
Paramètres longitudinaux et angulaires des membres inférieurs après l'âge de 6 ans

Ce chapitre est constitué d'un article, accepté
dans Orthopedic and Traumatology Surgery
and Research

Paramètres longitudinaux et angulaires des membres inférieurs de l'enfant après 6 ans: fiabilité et valeurs de référence par stéréoradiographie EOS®.

Paramètres longitudinaux et angulaires des membres inférieurs après l'âge de 6 ans

Résumé :

- **Contexte:** L'alignement des membres inférieurs (MI) chez l'enfant est traditionnellement évalué cliniquement ou par radiologie conventionnelle, ce qui est sujet à des biais de projection. Récemment, la radiographie biplanaire à faible dose a été décrite comme une alternative aux procédures conventionnelles.
Le premier objectif de cette étude était d'évaluer la fiabilité des paramètres angulaires et de longueur déduits des reconstructions 3D chez les enfants dans la pratique clinique quotidienne. Le second, de fournir des valeurs de référence de différents paramètres de goniométrie chez l'enfant.
- **L'hypothèse principale** était que les reconstructions 3D soient utilisables pour caractériser les membres inférieurs de l'enfant.
- **Patients et méthode :** Pour l'étude de fiabilité, 18 enfants volontaires divisés en 3 groupes (« typically developing » (TD), anomalie du développement orthopédique, et paralysés cérébraux) ont été inclus. Pour les données de référence, seuls des patients TD (n = 129) ont été considérés. Ils ont tous bénéficiés d'une radiographie biplanaire avec des reconstructions 3D, effectuées par des experts et par des techniciens de radiologie. Les paramètres de goniométrie étaient automatiquement calculés. La reproductibilité a été étudiée par le coefficient de corrélation intra-classe (ICC), et la norme ISO 5725 (écart type de reproductibilité).
- **Résultats:** Pour les paramètres de longueur, l'ICC était entre 0,94 et 1,0 et le SDr entre 2,1 et 3,5 mm. Pour les paramètres angulaires, ICC et SDr étaient respectivement entre 0,60 et 0,95, 0,9 ° à 4,6 °. Aucune différence significative n'a été trouvée entre les experts et les techniciens de radiologie. Les données de référence sont rapportées en fonction de l'âge.
- **Discussion:** Ces résultats confirment la fiabilité de la radiographie biplanaire à faible dose pour l'évaluation des paramètres des MI chez les enfants en routine clinique. Il donne également des valeurs des paramètres fréquemment mesurés qui constituent une base de données de référence.

Niveau de preuve: IV

Mots clé: membre inférieur, imagerie biplane, enfants

1. Introduction

L'évaluation de l'alignement des membres inférieurs (MI) chez l'enfant est primordiale pour évaluer les anomalies de développement et pour aider à planifier les traitements. Cependant, il existe peu de données fondées sur des mesures précises décrivant les paramètres normaux des enfants. L'alignement des MI dans le plan frontal est traditionnellement évalué en pédiatrie en utilisant des méthodes cliniques semi-quantitatives [1] et des radiologiques [2]. Malgré le biais de projection [2], ces dernières sont plus précises que celles cliniques [3-6]. Salenius *et al.* [2] ont souligné une incertitude substantielle dans les valeurs d'angle fémoro-tibial (AFT) mesuré sur des radiographies standard, en particulier dans le cas d'anomalies axiales combinées.

Récemment, une technique de reconstruction utilisant des images biplanaires à faible dose, calibrées, et un modèle 3D, a été proposée et validée pour évaluer les paramètres cliniques de nombreux éléments d'anatomie [7-11]. Cette technique et les reconstructions 3D associées semblent être une alternative prometteuse aux procédures classiques précitées [12,13]. Gaumetou *et al.* [12] ont montré leur fiabilité pour l'évaluation de la torsion segmentaire des MI chez les enfants et les adultes. Pour l'instant, l'évaluation des paramètres cliniques du MI par radiographies biplanaires d'enfant a principalement porté sur les différences entre les mesures 2D et 3D [14], ou la comparaison des valeurs de torsion par rapport au scanner [15]. En ce qui concerne la fiabilité, les études publiées étant principalement réalisées par des équipes de recherche, l'évaluation de la fiabilité en pratique quotidienne, lorsque les reconstructions en 3D sont effectuées par des techniciens en radiologie avec une formation classique, n'est pas encore démontrée. Enfin, une revue de littérature [16], conclut que les études existantes se limitent principalement en l'établissement de l'intérêt technique de base du système et que des études cliniques sont nécessaires.

