



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



Mémoire original

Étude morphologique 3D du pied de l'enfant à partir de radiographies biplanes : reproductibilité des paramètres radiologiques et valeurs préliminaires^{☆,☆☆}

Assessing 3D paediatric foot morphology using low-dose biplanar radiography: Parameter reproducibility and preliminary values

Virginie Rampal^{a,*}, Pierre-Yves Rohan^a, Rebekah Saksik^a, Philippe Wicart^c, Wafa Skalli^a

^a Institut de Biomécanique Humaine Georges Charpak, Arts et Métiers ParisTech, 151, boulevard de l'hôpital, 75013 Paris, France

^b Service d'orthopédie pédiatrique, hôpitaux pédiatriques de Nice, CHU Lenval, 57, avenue de la Californie, 06000 Nice, France

^c Service d'orthopédie pédiatrique, Hôpital Necker-Enfants Malades, 149, rue de Sèvres, 75015 Paris, France

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 9 avril 2018

Accepté le 26 août 2018

Mots clés :

Pied

Stéréoradiographie

Reproductibilité

Valeur des paramètres

Position debout

Enfant

RÉSUMÉ

Introduction. – L'examen clinique et l'étude radiologique en charge sont les 2 principaux moyens d'analyse des pieds et des membres inférieurs. L'anatomie et la fonction de ces 2 structures ont des conséquences réciproques. Ces 2 moyens sont sujets à la subjectivité et aux biais de projection. La radiographie biplane est devenue une alternative prometteuse pour l'étude des membres inférieurs de l'enfant. Cependant, l'analyse du pied n'est pour l'instant pas possible par ce système. Afin de permettre une analyse en 3D, la première question est d'étudier la reproductibilité de repères définis à l'aide de radiographies biplanes, la seconde, de donner la valeur des paramètres radiologiques calculés.

Hypothèse. – L'hypothèse du travail était de proposer une nouvelle méthode de mesure radiologique du pied, en 3D, à partir de radiographies biplanes.

Patients et méthodes. – Deux radiographies biplanes simultanées et orthogonales (EOS® Imaging, Paris, France) des pieds ont été acquises en position standardisée chez 10 enfants sains. Pour évaluer l'incertitude de mesure, 2 opérateurs ont réalisé les reconstructions des 10 pieds, 3 fois (60 reconstructions). L'écart-type de reproductibilité des points anatomiques et des paramètres cliniques a été calculée. L'incertitude de mesure a ensuite été évaluée à partir de l'intervalle de confiance à 95 %. Pour les valeurs de référence, la normalité des données a été vérifiée et, la valeur moyenne et l'écart-type de chaque paramètre ont été rapportés.

Résultats. – Les repères anatomiques d'intérêt, ainsi que l'angle d'incidence calcanéenne, l'angle tibio-calcanéen de profil, l'angle tibio-talien de face et l'angle d'incidence du 1^{er} métatarsien (IC95 % < 5°) étaient hautement reproductibles. Enfin, nous rapportons les valeurs de ces angles pour la population donnée.

Discussion/Conclusion. – Cela ouvre la voie à l'élaboration de nouveaux paramètres de description des pieds en 3D, ainsi qu'à l'étude simultanée du membre inférieur et du pied en position debout.

Niveau de preuve. – I.

© 2018 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

DOI de l'article original : <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2018.07.023>.

☆ Ne pas utiliser, pour citation, la référence française de cet article, mais celle de l'article original paru dans *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, en utilisant le DOI ci-dessus.

☆☆ Approbation du Comité d'éthique (CPP 2013-A01568-37, n° 76 09 2013).

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : rocher-rampal.v@pediatrie-chulenal-nice.fr (V. Rampal).

