

Étude rétrospective sur les corrélations entre des paramètres podométriques et l'angle de Djian-Annonier dans l'étude de la voûte plantaire. Résultats d'une série de 158 cas

R. MAES¹, S. DOJCINOVIC², Y. ANDRIANNE³, F. BURNY³

¹ CHU Charleroi, Belgique ; ² CHU Lausanne, Suisse ; ³ Hôpital Universitaire Erasme, Bruxelles, Belgique

Résumé : Nous présentons l'analyse rétrospective sur les corrélations possibles entre cinq paramètres podométriques et l'angle de Djian-Annonier dans l'étude de la voûte plantaire chez 158 patients. Les empreintes plantaires sont obtenues, en appui bipodal sur deux feuilles de format A4, après badigeonnage de la sole plantaire à l'alcool iodé ou à l'éosine alcoolique. Cinq paramètres plantaires ont été retenus : l'angle d'arche, l'index de Chippaux-Smirak, et les index de contact 2, 3, 4 de Qamra. La corrélation entre l'angle de Djian-Annonier et les cinq paramètres podométriques montre un coefficient r supérieur à 0,5 sauf pour l'angle d'arche (r compris entre - 0,243 et - 0,312). La meilleure corrélation est obtenue entre l'angle de Djian-Annonier et l'index de Chippaux-Smirak (r avoisinant 0,6).

Cette étude confirme que les paramètres, dont le calcul est simple, sont aussi performants que des indices plus compliqués. La mesure simple de l'index de Chippaux-Smirak a une relation statistique avec l'angle de Djian-Annonier, aussi bonne que des index plus sophistiqués, comme, par exemple, ceux de Qamra.

Mots clés : Empreinte plantaire - Angle de Djian-Annonier - Angle d'arche - Index de Chippaux-Smirak - Contacts index 2, 3, 4 de Qamra.

Retrospective study on the correlations between footprints parameters and the Djian-Annonier's angle in the study of the plantar arch. Results of a serie of 158 cases

Abstract: The authors present a retrospective study on the potential correlations between five footprint parameters and the Djian-Annonier's angle in the study of the plantar arch. One hundred and fifty eight patients were evaluated from January 1999 to September 2000. The five footprint parameters were as follows : the arch angle, the Chippaux-Smirak's index and Qamra's contact index 2, 3 and 4. The best correlation was obtained between the Djian-Annonier's angle and the Chippaux-Smirak's index. In 1937, Morton revealed that the anterior and posterior portions

show little or no changes in both the normal and abnormal arch of the foot. The middle portion is representative of the foot arch. The authors recommend the use of the Djian-Annonier's angle and the Chippaux-Smirak's index because these two parameters have a good correlation and are simple to use in a daily practice.

Keywords: Footprint parameters - Arch angle - Djian-Annonier's angle - Chippaux-Smirak's index - Qamra's contact index 2, 3, 4

Introduction

En 1928, Schwartz définit pour la première fois une mesure quantitative de la voûte plantaire acquise au départ d'une empreinte plantaire [1, 7]. Depuis, toute une série de paramètres sont retrouvés dans la littérature [2-5, 9-16]. En 1933, Clarke modifie un peu la méthode de Schwartz et définit l'angle d'arche (Fig. 1) [4]. Qamra *et al.*, en 1980, développent la notion des « contacts index » (Fig. 2) [11]. En 1987, Staheli *et al.* utilisent l'index d'arche de Staheli (Fig. 3) [14]. Cavanagh et Rodgers, en 1987, utilisent l'arche index (Fig. 4) [2]. Forriol et Pascual, en 1990, préfèrent utiliser l'index de Chippaux-Smirak pour analyser le développement de l'arche chez des personnes âgées de 3 à 17 ans (Fig. 5) [7].

Le but de ce travail est d'étudier les corrélations entre différents paramètres podométriques et l'angle de Djian-Annonier. La méthode utilisée doit être simple pour être reproductible en routine sans recourir à des appareillages sophistiqués.

Matériel et méthodes

La série rétrospective étudiée comprenait une population de 158 patients issus de la consultation spécialisée de podologie adulte de l'Hôpital Erasme de janvier 1999 à septembre 2000. Il s'agissait de 35 hommes et 123 femmes dont l'âge moyen est de 46 ans (extrêmes de 14 et 86 ans).