L'objectif premier de cette étude était d'évaluer la fiabilité des paramètres angulaires et de longueur déduits des reconstructions 3D chez les enfants dans la pratique quotidienne. Le second, de fournir des valeurs de référence de différents paramètres chez l'enfant.

L'hypothèse principale était que les reconstructions 3D soient utilisables pour caractériser les membres inférieurs de l'enfant.

2. Patients et Méthodes

(2.1) Patients

Les patients ont été inclus après l'approbation du comité d'éthique (CPP 06001 pour les Arts et Métiers ParisTech et 2013-A01568-37, n° 76 09 2013 pour les Hôpitaux pédiatriques de Nice CHU-Lenval). Un consentement éclairé a été obtenu des participants (parents et enfants).

Pour l'étude de fiabilité, les patients inclus étaient des volontaires âgés de 6 à 15 ans recrutés par la consultation externe. Au total, dix-huit enfants ont été inclus et divisés en trois groupes: 6 « typically developing » (TD) (radiographie

Partie II : Chapitre 3 : paramètres longitudinaux et angulaires des membres inférieurs après l'âge de 6 ans

prescrite pour une raison médicale, non orthopédique), 6 « non-typically developing » (NTD) (anomalie orthopédique mineure n'interférant pas avec les paramètres considérés) et 6 enfants souffrant de paralysie cérébrale (CP). Tous les enfants pouvaient se tenir debout sans appui.

Pour la collecte de données de référence, les patients inclus étaient tous TD, inclus lors d'une consultation d'orthopédie pédiatrique, permettant d'exclure les patients souffrant d'une anomalie axiale, torsionnelle ou de longueur. La série était composée de 129 patients (258 membres), âgés de 6 à 15 ans. Les patients étaient répartis en quatre groupes d'âge [12] (tableau 3.1)

Partie II : Chapitre 3 : paramètres longitudinaux et angulaires des membres inférieurs après l'âge de 6 ans

	Groupe I 6 - 7 ans	Groupe II 8 - 9 ans	Groupe III 10 - 12 ans	Groupe IV 13 - 15 ans
Nombre	18	21	56	34
F/G	16/2	13/8	43/13	20/14
Angles (°)				
MFA M $\pm$ SD	93 $\pm$ 2	93 $\pm$ 2	93 $\pm$ 2	93 $\pm$ 2
(Min-max)	(88-96)	(89-97)	(88-101)	(89-101)
MTA M $\pm$ SD	89 $\pm$ 2	88 $\pm$ 2	89 $\pm$ 2	87 $\pm$ 2
(Min-max)	(81 -92)	(82-98)	(81-95)	(82-92)
FTA M $\pm$ SD	178 $\pm$ 2	179 $\pm$ 3	174 $\pm$ 4	177 $\pm$ 5
(Min-max)	(172-180)	(173-189)	(161-184)	(162-187)
NSA M $\pm$ SD	137 $\pm$ 8	131 $\pm$ 6	134 $\pm$ 5	132 $\pm$ 7
(Min-max)	(114-156)	(120-145)	(123-149)	(119-165)
HKS M $\pm$ SD	2 $\pm$ 1	3 $\pm$ 2	5 $\pm$ 1	5 $\pm$ 2
(Min-max)	(0-7)	(0-7)	(2-8)	(2-9)
Longueurs (mm)				
FHD M $\pm$ SD	30 $\pm$ 2	34 $\pm$ 3	37 $\pm$ 3	42 $\pm$ 3
(Min-max)	(25-34)	(27-38)	(30-46)	(34-48)
LN M $\pm$ SD	33 $\pm$ 5	40 $\pm$ 5	44 $\pm$ 5	52 $\pm$ 6
(Min-max)	(21-43)	(28-49)	(30-61)	(30-67)
Pas d'unité				
F/T M $\pm$ SD	1.1 $\pm$ 0.0	1.1 $\pm$ 0.0	1.1 $\pm$ 0.0	1.1 $\pm$ 0.1