<https://doi.org/10.1016/j.rcot.2018.09.003>

1877-0517/© 2018 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

1. Abréviations

CP	calcanéum post : point le plus postérieur du calcanéum
CA	calcanéum antérieur : point le plus antérieur du calcanéum
TT	tête du talus
TH	<i>talar head</i>
CET	cylindre elliptique du talus
TEC	<i>talus elliptical cylinder</i>
ON	os naviculaire
NB	<i>navicular bone</i>
MTA	axe du 1 ^{er} métatarsien
MTA	<i>1st metatarsal bone axis</i>

2. Introduction

Les anomalies du pied ont un impact sur la posture des membres inférieurs et la marche. Elles sont parfois difficiles à évaluer, en raison du manque de moyen d'étude objectif en globalité des membres inférieurs et du pied en position debout. L'examen clinique est lié à l'expérience de l'examineur et la radiologie standard, bien que plus précise que l'examen clinique [1–4], est sujette aux biais de projection en particulier quand les déformations dans le plan frontal sont combinées à des déformations transversales ou sagittales [5]. Par exemple, on sait que dans le pied creux, l'angle de Méary mesuré sur la radiographie de profil est modifié par l'adduction du bloc calcanéo-pédieux, ou par la rotation de l'unité tibio-talo-fibulaire [6]. Outre, les difficultés liées à la position du pied au sol pour l'analyse radiologique, s'ajoutent celles conséquentes au squelette immature, avec une ossification incomplète et variable en fonction de l'âge. D'autres moyens d'imagerie, tels que le scanner ou l'IRM sont également utilisables en routine clinique, mais donnent des images du pied en décharge, les techniques récentes de charge simulée n'étant pas encore répandues. Enfin, l'analyse complète membre inférieur et pied en simultané et en charge n'est pas possible dans ces systèmes [7].

Les techniques de reconstructions en 3 dimensions (3D) à partir de radiographies biplanes calibrées ont alors tout leur intérêt ; leur usage a été validé pour de nombreuses zones anatomiques [8–13]. C'est une procédure prometteuse par rapport aux techniques usuelles [14,15]. Concernant le pied, un travail préliminaire de reconstructions en 3D chez l'adulte a été récemment publié [16], permettant d'évoquer la quantification objective d'angles tels que l'incidence calcanéenne ou l'angle de vrillage [17]. Néanmoins, l'utilisation du modèle adulte pour l'enfant est impossible en raison de l'ossification incomplète en cours de croissance, qui rend

les points de repère anatomiques de l'adulte difficiles à identifier, provoquant une mauvaise reproductibilité des reconstructions.

Afin de confirmer l'hypothèse que les mesures radiologiques 3D du pied de l'enfant en charge sont fiables, et de proposer une nouvelle méthode de mesure radiologique du pied, en 3D, à partir de radiographies biplanes, il fallait répondre à 2 questions : les points de repère anatomiques définis à l'aide de radiographies biplanes sont ils reproductibles ? et quelle est la valeur des paramètres radiologiques calculés ?

3. Patients et méthode

3.1. Patients

Après approbation du Comité d'éthique (CPP 2013-A01568-37, n° 76 09 2013), 10 enfants sains âgés de 9 à 13 ans (6 filles) ont été inclus de façon prospective. Il s'agissait de patients recrutés par la consultation d'orthopédie infantile pour un problème mineur des membres inférieurs, n'interférant pas avec le pied. Ils n'avaient aucune plainte fonctionnelle concernant les pieds, et un examen clinique considéré comme normal par un chirurgien orthopédiste sénior spécialiste du pied. Un consentement éclairé signé était obtenu des participants (parents et enfants). Pour les radiographies, les patients étaient positionnés selon des recommandations déjà publiées [16] : le pied gauche en charge complète, le pied droit appuyé sur les orteils (Fig. 1). Deux radiographies biplanes orthogonales calibrées étaient acquises simultanément en environ 10 secondes (EOS Imaging, Paris, France) (paramètres d'exposition : radiographie de face : 60 kV, 200 mA, 400 mGy/cm² ; profil : 70 kV, 200 mA, 500 mGy/cm²).