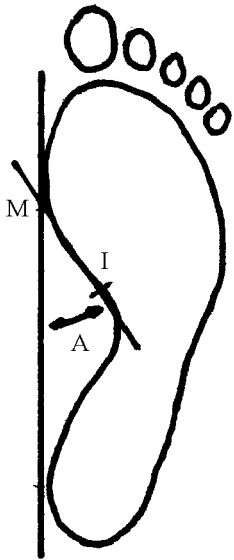


Fig. 1. Représente l'angle d'arche A. Cet angle est formé par la bordure médiale du pied et la ligne joignant le point le plus médian du métatarsaire (M) avec le point d'inflexion du segment antérieur du bord médian de la voûte (I) (2).

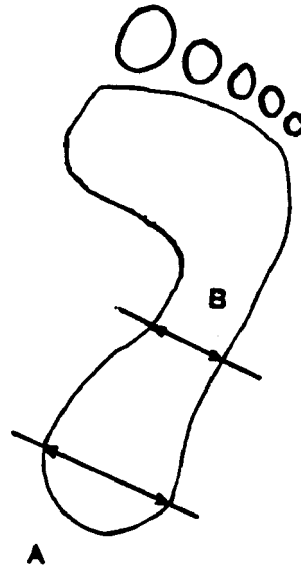


Fig. 3. Index d'arche de Staheli. Rapport entre la largeur du pied dans la région moyenne du pied et au niveau du talon (12).

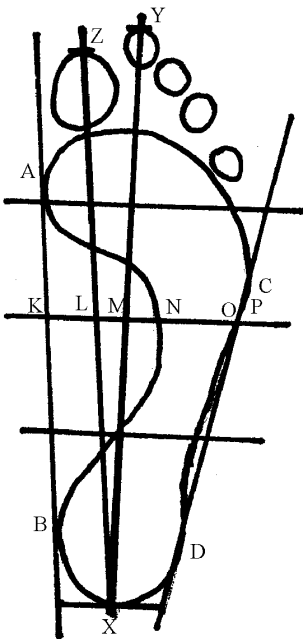


Fig. 2. Constructions géométriques pour obtenir les « contacts index ». Le contour du pied est délimité par deux bordures reliant du côté médial les points A et B, et du côté latéral les points C et D. L'axe du pied est représenté par la ligne XY et l'axe du premier orteil par la ligne XZ. Au centre de l'empreinte perpendiculairement à l'axe XY est tracé la ligne KP. Celle-ci est coupée par l'axe XY en un point M, par l'axe du premier orteil en un point L et par l'empreinte en deux points N et O. Contact index II = NO/KP. Contact index III = NO/LP. Contact index IV : NO/MP (4).

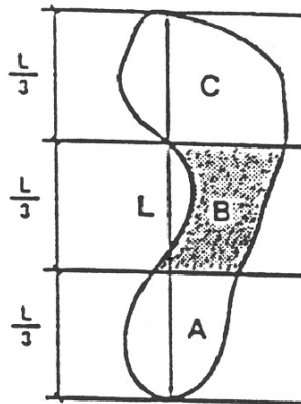


Fig. 4. Arche index de Cavanagh. Il correspond au rapport de la surface imprimée au tiers moyen sans les orteils sur la surface totale de l'empreinte sans les orteils (1)

Parmi la population de 158 patients, un sous-groupe de 35 patients dits « normaux » a été étudié séparément. Il s'agissait de 9 hommes et 26 femmes. Ce qualificatif est accordé aux pieds ne présentant pas de déformations importantes. Tous les pieds symptomatiques ou présentant une déformation importante (hallux valgus, orteils en griffe...) ont été exclus de ce sous-groupe.

Les empreintes plantaires ont été acquises, en appui bipodal sur deux feuilles de format A4, après badigeonnage de la sole plantaire à l'alcool iodé ou à l'éosine alcoo-

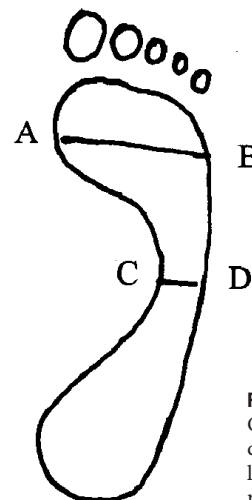


Fig. 5. Représente l'index de Chippaux-Smirak CD/AB. Cet index est le rapport entre la largeur de l'empreinte dans sa portion médiane et la largeur de l'empreinte dans sa portion antérieure (10).