Tableau3.1: description de la série. Valeur moyenne et déviation standard des valeurs des paramètres des 129 patients en fonction des groupes d'âge (M= moyenne, minimum, maximum)

(2.2) Méthode

Tous les patients ont bénéficié d'une radiographie biplanaire par le système EOS® (EOS® Imaging, France). Les acquisitions ont été effectuées dans deux centres (82 patients au centre Arts-et-Métiers-ParisTech et 59 patients au centre hospitalier de Nice) dans la position debout, pieds décalés [10]. À partir des radiographies biplanaires, une reconstruction 3D dans le logiciel STEREOS (version 1.6.4.7977) était réalisée [10, 12]. Cette reconstruction en 3D permettait d'obtenir un modèle spécifique au patient à partir duquel les paramètres cliniques suivants étaient calculés automatiquement: l'angle fémoral (MFA) et tibial (MTA) mécanique (figure 3.1 et 3.2), l'HKS (figure 3.3), l'angle femoro-tibial (FTA) (figure 3.4), le diamètre de la tête fémorale (FHD), la longueur du col fémoral (LN) et l'angle cervico diaphysaire (NSA). Le rapport de longueur fémur/tibia (F/T) a également été calculé.

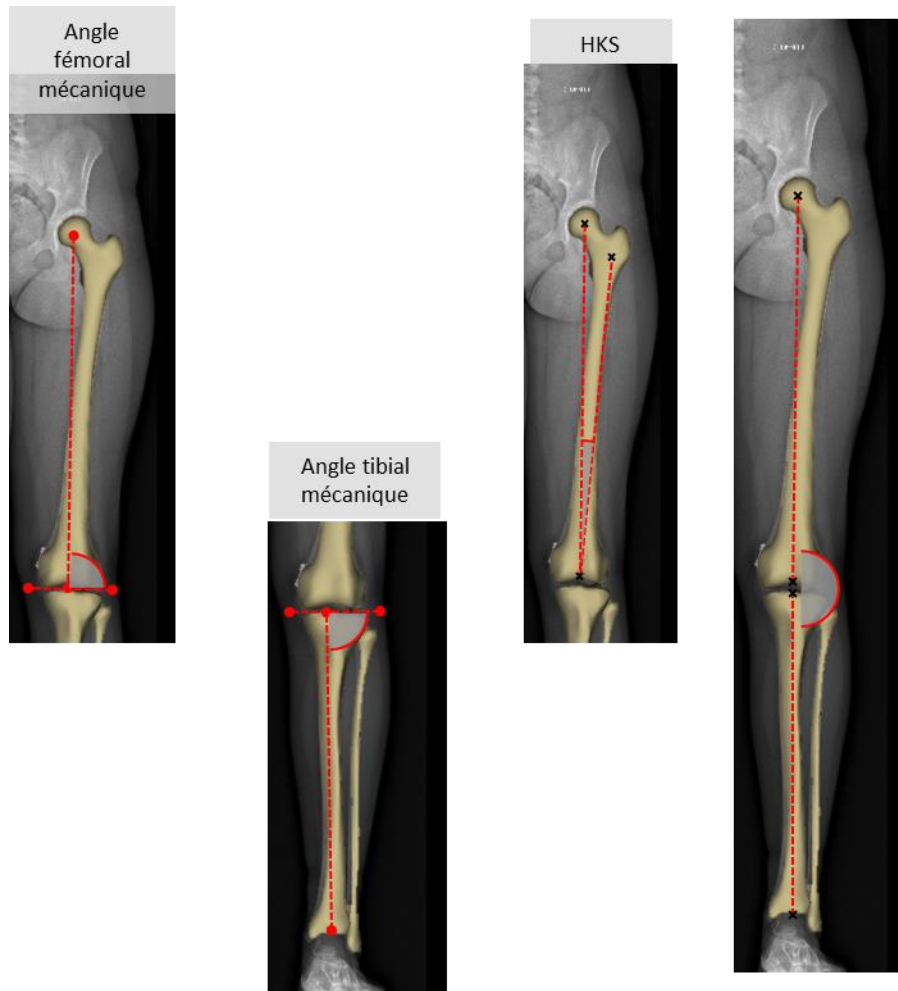


Figure 3.1	Angle fémoral mécanique = MFA = Angle entre axe mécanique du fémur et tangente à la partie distale des condyles fémoraux projetés dans le plan frontal du genou
Figure 3.2	Angle tibial mécanique = MTA = Angle entre axe mécanique du tibia et tangente aux plateaux tibiales projetés dans le plan frontal du genou
Figure 3.3	Angle HKS = Angle entre axe mécanique et anatomique du fémur projetés dans le plan frontal du genou
Figure 3.4	Angle fémoro-tibial = AFT = Angle entre axe mécanique du fémur et axe mécanique du tibia projetés dans le plan frontal du genou

(2.3) Méthode d'analyse

Pour l'étude de fiabilité, les données de trois centres pédiatriques étaient considérées. Dans chaque centre, chaque MI était reconstruit deux fois: par un opérateur qualifié (chirurgien orthopédique avec une forte compréhension de la méthode) considéré comme un expert, et par un technicien en radiologie formé à la technique de reconstruction et à l'utilisation en routine du logiciel.