3.2. Méthode

Les reconstructions de chaque pied étaient réalisées grâce à un logiciel dédié, développé à l'Institut de Biomécanique Humaine Georges Charpak Arts et Métiers ParisTech, et issu de méthodes déjà proposées [11,16]. À partir des données antérieurement numérisées, un modèle paramétré simplifié (MPS) a été créé en représentant les os par huit points de repères et 6 primitives géométriques (4 sphères et 2 cylindres) stéréocorrespondants, définis sur la vue de face et de profil de chaque pied (Fig. 2) (Tableaux 1 et 2). Ce MPS a ensuite été rétroprojeté sur les radiographies de face et de profil. Des ajustements manuels étaient ensuite effectués afin d'améliorer la superposition des éléments projetés aux contours osseux.



Fig. 1. Position du pied pour l'acquisition de la radiographie biplane.

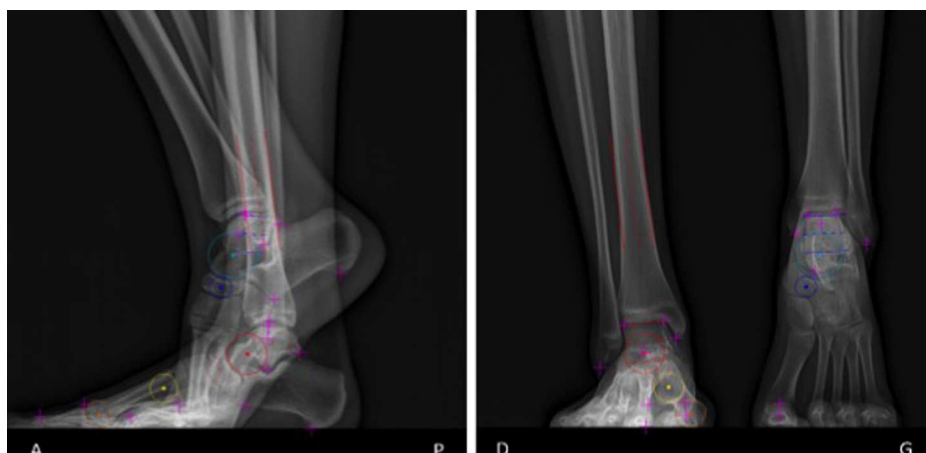


Fig. 2. Modèle paramétré simplifié : repères anatomiques et primitives géométriques.

Tableau 1

Repères anatomiques sur la radiographie latérale du pied.

Os	Nom du point	Point anatomique
Calcaneum	CP	Contact postéro-inférieur calcaneum – sol
	CA	Point antérieur partie inférieure du calcaneum
Talus	ASM	Angle supéro médial dome du talus
	ASL	Angle supéro latéral dome du talus
	TP	Point postérieur talus
Hallux	HP1	Première phalange hallux : partie supérieure base phalange
Malléole tibiale	MI	
Malléole fibulaire	ME	

Des paramètres radiologiques d'usage courant en pratique médicale ont été sélectionnés et programmés pour être calculés automatiquement. Pour cela, certains repères anatomiques étaient schématisés :

- Le tibia par un cylindre ;
- le calcaneum par une ligne (CP-CA) joignant le contact postéro-inférieur du calcaneum au sol (CP) et le point le plus antérieur de la partie basse du calcaneum (CA) ;
- le talus par une sphère (TT) pour sa tête, un cylindre elliptique (CET) pour son corps ;
- l'os naviculaire par une sphère (ON) ;
- le premier métatarsien par 2 sphères, proximale et distale, définissant par leurs centres l'axe du 1^{er} métatarsien (MTA) ;
- incidence calcanéenne : entre sol et ligne CP-CA (Fig. 3a) ;
- angle tibio-calcanéen : entre diaphyse du tibia et ligne CP-CA (Fig. 3b) ;
- divergence talo-calcanéenne : angle entre ligne CP-CA et axe de CET (Fig. 3c) ;
- angle tibio-talien : entre diaphyse du tibia et axe de CET (Fig. 3d) ;
- angle de couverture talo-naviculaire (Fig. 3e) entre axe de CET et ligne joignant le centre de ON et celui de TT ;
- angle de Méary entre MTA et axe de CET (Fig. 3f) ;
- angle talo-métatarsien de face (Fig. 3g) ;
- angle d'incidence du 1^{er} métatarsien : entre sol et MTA (Fig. 3h) ;

3.3. Méthode d'évaluation

Pour évaluer l'incertitude de mesure, 2 opérateurs (un chirurgien orthopédique et un ingénieur, experts de la méthode de reconstruction et de l'anatomie du pied) ont réalisé les reconstructions des 10 pieds, 3 fois (60 reconstructions). Un jour au moins séparait la réalisation de chaque reconstruction d'un même pied.