Tableau 1. Résultats des paramètres étudiés de la série complète et des sous-ensembles pied gauche et pied droit (moyenne et extrêmes)

	Angle Djian	Angle arche	Index Chippaux	Contact index II	Contact index III	Contact index IV
Série complète						
<i>n</i> = 316	123,6° (105-156°)	19,6° (0-40°)	35,2 (0-77,7 %)	48,4 (0-98,7 %)	72,9 (0-163,1 %)	92,9 (0-214,3 %)
Pied gauche						
<i>n</i> = 158	123,9° (106-156°)	17,7° (0-32°)	34,6 (0-77,7 %)	48,7 (14,3-97,3 %)	73,8 (20,8-152,4 %)	94,4 (27,9-213,3 %)
Pied droit						
<i>n</i> = 158	123,3° (105-155°)	21,4° (0-40°)	35,7 (0-76,8 %)	48,1 (0-98,7 %)	71,9 (0-163,1 %)	91,3 (0-214,3 %)

lique en cas d'allergie à l'iode. Pour étudier l'empreinte plantaire, cinq index graphiques ont été retenus. Il s'agissait de : l'angle d'arche (Fig. 1), l'index de Chippaux-Smirak (Fig. 5), et les index de contact II, III et IV de Qamra (Fig. 2). L'angle d'arche est formé par la bordure médiale du pied et la ligne joignant le point le plus médian du métatarse (M) avec le point d'inflexion du segment antérieur du bord médian de la voûte (I) [9]. L'index de Chippaux-Smirak représente le rapport entre la largeur minimale du pied au niveau de l'arche plantaire et la largeur maximale de l'empreinte au niveau des métatarsiens [7]. Le contact index 2 représente le rapport de la largeur de contact (NO) sur la largeur totale supposée du pied (KP) au niveau de la moitié du pied [11]. Le contact index 3 est le rapport de la largeur de contact (NO) sur la largeur entre le bord latéral supposé et l'axe du premier orteil (LP) au niveau du milieu du pied [11]. Le contact index 4 représente le rapport de la largeur de contact (NO) et de la largeur comprise entre le bord latéral supposé et l'axe du pied (MP) au niveau de la moitié du pied [11]. Sur la radiographie du pied de profil en charge, l'angle de Djian-Annonier est mesuré. L'angle de Djian-Annonier est l'angle compris entre la droite joignant le point d'appui le plus déclive du calcaneus au point le plus bas de l'interligne talo-naviculaire et la droite joignant le point tangent à l'appui du sésamoïde médial au point le plus bas de l'interligne talo-naviculaire. Sa valeur physiologique se situe entre 118 et 130 degrés [1, 6]. Ces mesures ont été choisies car elles sont utilisées en pratique quotidienne dans notre institution.

Résultats

Les résultats ont été évalués pour l'ensemble de la série (316 pieds) et pour les sous-ensembles de 158 pieds gauches et 158 pieds droits. Le tableau 1 montre les moyennes avec les extrêmes des différents paramètres étudiés pour la série complète et les deux sous-ensembles. Pour la série complète (*n* = 316), l'angle d'arche a varié entre 0 et 40° (moyenne de 19,6°) et l'index de Chippaux-Smirak se situe entre 0 et 77,7 % (moyenne de 35,2 %). Le « contact index II » est mesuré entre 0 et 98,7 % (moyenne

de 48,4 %), le « contact index III » entre 0 et 163,1 % (moyenne de 72,9 %) et le « contact index IV » entre 0 et 214,3 % (moyenne de 92,9 %). L'angle de Djian-Annonier est compris entre 105 et 156° (moyenne de 123,6°). Le tableau 2 montre les moyennes avec les extrêmes des différents paramètres étudiés pour l'ensemble et les sous-ensembles des sujets dits « normaux ». L'angle de Djian-Annonier est compris entre 116 et 131 degrés.