Par conséquent, 6 reconstructions 3D de chaque MI des 18 sujets étaient réalisées.

(2.4) Analyse statistique

Le coefficient de corrélation intra-classe (ICC) et l'écart type de reproductibilité (SDr) étaient calculés. Pour le SDr, la Norme ISO 5725 était utilisée [17]. La fiabilité était ensuite estimée compte-tenu de 95% d'intervalle de confiance (CI95%) à $2 \times \text{SDr}$. Les valeurs étaient également comparées entre experts et utilisateurs de routine.

Pour l'évaluation des données de référence, la valeur moyenne et l'écart-type de chaque paramètre clinique étaient calculés sur les 129 patients, ainsi que pour les 6 CP et les 6 NTD. La distribution normale était étudiée à l'aide du test Kolmogorov-Smirnov. Pour chaque paramètre, la moyenne (M) et l'écart-type (SD) étaient utilisés pour définir des corridors de normalité : valeurs normales à $M \pm 1 \times \text{SD}$, subnormales hautes ou basses entre $M \pm 1 \times \text{SD}$ et $M \pm 2 \times \text{SD}$, anormales hautes ou basses $M \pm 2 \times \text{SD}$. La différence entre les groupes d'âge, les experts et les utilisateurs de routine était étudiée à l'aide du test t de Student (logiciel Statistica®), avec un seuil statistique à $p < 0,05$.

3. Résultats

Fiabilité

Pour les paramètres de longueur, les valeurs d'ICC étaient entre 0,94 et 1, l'écart type de reproductibilité variait de 2,1 à 3,5 mm. Pour les paramètres angulaires, ils étaient respectivement entre 0,60 et 0,95, et $0,9^\circ$ à $4,6^\circ$. Aucune différence significative n'était trouvée entre les experts et les techniciens de routine pour ces paramètres ($p > 0,5$). (tableau 3.2)

Partie II : Chapitre 3 : paramètres longitudinaux et angulaires des membres inférieurs après l'âge de 6 ans

