formule établie pour une population appariée supérieure à 30 cas (fig 1 en annexe).

Nous nommons t1 la valeur calculée pour l'arrière-pied, t2 la valeur calculée pour la voûte et t3 celle pour l'avant-pied.

$$t_1 = 0$$

$$t_2 = 1.708 \text{ soit } 1.645 < t_2 < 1.960$$

$$t_3 = 0.54 \text{ soit } 0.126 < t_3 < 0.674$$

Les valeurs de t nous indique les valeurs de α :

$$\alpha_1 = 1$$

$$0.05 < \alpha_2 < 0.1$$

$$0.5 < \alpha_3 < 0.9$$

Nous calculerons "l'erreur-standard" (fig 2 en annexe) afin de savoir si la population testée est homogène ou non.

4. DISCUSSION

La valeur de l'erreur-standard nous confirme que la population testée est homogène et peut servir de base à notre étude.

La moyenne des mesures de la surface au niveau de l'arrière-pied est la même lors de la première et de la seconde mesure. Nous n'avons pas pu objectiver d'effet de la mobilisation passive sur la surface d'appui de l'arrière-pied au sol.

La moyenne des mesures de la surface diminue de deux unités au niveau de la voûte et d'une seule unité au niveau de l'avant-pied. Si α_2 et α_3 étaient inférieurs à 0.05, alors, la différence de la surface d'appui aurait été significative et nous aurions pu statistiquement certifier une diminution de la surface d'appui au sol de la voûte plantaire et de l'avant-pied lors de la marche.

Au niveau de la voûte : $0.1 > \alpha_2 > 0.05$, il n'existe pas de différence statistiquement significative et les données sont supposées identiques.

Au niveau de l'avant-pied: $0.5 < \alpha_3 < 0.9$, il n'existe aucune différence statistiquement significative.

On ne peut que supposer que la mobilisation passive, telle qu'elle a été pratiquée, réduit la surface d'appui au sol au niveau de la voûte plantaire, qu'elle ne modifie pas la surface d'appui au sol au niveau de l'arrière-pied, qu'elle la réduit légèrement à l'arrière-pied.

Il est à noter que les sujets, après traitement, n'ont pas décrit de sensation particulière, si ce n'est un effet décontracturant.

Une population de 100 pieds, testée dans les mêmes conditions, pourrait probablement donner des résultats significatifs. Il serait bénéfique d'étudier une population plus importante.

Il aurait peut-être été nécessaire de mobiliser plus longuement chaque articulation.

En apportant de telles modifications, on peut espérer des résultats significatifs au niveau de la voûte plantaire. Cela semble moins sûr au niveau de l'avant-pied.

Quant à l'arrière-pied, sa structure est verticale (1), il serait donc surprenant d'obtenir une modification de la surface d'appui à ce niveau.

5. CONCLUSION

5. 1. Précision des indications

Si nous avons trouvé des résultats statistiquement significatifs, nous aurions pu supposer que la mobilisation passive est une indication aux pieds plats. Outre ces effets sur la surface d'appui du pied au sol, la mobilisation passive est indiquée par tous ses bienfaits.

5. 2. Extension éventuelle vers d'autres applications

Il serait peut être intéressant de considérer la modification de la surface d'appui du pied au sol non au niveau de sa valeur mais plutôt au niveau de sa répartition. La forme de cette surface a-t-elle été modifiée ?

Il est possible que la surface globale de certains pieds n'ait pas augmentée ou diminuée mais qu'elle ait été modifiée en certains endroits.

Il est possible également que cette surface n'ait pas été modifiée, mais qu'un autre paramètre de l'appui au sol ait changé, comme par exemple la pression du pied.

Une étude tenant compte de tous ces paramètres, pression, force, surface du pied au sol lors de la marche permettrait de déterminer de façon plus précise les effets de la mobilisation passive sur le pied .

BIBLIOGRAPHIE

1) CLAUSTRE J. et SIMON L.

Pied normal et méthode d'exploration du pied
Paris, édition Masson, 1981

2) GENOT C. et NEIGER H. et coll.

Principes, Kinésithérapie 1
Techniques passives, Kinésithérapie 2
Paris, édition Flammarion, 1983

3) KAMINA P.

Ostéologie des membres
Arthrologie des membres
Anatomie
Paris, édition Maloine, 1986

4) KAPANDJI I. A.

Membre inférieur
Physiologie articulaire tome 2
Paris, édition Maloine, 1975

5) PENINOU G.

Statistiques et Kinésithérapie
Annales Kinésithérapie
Paris, édition Masson, 1983

6) RAUBER KOPSCH

Anatomie des Menschen - Lehrbuch und Atlas

Band I Bewegungs-apparat

Thieme

7) ROCHER C. COLAS-ROCHER M. D.

Les méthodes passives de rééducation

E M C tome 1

Paris, édition Technique, 1972

8) VOUTEY H.

Manuel de chirurgie orthopédique et de rééducation de pied

1987, Paris, édition Masson

ANNEXE

TABEAU I : etude statistique des MPP en fonction de la pression

	M ₁		M ₂		M ₃	
	MOYENNE DES MESURES	ECART-TYPE	MOYENNE DES MESURES	ECART-TYPE	MOYENNE DES MESURES	ECART-TYPE
P.M.	32	5	21	7	79	9
D.M.	32	5	19	7	78	10

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{S_y^2}{N} + \frac{S_x^2}{N}}}$$

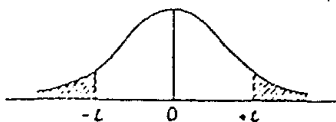
sachant que : \bar{x} est la moyenne des PM pour chaque mask
 \bar{y} est la moyenne des DM pour chaque mask
N est le nombre des pieds testés soit 54
Sx est l'écart-type des PM
Sy est l'écart-type des DM

Figure 1 : calcul de t

TABLEAU II :

Table de t (*).

La table donne la probabilité α pour que t égale ou dépasse, en valeur absolue, une valeur donnée, en fonction du nombre de degrés de liberté (d.d.l.).



d.d.l. \ α	0,90	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,158	1,000	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
2	0,142	0,816	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	0,137	0,765	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,134	0,741	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,132	0,727	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,131	0,718	1,131	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,130	0,711	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,130	0,706	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,129	0,703	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,129	0,700	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,129	0,697	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,128	0,695	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,128	0,694	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,128	0,692	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,128	0,691	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,128	0,690	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,128	0,689	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,127	0,688	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,127	0,688	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,127	0,687	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,127	0,686	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,127	0,686	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,127	0,685	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
24	0,127	0,685	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,127	0,684	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,127	0,684	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,127	0,684	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	0,127	0,683	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,127	0,683	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	0,127	0,683	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
∞	0,126	0,674	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291

Soit ε , l'erreur-standard

$$\varepsilon = s / N$$

Multipliée par trois, elle doit être inférieure à l'écart-type pour que la population soit homogène.

$$3 * \varepsilon_1 = 2.04 \quad \text{et} \quad 2.04 < 5$$

$$3 * \varepsilon_2 = 2.85 \quad \text{et} \quad 2.58 < 7$$

$$3 * \varepsilon_3 = 3.67 \quad \text{et} \quad 3.67 < 9 \quad \text{pour } S = 9$$

$$3 * \varepsilon'_3 = 4.08 \quad \text{et} \quad 4.08 < 10 \quad \text{pour } S = 10$$

Figure 2 : calcul de l'erreur-standard