La corrélation entre l'angle de Djian-Annonier et les cinq paramètres podométriques sélectionnés montre, mis à part pour l'angle d'arche (*r* compris entre - 0,243 et - 0,312), un coefficient *r* supérieur à 0,5 (Tableau 3). La meilleure corrélation a été réalisée entre l'angle de Djian-Annonier et l'index de Chippaux-Smirak (*r* avoisinant 0,6). L'intercorrélation entre les cinq paramètres podométriques a montré un coefficient *r* supérieur à 0,789 sauf pour l'angle d'arche où les valeurs étaient négatives (Tableau 4). Comme dans l'étude de Cavanagh et Rodgers en 1987 [1], la distribution des 1^{er} et 3^e quantiles des index utilisés pour la série complète de 158 sujets et pour l'ensemble des 70 sujets « normaux » est visualisée dans le tableau 5.

Discussion

Depuis les années 1920, les empreintes plantaires ont été utilisées pour estimer le creusement de la voûte plantaire du pied par l'intermédiaire de l'arche longitudinale médiale [2, 14]. Des paramètres quantitatifs ont été décrits (l'angle d'arche, l'index de Chippaux-Smirak, les contacts index, l'arche index, l'index d'arche de Staheli...) pour classer les voûtes en différentes catégories (pieds plats, pieds creux, pieds valgus, pieds varus...).

L'empreinte plantaire présente quelques causes d'imprécision. Comme toute méthode utilisant des produits colorant la plante du pied, on peut observer une phase d'installation du pied sur la feuille avant la stabilisation et l'empreinte peut alors se modifier. Pour contrer ce désagrément, il est important que le patient pose les pieds sans hésitation sur les deux feuilles de format A4. La statique du pied peut varier chez le même individu, pendant la grossesse par exemple. L'importance des parties molles

Tableau 2. Résultats des différents paramètres étudiés de l'ensemble et des sous-ensembles des sujets « normaux » issus de la population échantillonnée (Moyenne et extrêmes)

	Angle Djian	Angle arche	Index Chippaux	Contact index II	Contact index III	Contact index IV
Ensemble des sujets « N »						
<i>n</i> = 70	126,4° (118-129°)	18,5° (0-32°)	37,7 (5,8-77,7 %)	50,3 (20,6-98,7 %)	74,6 (28,9-148,9 %)	94,6 (37,5-200 %)
Pied gauche						
<i>n</i> = 35	126,7° (117-131°)	16,6° (0-26°)	37,5 (5,8-77,7 %)	50,7 (20,8-95,9 %)	76,9 (30-148,9 %)	97,8 (37,5-200 %)
Pied droit						
<i>n</i> = 35	126,1° (118-131°)	20,3° (0-32°)	37,8 (9,2-71,6 %)	49,8 (20,6-98,7 %)	72,2 (28,9-143,1 %)	91,3 (38,5-169,8 %)
Sous-ensemble hommes						
<i>n</i> = 18	128° (116-131°)	20,1° (6-32°)	42,4 (25-63,8 %)	55,6 (31,6-87,4 %)	81,2 (49-128 %)	103,7 (61,5-164,1 %)
Sous-ensemble femmes						
<i>n</i> = 52	125,9° (119-129°)	17,9° (0-32°)	39 (5,8-77,7 %)	48,4 (20,8-98,7 %)	72,2 (28,9-148,9 %)	91,3 (37,5-200 %)

Tableau 3. Corrélation entre l'angle de Djian-Annonier et les cinq paramètres d'empreinte étudiés. L'angle de Djian-Annonier n'est pas corrélé avec l'angle d'arche (*r* compris entre - 0,243 et - 0,312)

		Angle arche		Index Chippaux		Contact index II		Contact index III		Contact index IV	
		G	D	G	D	G	D	G	D	G	D
Angle Djian											
G	<i>n</i> = 158	- 0,243		0,612		0,539		0,545		0,545	
D	<i>n</i> = 158	- 0,283	- 0,312	0,581	0,637	0,522	0,583	0,473	0,545	0,474	0,555

Tableau 4. Intercorrélation des cinq paramètres d'empreinte étudiés entre eux. Le coefficient de corrélation *r* est donné pour le pied gauche et le pied droit pour chaque paramètre. L'angle d'arche est le seul paramètre d'empreinte à ne pas être corrélé aux autres paramètres podométriques sélectionnés (coefficients de corrélation négatifs)