Para- mètre	SD répétab ilité	SD reproductibi lité	95% CI	ICC	Chaibi et al. [10]	Chaibi et al. [10]	Quijano et al. [11]	Assi et al. [19]	Assi et al. [19]
					Fast 3D	Full 3D		TD	CP
					95% CI	95% CI	95% CI	95% CI	95% CI
Longueurs (mm)									
FHD	1.0 mm	0.9 mm	2.1 mm	0.96	1.6	1.4	1.6		
NL	1.7 mm	1.5 mm	3.4 mm	0.95					
FL	1.2 mm	1.1 mm	2.4 mm	1.0	2.4	1.8	1.9		
TL	1.6 mm	1.6 mm	3.3 mm	0.99	2.3	2.3	2.2		
Angles (°)									
MFA	1.2 °	1.2 °	2.5 °	0.81	2.7	1.3	2.3	0.7	0.7
MTA	2.1 °	2.0 °	4.2 °	0.61	3.6	2.6	1.3	1.5	2.0
HKS	0.5 °	0.4 °	0.9 °	0.90	1.1	0.8	0.7	0.5	0.4
NSA	2.3 °	2.1 °	4.6 °	0.87	3.7	3.0	2.9	1.5	2.2
AFT	0.8 °	0.7 °	1.6 °	0.95			1.0		

Table 3.2: ICC et déviation standard de reproductibilité des paramètres cliniques et comparaison avec la littérature

Données de référence des paramètres cliniques 3D du MI

La répartition des valeurs des paramètres suivait une distribution normale. La valeur moyenne et l'écart type en fonction du groupe d'âge sont présentés dans le tableau 1. L'évolution des paramètres en fonction de l'âge est représentée dans les figures 5 à 8. Le paramètre moins variable était le rapport F / T, avec une moyenne de $1,1 \pm 0,03$ pour tous les groupes. Le plus variable était le NSA, les valeurs moyennes allant de $131^\circ \pm 5^\circ$ à $136^\circ \pm 7^\circ$ entre les groupes.

Les valeurs normales, subnormales hautes et basses et les valeurs anormales pour tous les paramètres sont rapportées dans les tableaux 3.3 et 3.4.

Partie II : Chapitre 3 : paramètres longitudinaux et angulaires des membres inférieurs après l'âge de 6 ans

		Anormal bas	Subnormal bas	Normal	Subnormal haut	Anormal haut
MFA (°)	I-IV	<89	89 - 91	91 - 95	95 - 98	> 98
F/T ratio	I-IV	<1,1		1,1 – 1,2	> 1,2	

Tableau 3.3: valeurs moyennes, subnormales et anormales pour les paramètres non influencés par l'âge (129 cas)

		Anormal bas	Subnormal bas	Normal	Subnormal haut	Anormal haut
MTA (°)	I-II-III	<84	84 à 87	87 à 91	91 à 93	>93
	IV	<82	82 à 85	85 à 90	90 à 92	>92
FTA (°)	I	<174	174 à 176	176 à 180	180 à 182	>182
	II	<173	173 à 176	176 à 182	182 à 185	>185
	III	<166	166 à 170	170 à 178	178 à 182	>182
	IV	<168	168 à 172	172 à 182	182 à 187	>187
HKS (°)	I	<-1	-1 à 1	1 à 4	4 à 6	>6
	II	<-3	-3 à 2	2 à 12	12 à 16	>16
	III-IV	<2	2 à 4	4 à 6	6 à 8	>8
NSA (°)	I	<121	121 à 129	129 à 145	145 à 152	>152
	II	<119	119 à 125	125 à 137	137 à 143	>143
	III	<123	123 à 129	129 à 140	140 à 145	>145
	IV	<118	118 à 125	125 à 139	139 à 146	>146
FHD (mm)	I	<25	25 à 27	27 à 32	32 à 35	>35
	II	<28	28 à 31	31 à 37	37 à 40	>40
	III	<31	31 à 34	34 à 40	40 à 43	>43
	IV	<35	35 à 39	39 à	45 à 48	>48

Partie II : Chapitre 3 : paramètres longitudinaux et angulaires des membres inférieurs après l'âge de 6 ans

				45		
LN (mm)	I	<23	23 à 28	28 à 38	38 à 43	>43
	II	<29	29 à 34	34 à 45	45 à 50	>50
	III	<33	33 à 38	38 à 50	50 à 55	>55
	IV	<41	41 à 47	47 à 58	58 à 64	>64

Tableau 3.4: valeurs moyennes, subnormales et anormales pour les paramètres influencés par l'âge (129 cas)

Partie II : Chapitre 3 : paramètres longitudinaux et angulaires des membres inférieurs après l'âge de 6 ans

Les résultats pour les enfants NTD et CP sont présentés dans le tableau 3.5 et les figures 3.5 à 3.8.