3.4. Analyse statistique

L'écart-type de reproductibilité (ET) inter-opérateur était calculé selon la méthode proposée dans la norme 5725. La reproductibilité était ensuite estimée par l'intervalle de confiance à 95 % (= 2° ET). L'IC95 % de la position des repères anatomiques et des primitives géométriques était compatible avec une utilisation en clinique quand il était inférieur à 6 mm, celui des paramètres radiologiques quand il était inférieur à 5°.

Pour les valeurs de référence, la normalité des données a été vérifiée, la valeur moyenne et l'écart-type de chaque paramètre ont été rapportés.

4. Résultats

L'incertitude de mesure des points de repère anatomiques et des primitives géométriques est présentée dans le Tableau 3. Hormis le CA sur l'axe Y, l'ET était toujours inférieur à 3 mm (IC95 % < 6 mm). L'orientation de l'axe du cylindre du tibia avait un ET < 1° (IC95 % < 2°). L'orientation de l'axe du CET avait un ET < 3° (IC95 % < 6°).




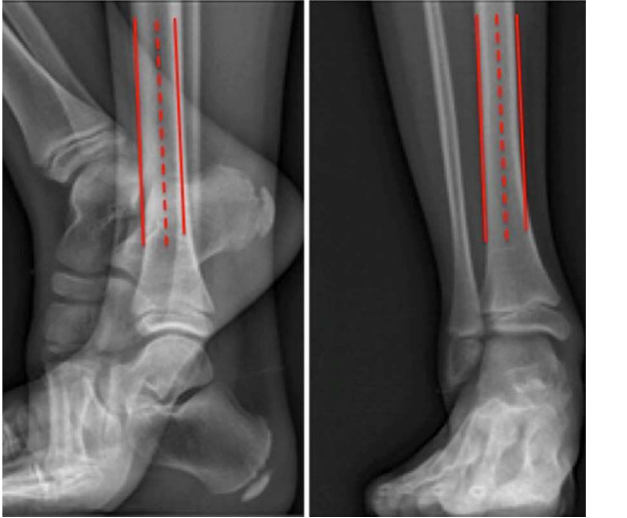
Concernant les paramètres radiologiques, les plus fiables étaient l'angle tibio-calcanéen de profil, l'angle d'incidence calcanéenne, l'angle d'incidence du 1^{er} métatarsien et l'angle tibio-talien de face (IC95 % < 5°). L'angle talo-calcanéen, l'angle de couverture talo-naviculaire, l'angle de Méary et l'angle talo-métatarsien de face avaient un IC95 % supérieur à 5° (Tableau 4).

La valeur des paramètres radiologiques, calculée à partir des reconstructions en 3D des 10 pieds, suivait une distribution normale. Pour les paramètres sélectionnés (angle tibio-calcanéen de profil, incidence calcanéenne, incidence du 1^{er} métatarsien, et angle tibio-talien de face), la valeur moyenne et l'écart-type interindividuel sont rapportés dans le Tableau 5.

5. Discussion

L'hypothèse principale de ce travail est confirmée, puisque l'angle tibio-calcanéen, l'incidence calcanéenne, l'incidence du 1^{er} métatarsien et l'angle tibio-talien de face sont hautement fiables (ET = 2,5° (IC95 % < 5°)). Cela est concordant avec les publications concernant la radiographie standard [18]. La reproductibilité la moins bonne concerne les paramètres incluant le calcaneum, en raison des superpositions des structures osseuses rendant le point CA sur la vue antéropostérieure du pied (Fig. 4a) difficile à repérer. Suivant l'axe X (radiographie de profil), le point CP est parfois

Tableau 2Primitives géométriques choisies pour représenter le talus, le naviculaire, le 1^{er} métatarsien et le tibia.