		Angle arche		Index Chippaux		Contact index II		Contact index III		Contact index IV	
		G	D	G	D	G	D	G	D	G	D
Angle arche	G	1									
	D	0,74	1								
Index Chippaux	G	- 0,516									
	D	- 0,497	- 0,577	0,843	1						
Contact index II	G	- 0,621		0,929		1					
	D	- 0,553	- 0,635	0,795	0,923	0,837	1				
Contact index III	G	- 0,614		0,915		0,981		1			
	D	- 0,557	- 0,634	0,801	0,898	0,837	0,974	0,825	1		
Contact index IV	G	- 0,617		0,909		0,978		0,99		1	
	D	- 0,549	- 0,627	0,789	0,885	0,827	0,967	0,814	0,989	0,827	1

Tableau 5. Distribution des 1^{er} et 3^e quantiles des cinq paramètres d’empreinte étudiés pour la série complète de 316 pieds et pour l’ensemble de 70 pieds qualifiés de « normaux ». Le 1^{er} quantile correspond à la limite inférieure et le 3^e quantile correspond à la limite supérieure pour un degré de confiance de 95 %

		Angle Djian	Angle arche	Index Chippaux	Contact index II	Contact index III	Contact index IV
Série complète							
Quantile 1	<i>n</i> = 316	118°	14°	27,9 %	38,3 %	57,2 %	72,6 %
Quantile 3	<i>n</i> = 316	128°	24,8°	40,4 %	52,7 %	79,2 %	100 %
Sujets « normaux »							
Quantile 1	<i>n</i> = 70	118°	14°	30,2 %	40,5 %	59,3 %	75,4 %
Quantile 3	<i>n</i> = 70	131°	23°	42,3 %	54,2 %	79,7 %	104,8 %

varie aussi chez un même individu à différents moments (cycle menstruel...), mais aussi d’un sujet à l’autre. Le flexum de hanche ou du genou retentit également sur l’impression de l’empreinte plantaire. Toute douleur du membre inférieur ou de la colonne engendre des contractions musculaires et modifie par conséquent la statique du pied et l’empreinte plantaire.

Cependant, l’empreinte plantaire a l’intérêt majeur d’être un examen simple, rapide, non invasif et bon marché. Elle est facile à reproduire et laisse un document.

En 1937, Morton [16] montrait que les portions antérieure et postérieure de l’empreinte plantaire participent peu aux modifications de forme de l’arche du pied. Cette observation permet de considérer la portion moyenne du pied comme seule représentative de l’arche. En 1980, l’étude sur sujets « asymptotiques » de Qamra *et al.* [5] a montré que l’utilisation d’un index linéaire de mesure au centre du pied était représentative de la voûte plantaire. Le coefficient de corrélation *r* entre le « contact index I » et les contacts index II, III et IV variait significativement entre 0,80 et 0,88 ($p < 0,05$). En 1987, Bouysset *et al.* montrent, dans une étude sur l’empreinte plantaire de 395 pieds rhumatoïdes, une relation très hautement significative entre l’index de Chippaux-Smirak et l’angle de Djian-Annonier [1].

Les paramètres d’empreinte, utilisés dans notre étude, ont une méthode d’acquisition et de calcul simple pour l’application routinière dans une consultation d’orthopédie. L’angle d’arche, l’index de Chippaux-Smirak, les « contacts index » II, III et IV de Qamra et l’angle de Djian-Annonier ont été choisis.

Plusieurs études ont permis d’établir une corrélation entre les mesures cliniques de l’arche longitudinale médiale et les indices podométriques avec un coefficient *r* compris entre 0,70 et 0,95 [3, 9]. Les mesures cliniques sont des mesures directes de la distance entre le sol et différents points de repère de la face médiale du pied, notamment grâce au compas de Mitotuyo [3]. En 1995, dans une étude sur la voûte plantaire, Saltzman observe un coefficient de corrélation compris entre 0,51 et 0,86 entre les mesures cliniques et les indices radiographiques [15].