	NTD	CP
nombre	12	12
MFA M $\pm$ SD	94 $\pm$ 3	92 $\pm$ 2
(Min-max)	(91-102)	(89-93)
MTA M $\pm$ SD	88 $\pm$ 3	89 $\pm$ 2
(Min-max)	(82-91)	(79-92)
FTA M $\pm$ SD	178 $\pm$ 4	180 $\pm$ 2
(Min-max)	(169-181)	(178-184)
NSA M $\pm$ SD	134 $\pm$ 6	134 $\pm$ 6
(Min-max)	(120-143)	(126-146)
HKS M $\pm$ SD	3 $\pm$ 2	4 $\pm$ 1
(Min-max)	(0-6)	(3-5)
FHD M $\pm$ SD	35 $\pm$ 6	30 $\pm$ 3
(Min-max)	(25-43)	(27-35)
LN M $\pm$ SD	38 $\pm$ 11	36 $\pm$ 4
(Min-max)	(17-48)	(29-43)
F/T M $\pm$ SD	1,1 $\pm$ 0.0	1,1 $\pm$ 0.0

Tableau 3.5: Valeur moyenne et déviation standard pour les patients NTD et CP. (M= moyenne, minimum, maximum) (129 cas)

Partie II : Chapitre 3 : paramètres longitudinaux et angulaires des membres inférieurs après l'âge de 6 ans