Os	Primitives géométriques	Illustration
Talus	1 cylindre elliptique (dome talien) : CET ; 1 sphère (tête) : TT	
Naviculaire	1 sphère : ON	
Premier métatarsien	2 sphères (tête & base)	
Tibia	1 cylindre elliptique	

difficilement identifiable, en fonction du degré d'ossification très variable des enfants (Fig. 4b).

Si les techniques de reconstructions en 3 dimensions (3D) à partir de radiographies biplanes calibrées sont prometteuses pour l'analyse du système musculo-squelettique en routine clinique, seul un travail préliminaire de reconstructions en 3D du pied et de la cheville de l'adulte a été récemment publié [16], et rien ne permet actuellement de l'utiliser pour le pied de l'enfant. Le but de cette étude était d'évaluer la fiabilité des mesures 3D radiologiques du pied de l'enfant en position de charge réelle, et de

rapporter les résultats de ces paramètres radiologiques pour la population étudiée. En effet, dans la pratique clinique, l'évaluation radiologique est indispensable aussi bien pour le diagnostic des pathologies (par comparaison aux corridors de normalité) que pour le suivi longitudinal d'un patient, et l'analyse de l'évolution d'une anomalie. Dans tous les cas, l'évaluation de l'incertitude (IC95 %) permet de confirmer la pertinence clinique des mesures réalisées.

Ce travail rapporte les résultats d'un nombre limité de paramètres radiologiques, en particulier si on le compare à une