Notre travail a tenté d’objectiver l’existence d’une relation entre les indices podométriques et radiographiques. La meilleure corrélation a été obtenue entre l’angle de Djian-Annonier et l’index de Chippaux-Smirak avec un coefficient *r* avoisinant 0,6. On retrouve une excellente corrélation entre ces deux paramètres dans le travail de Bouysset et collaborateurs à propos de 395 pieds rhumatoïdes. Toutefois, 2 % de la population présentent des résultats contradictoires, devant inciter à ne jamais méconnaître la clinique [1]. La plupart des paramètres ont un coefficient de corrélation *r* supérieur à 0,789 sauf l’angle d’arche où les valeurs sont négatives. Ces observations signifient qu’aucun des paramètres utilisés, hormis l’angle d’arche, ne fournit pratiquement de renseignements différents par rapport aux autres.

Grâce aux résultats obtenus, il est tenté de donner une classification des différents types d’arche médiale du pied en arche haute, normale et basse. Si on tient compte du groupe de patients « normaux », on peut dégager les limites inférieure et supérieure de la normalité statistique. Par exemple, un angle de Djian-Annonier compris entre 118 et 131 degrés et un index de Chippaux-Smirak entre 30,2 et 42,3 sont considérés comme normal alors qu’un résultat inférieur à ces limites correspond à une arche creuse et un résultat supérieur à une arche plate. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par différents auteurs [1, 6].

Conclusions

Les paramètres, dont le calcul est simple, sont aussi performants que des indices plus compliqués. La mesure simple de l’index de Chippaux-Smirak a une relation statistique avec l’angle de Djian-Annonier, aussi bonne que des index plus sophistiqués comme, par exemple, ceux de Qamra. L’empreinte plantaire est un examen paraclinique satisfaisant, en complément de la clinique.

Références

1. Bouysset M, Lejeune E, Bouvier, et al. (1987) L’examen de l’empreinte plantaire est-il désuet ? À propos de 395 pieds rhumatoïdes. *Méd Chir Pied* 3: 89-91

2. Cavanagh PR, Rodgers MM (1987) The arch index: a useful measure from footprints. *J Biomech* 20: 547-51
3. Chu WC, Lee SH, Wang TJ, Lee MC (1995) The use of arch index to characterize arch height: a digital image processing approach. *IEEE Trans Biomed Eng* 42 (11): 1088-93
4. Clarke HH (1933) An objective method of measuring the height of the longitudinal arch in foot examinations. *The Research Quarterly* 4: 99-107
5. Didia BC, Omu ET, Obuoforiboa A (1987) The use of footprint contact index II for flat feet in a Nigerian population. *Foot Ankle* 7: 285-9
6. Djian A, Annonier Cl, Denis A, Baudoin P (1968) Radiopodométrie (Principes et resultants). *Journal de radiologie* 49 (10): 769-72
7. Forriol F, Pascual J (1990) Footprint analysis between three and seventeen years of age. *Foot Ankle* 11: 101-4
8. Gould N (1983) Evaluation of hyperpronation and pes planus in adults. *Clin Orthop* 181: 37-45
9. Hawes MR, Nachbauer W, Sovak D, Nigg BM (1992) Footprint parameters as a measure of arch height. *Foot Ankle* 13: 22-6
10. Morton DJ (1952) Human locomotion and body form. The Williams and Wilkins Company, Baltimore, p. 285
11. Qamra SR, Deodhar SD, Jit I (1980) Podographical and metrical study for *pes planus* in a northwestern Indian population. *Human Biology* 52: 435-45
12. Rose GK, Welton EA, Marshall T (1985) The diagnostic of flat foot in the child. *J Bone Joint Surg (Br)* 67: 71-8
13. Saltzman CL, Nawoczenski DA, Talbot KD (1995) Measurement of the medial longitudinal arch. *Arch Phys Med Rehabil* 76: 45-9
14. Staheli T, Chew De, Corbett M (1987) The longitudinal arch. A survey of height hundred and eighty-two feet in normal children and adults. *J Bone Joint Surg (Am)* 69: 426-8
15. Takai S (1984) Structural components of the arch of the foot analyzed by radiogrammetric and multivariate statistical methods. *Acta Anat* 119: 161-4
16. Volpon JB (1994) Footprint analysis during the growth period. *J Pediatr Orthop* 14: 83-5