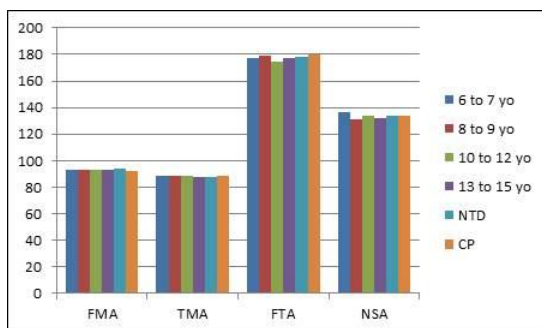


Figure 5

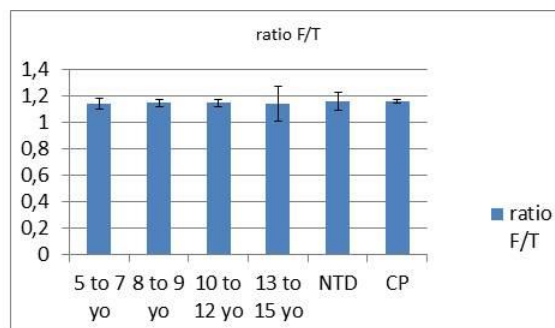


Figure 6

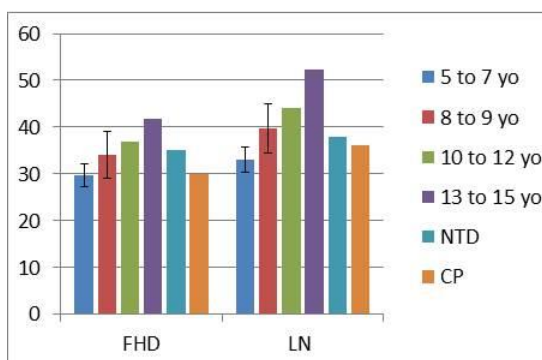


Figure 7

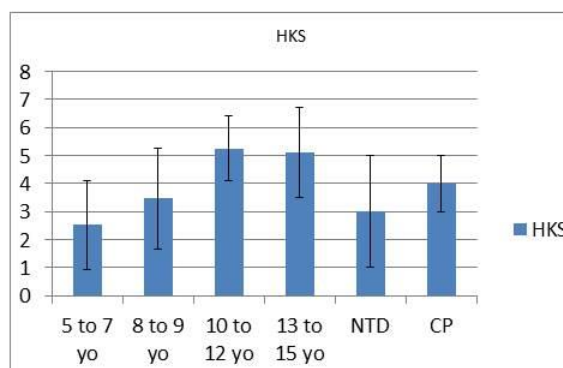


Figure 8

Figure 3.5	Evolution de la valeur moyenne pour angle fémoral (MFA) et tibial (MTA) mécanique, angle fémoro-tibial (AFT) et cervico-diaphysaire du fémur (NSA) selon l'âge
Figure 3.6	Evolution de la valeur moyenne pour le rapport fémur-tibia (F / T) selon l'âge.
Figure 3.7	Evolution de la valeur moyenne pour le diamètre de la tête fémorale (FHD) et la longueur du col du fémur (LN) selon l'âge (millimètre).
Figure 3.8	Evolution de la valeur moyenne pour HKS selon l'âge

4. Discussion

À notre connaissance, cette étude est la première à démontrer la fiabilité des reconstructions en 3D des MI de l'enfant dans la pratique quotidienne. En outre, à l'exception d'un article se concentrant sur les paramètres de torsion [12], il s'agit du premier travail donnant des valeurs de référence de longueur et d'angles chez les enfants à partir d'images 3D.

La principale limite de ce travail est qu'il s'agit d'une étude transversale, et non d'une étude de cohorte longitudinale. En outre, le sexe ratio est nettement en faveur des filles, en particulier dans le groupe I (tableau 1). Néanmoins, cela concerne le groupe de patients le plus jeune, pour lesquels les différences de morphologie globale entre les filles et les garçons ne diffèrent pas notablement. Cela ne nous permet en revanche pas de réaliser

une étude fiable de comparaison des paramètres en fonction du sexe de l'enfant.

L'objectif premier de cette étude était d'évaluer la fiabilité des paramètres angulaires et de longueur déduits des reconstructions 3D chez les enfants dans la pratique quotidienne. Pour réaliser cette étude, nous avons à la fois calculé l'ICC et l'écart-type de reproductibilité (SDr). En effet, ICC donne une estimation globale de la corrélation entre différentes mesures d'observateurs, mais ne fournit pas d'évaluation quantitative de l'incertitude. Bland et Altman [18] ont souligné que la corrélation entre données n'était pas le moyen le plus pertinent à utiliser, puisque dans la pratique clinique les mesures quantitatives et la connaissance de l'incertitude de celles-ci sont obligatoires pour le diagnostic (par rapport aux corridors de normalité) et le suivi longitudinal d'un patient donné. La Norme ISO 5725-2 fournit des directives pour la "détermination de la répétabilité et de la reproductibilité d'une méthode de mesure standard" [17]. Pour cette raison, en plus des valeurs d'ICC, la SDr est également rapporté dans cette étude. La reproductibilité inter-observateur et le CI95% des paramètres longitudinaux dans ce travail sont légèrement moins bons que ceux déjà rapportés dans des études strictement de recherche [10,11,19], cependant, ils sont suffisants pour être utilisés par les cliniciens. En ce qui concerne les paramètres angulaires, la reproductibilité est comparable à celle précédemment rapportées [10, 11, 19] (tableau 2)

Le deuxième objectif de ce travail était de donner des valeurs de référence pour ces paramètres cliniques chez les enfants sains, information fondamentale pour la bonne gestion des anomalies des MI. À notre connaissance, des valeurs de référence des paramètres de longueur ainsi que du NSA et de l'HKS n'ont jamais été publiés chez l'enfant, ce qui constitue une originalité de ce travail.

Paramètres de longueur

FHD et LN augmentent logiquement tout au long de la croissance, et dans le groupe de patients le plus âgé (IV), sont comparables à ce qui a déjà été publié pour l'adulte [22]. Le rapport de la longueur du fémur par celle du tibia (F/T) est stable pendant la croissance, autour de 1,1, avec une très faible variabilité (SD+/-0,03). Cela est très proche de ce qui a été rapporté par Than *et al.* [22] chez l'adulte (rapport F/T de 1,2). Ce résultat est cliniquement intéressant car l'évaluation de la longueur proportionnelle du fémur et du tibia, par exemple lorsque la question de l'allongement osseux se pose, est capitale. De plus, dans les pathologies osseuses constitutionnelles, les anomalies métaphysaires et épiphysaires nuisent à la croissance de l'os, et la référence à un rapport F/T normal est utile pour corriger les anomalies.