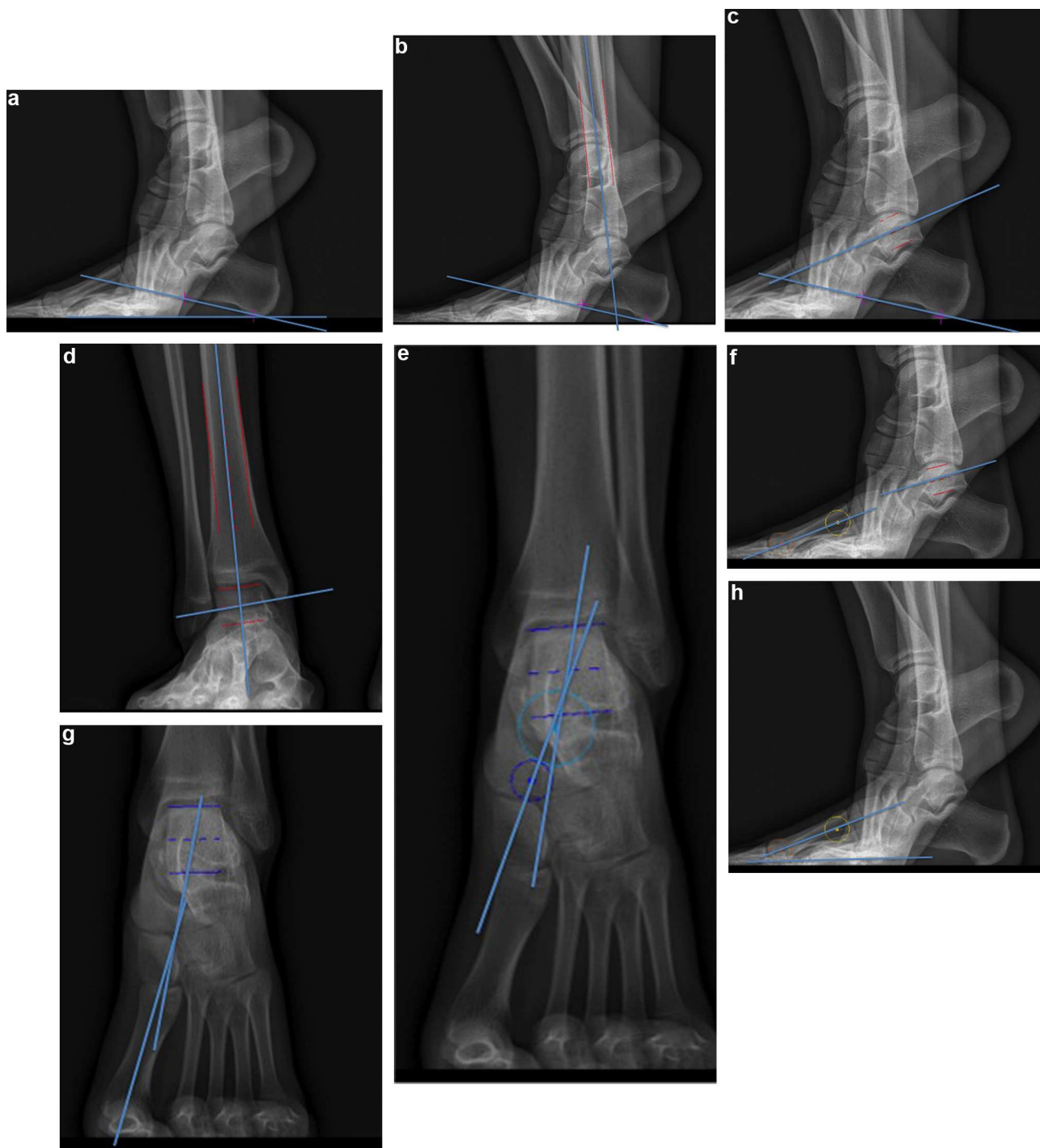


Fig. 3. a : incidence calcanéenne ; b : angle tibio-calcanéen ; c : divergence talo-calcanéenne ; d : angle tibio-talien ; e : angle de couverture talo naviculaire ; f : angle talo-métatarsien de Méary ; g : angle talo-métatarsien vue dorso plantaire ; h : angle d'incidence du premier métatarsien.

publication récente concernant le pied de l'adulte [16]. Cela s'explique par 2 éléments : tout d'abord, la difficulté à identifier des repères anatomiques reproductibles puisque l'ossification se modifie avec l'âge et modifie les repères constamment. Ensuite, le pied est plus petit, ce qui augmente le risque d'incertitude élevée des angles mesurés. Néanmoins, les paramètres radiologiques choisis sont indispensables à l'analyse du pied pour les orthopédistes pédiatres [17–20] (Tableau 5). Il est capital de combiner la mesure de ces angles, puisque la description complète de l'anatomie du pied combine la description de l'arrière-pied, du médio-pied et de l'avant-pied [18,19,21]. Les résultats de la valeur des paramètres

dans ce travail sont cohérents avec les corridors de normalité de ces mêmes paramètres en 2D dans la littérature, ce qui permet aux cliniciens de les utiliser. La différence entre la mesure en 2D et le calcul en 3D des angles est ici négligeable (Tableau 5), mais cette différence minimale sur des pieds sains ne préjuge pas du résultat attendu dans le cas de pieds pathologiques, chez qui les anomalies osseuses et articulaires augmentent les biais de projection des mesures en 2D.

Il existe 2 limites principales à ce travail. Tout d'abord, il ne concerne que 10 pieds, et l'inclusion de plus de cas permettrait de renforcer la puissance de l'étude et de donner des valeurs de

Tableau 3

IC95 % (=2ET) des repères anatomiques et des primitives géométriques (en millimètres).

	x	y	z
<i>Calcaneum</i>			
Point antérieur partie basse	5	11	4
Contact postéro-inférieur – sol	6	8	2
<i>Hallux</i>			
1 ^{re} phalange	4	4	4
<i>Malléole</i>			
Latérale	5	2	2
Médiale	5	2	2
<i>Talus</i>			
Point supéro latéral	4	2	2
Point supéro médial	3	2	2
Point postérieur	3	4	4
<i>Os naviculaire</i>	4	5	3
Tête du talus	5	3	3
<i>1^{er} métatarsien</i>			
Partie proximale	5	5	4
Partie distale	4	5	3

Tableau 4

IC95 % (= 2 ET) des paramètres radiologiques (en degrés).

	IC95 % Valeur 2D	IC95 % Valeur 3D
Incidence calcanéenne	5	6
Angle tibio-calcaneen (latéral)	5	5
Angle tibio-talien (face)	5	5
Angle talo-calcaneen	15	17
Angle de couverture talo naviculaire	19	15
Angle de Méary	13	14
Angle talus 1 ^{er} métatarsien (face)	17	14
Incidence du 1 ^{er} métatarsien	5	5

référence. Cependant, ces 10 pieds sont suffisants pour évaluer la reproductibilité de la méthode, et pour donner des résultats préliminaires. La seconde limite est que seule la reproductibilité est étudiée dans ce travail, et pas la justesse. Pour l'évaluer, il faudrait comparer les valeurs d'angles calculées par ce système à celles obtenues par scanner en coupes millimétriques, ce qui pose un problème éthique de dose d'irradiation chez des enfants.

Pour conclure, nos résultats confirment l'intérêt de la stéréoradiographie biplane pour la description du pied de l'enfant. Les repères radiologiques en 3D et les paramètres radiologiques y étant associés sont fiables et reproductibles. À notre connaissance, il n'existait pour l'instant pas de moyen d'analyse des pieds en 3D et en charge chez l'enfant. Ce travail préliminaire propose une méthode rapide améliorant l'analyse des rapports osseux en position de fonction. Cela ouvre la voie à l'élaboration de nouveaux paramètres de description des pieds en 3D, ainsi qu'à l'étude simultanée du membre inférieur et du pied en position debout.

Déclaration de liens d'intérêts

Wafa Skalli est co-inventeur du système EOS sans bénéfice financier personnel.

Les autres auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Tableau 5

Valeur des paramètres radiologiques (en degrés). Comparaison avec la littérature.

	2D	3D	Moyenne(min max)	Bourdet et al. [17]	Davids et al. [18]	Steel et al. [19]	Moraleda et al. [20]
Nombre de pieds	10			65	60		135
Âge (année)	9–13			7–18	5–17	Adultes	Adultes
Angle tibio-calcaneen (latéral)	67°	67°	54° 77°		65° 75°		61° 83°
Incidence calcanéenne	20°	18°	14° 34°	20° 30°	5° 32°	11° 38°	11° 23°
Angle tibio-talien (face)	0°	0°	–10° 7°		–9° 12°		
Incidence 1 ^{er} métatarsien	21°	20°	15° 30°	10° 20°	1° 13°	16° 30°	



Fig. 4. a : calcaneum vue coronale : le point dénommé CA n'est pas localisable dans cette incidence ; b : calcaneum vue latérale : le point dénommé CP est difficile à localiser en raison de l'ossification insuffisante.

Sources de financement

Aucun.

Contribution des auteurs

V. Rampal : inclusion patients, élaboration étude, reconstructions, rédaction.

PY Rohan : statistiques, calculs et programme informatique, relecture et corrections.

R. Saksik : élaboration du programme de reconstructions.

P. Wicart : élaboration et encadrement de l'étude, relecture.

W. Skalli : élaboration et encadrement de l'étude, relecture.

Remerciements

Les auteurs remercient le programme de Chaire ParisTech BiomecAM sur le projet de modélisation musculo-squelettique, ainsi que Thomas Joubert pour son assistance technique.