Paramètres d'angles

Les valeurs de MFA et MTA rapportées sont légèrement supérieures à celles publiées par Sabarwal *et al.* [20] (respectivement 87°-88° et 88°-90°), probablement parce que, dans cette étude, des mesures 3D ont été utilisées.

La diminution de valgus après l'âge de 7 ans est conforme aux valeurs de la littérature [2,3,20,21].

Patients NTD et CP

Bien que le but de ce travail n'ait pas été d'étudier les membres pathologiques, nos résultats montrent que les paramètres constants parmi les groupes d'âge des enfants TD (MFA, MTA FTA, NSA, F/T) restent constants chez les enfants NTD ou CP.

Pour conclure, cette étude est, à notre connaissance, la première à aborder la question clé de l'évaluation objective dans la routine clinique de l'alignement frontal des MI sur la base des mesures 3D. Les résultats obtenus confirment que le système EOS peut être utilisé en pratique quotidienne pour décrire les MI des enfants, même en cas de déformations orthopédiques ou CP. L'absence de différence statistique entre les résultats des techniciens de radiologie, utilisateurs de routine et ceux des chirurgiens orthopédiques experts, prouve qu'une fois formés, les techniciens en radiologie peuvent effectuer les reconstructions.

De plus, les données de référence rapportées dans ce travail font partie d'un effort continu visant à aider les médecins dans l'analyse de l'alignement des MI, afin d'améliorer le suivi ou de planifier les traitements.

Remerciements

Nous remercions Pascal CARON, Edith VETTER, Valerie BERNASCONI et Delphine CELEA, techniciens de radiologie pour leur aide avec les reconstructions.

Pas de conflit d'intérêt

Références

1. Jacquemier M, Jouve JL, Jimeno MT, Ramaherisson P, Giusiano B, Bollini G. Lower limb morphotypes. A clinical study in 1401 children. *Orthop Traumatol Surg Res.* 1997.83:531-9.
2. Salenius P, Vankka E . The development of the tibiofemoral angle in children. *J Bone Joint Surg* 1975.57-A:259-61.
3. Fabry G. Clinical practice. Static, axial, and rotational deformities of the lower extremities in children. *Eur J Pediatr.* 2010.169:529-34.
4. Heath CH, Staheli LT. Normal limits of knee angle in white children--genu varum and genu valgum. *J Pediatr Orthop* 1993.13:259-62.
5. Hinman RS, May RL, Crossley KM. Is there an alternative to the full-leg radiograph for determining knee joint alignment in osteoarthritis? *Arthritis Rheum.* 2006.15; 55:306-13.

6. 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(6):1730-5.
7. Pomero V, Mitton D, Laporte S, de Guise J.A, Skalli W. Fast accurate stereoradiographic 3D-reconstruction of the spine using a combined geometric and statistic model. *Clin. Biomech.* 2004.19, 240–247.
8. 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
9. Lebailly F, Lima L.V, 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, 757–765.
10. 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 inferences and clinical measurements calculation from biplanar X-rays. *Comput Methods Biomech Biomed Engin.* 2012.15:457-66.
11. 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
12. Gaumétou E, Quijano S, Ilharreborde B, 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.
13. 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* 2015.25:1752-1760
14. 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.
15. Roskopf AB, Ramseier LE, Sutter R, Pfirrmann CW, Buck FM. Comparison of 3D models based on low-dose biplanar radiography and low-dose CT. *Am J Roentgenol.* 2014.202:W285-W291.
16. McKenna C, Wade R, Faria R, Yang H, Stirk L, Gummerson N et al. EOS 2D/3D X-ray imaging system: a systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess.* 2012.16:1-188.
17. ISO5725-2:1994: ISO 5725-2 Accuracy (Trueness and Precision) of Measurements Methods and Results.—Part 2: Basic Method for the Determination of Repeatability and Reproducibility of a Standard Measurement Method, International Organisation for Standardisation, Geneva, Switzerland
18. Bland JA, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurements. *The Lancet*, 1986. 8: 307-10