Références

- [1] Fabry G. Clinical practice. Static, axial, and rotational deformities of the lower extremities in children. *Eur J Pediatr* 2010;169:529–34.
- [2] Heath CH, Staheli LT. Normal limits of knee angle in white children – genu varum and genu valgum. *J Pediatr Orthop* 1993;13:259–62.
- [3] Hinman RS, May RL, Crossley KM. Is there an alternative to the full-leg radiograph for determining knee joint alignment in osteoarthritis? *Arthritis Rheum* 2006;55:306–13.
- [4] Kraus VB, Vail TP, Worrell T, McDaniel G. A comparative assessment of alignment angle of the knee by radiographic and physical examination methods. *Arthritis Rheum* 2005;52:1730–5.
- [5] Gheno R, Nectoux E, Herbaux B, Baldisserotto M, Glock L, Cotten A, et al. Three-dimensional measurements of the lower extremity in children and adolescents using a low-dose biplanar X-ray device. *Eur Radiol* 2012;22:765–71.
- [6] Seringe R, Wicart P, French Society of Pediatric Orthopaedics. The talonavicular and subtalar joints: the “calcaneopedal unit” concept. *Orthop Traumatol Surg Res* 2013;99:S345–55.
- [7] Ledoux WR, Rohr ES, Ching RP, Sangeorzan BJ. Effect of foot shape on 3-dimensional position of foot bones. *J Orthop Res* 2006;24:2176–86.
- [8] Pomero V, Mitton D, Laporte S, de Guise JA, Skalli W. Fast accurate stereoradiographic 3D-reconstruction of the spine using a combined geometric and statistic model. *Clin Biomech* 2004;19:240–7.
- [9] Sabourin M, Jolivet E, Miladi L, Wicart P, Rampal V, Skalli W. Three-dimensional stereoradiographic modeling of the rib cage before and after spinal growing rod procedures in early onset scoliosis. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2010;25:284–91.
- [10] Lebaillly F, Lima LV, Clairemidi A, Aubert B, Guerard S, Chaibi Y, et al. Semi-automated stereoradiographic upper limb 3D reconstructions using a combined parametric and statistical model: a preliminary study. *Surg Radiol Anat* 2011;34:757–65.
- [11] Chaibi Y, Cresson T, Aubert B, Hausselle J, Neyret P, Hauger O, et al. Fast 3D reconstruction of the lower limb using a parametric model and statistical inference and clinical measurements calculation from biplanar X-rays. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 2012;15:457–66.
- [12] Quijano S, Serrurier A, Aubert B, Laporte S, Thoreux P, Skalli W. Three-dimensional reconstruction of the lower limb from biplanar calibrated radiographs. *Med Eng Phys* 2013;35:1703–12.
- [13] Rampal V, Rohan PY, Assi A, Ghanem I, Rosello O, Simon AL, et al. Lower limb lengths and angles in children older than 6 years: reliability and reference values by EOS stereoradiography. *Orthop Traumatol Surg Res* 2018;104:389–95.
- [14] Gaumétou E, Quijano S, Ilharberde, Presedo A, Thoreux P, Mazda K, et al. EOS® analysis of lower extremity segmental torsion in children and young adults. *Orthop Traumatol Surg Res* 2014;100:147–51.
- [15] Meyrignac O, Moreno R, Baunin C, Vial J, Accadbled F, Sommet A, et al. Low-dose biplanar radiography can be used in children and adolescents to accurately assess femoral and tibial torsion and greatly reduce irradiation. *Eur Radiol* 2015;25:1752–60.
- [16] Rohan PY, Perrier A, Ramanoudjame M, Hausselle J, Lelièvre H, Seringe R, et al. 3D reconstruction of foot in the weight-bearing position from biplanar X-ray radiographs: evaluation of accuracy and reliability. *J Foot Ankle Surg* 2018, <http://dx.doi.org/10.1053/j.jfas.2018.03.014> [Epub ahead of print].
- [17] Bourdet C, Seringe R, Adamsbaum C, Glorion C, Wicart P. Flatfoot in children and adolescents. Analysis of imaging findings and therapeutic implications. *Orthop Traumatol Surg Res* 2013;99:80–7.
- [18] Davids JR, Gibson TW, Pugh LI. Quantitative segmental analysis of weight-bearing radiographs of the foot and ankle for children: normal alignment. *J Pediatr Orthop* 2005;25:769–76.
- [19] Steel MW, Johnson KA, DeWitz MA, Ilstrup DM. Radiographic measurements of the normal adult foot. *Foot Ankle* 1980;1:151–8.
- [20] Moraleda L, Mubarak SJ. Flexible flatfoot: differences in the relative alignment of each segment of the foot between symptomatic and asymptomatic patients. *J Pediatr Orthop* 2011;31:421–8.
- [21] Roth S, Roth A, Jotanovic Z, Madarevic T. Navicular index for differentiation of flatfoot from normal foot. *Int Orthop* 2013;37:1107–12.