

Etude anatomique du creusement de la trochlée fémorale chez le fœtus

Anatomic study of the anterior patellar groove in the fetal period

E. Garron *, J.-L. Jouve *, C. Tardieu **, M. Panuel *, O. Dutour *, G. Bollini ***

* UMRC 6578, Unité d'anthropologie, Adaptabilité Biologique et Culturelle, CNRS-Université de la Méditerranée, Faculté de Médecine Timone, 13385 Marseille Cedex 5.

** Laboratoire d'Anatomie Comparée, CNRS UMR 8570, Muséum National d'Histoire Naturelle, 55, rue Buffon, 75005 Paris.

*** Service de Chirurgie Orthopédique Pédiatrique, Hôpital d'Enfants de la Timone, 264, rue Saint-Pierre, 13385 Marseille Cedex 5.

ABSTRACT

Purpose of the study

We performed a biometric analysis of the femoral trochlea in the fetus and compared our findings with those observed in adults in order to search for correlations with other biometric parameters of the femur.

Material and method

Twenty-two fetuses (44 knees) conserved in formol and free of known orthopedic disease were studied. Fetal age ranged from 26 to 40 weeks. After anatomic dissection, digitalized images were used to obtain angle measurements with a dedicated software. Measurements made on the distal epiphyseal view were: anteroposterior dimension of the condyles, medial and lateral protrusion of the trochlear borders, difference in condyle height, length of the trochlear borders, alpha angle of the trochlear groove, trochlear slope.

Measurements made on the AP femoral view were: femoral anteversion, length of the femoral neck, neck-shaft angle. Spearman's test was used to search for correlations. Results were compared with measurements obtained under the same conditions in a series of 32 adult knees published by Wanner.

Results

The trochlear alpha angle was 148° (coefficient of variation 4%). The angle was greater than 150° for 18 trochleae. The lateral border of the trochlea was higher than the medial border in 37 of the 44 knees. There was no correlation with age and gender. Femoral anteversion was 27.01°, with a high coefficient of variation (46%), and no correlation with the trochlear alpha angle. Comparison with measurements made on the adult knees revealed no significant difference.

Discussion

This is the first report of statistically significant biometric data of the fetal trochlea. The morphology of the lower femur observed during the third trimester of fetal life is the same as observed in adults. Morphological changes in the proximal femur occurring during growth do not appear to modify the morphology of the distal femur. The asymmetrical ingression of the patella into the trochlea, characteristic of modern man, is considered to result from bipedalism. Our study would suggest that the anatomic characteristics of the trochlea could have been integrated into the genome during the course of evolution. This would be in favor of a genetic origin of trochlear dysplasia.

Key words: Femoral trochlea, comparative anatomy, embryology of the knee.

RÉSUMÉ

L'objectif de ce travail est d'établir la première évaluation biométrique de la trochlée fémorale fœtale statistiquement significative, la comparer avec les valeurs observées chez l'adulte et rechercher des corrélations avec les autres valeurs biométriques du fémur.

Quarante-quatre genoux prélevés chez des fœtus âgés de 26 à 40 semaines ont été étudiés. Après dissection, plusieurs paramètres ont été mesurés à partir de documents photographiques numériques et d'un logiciel de mesure angulaire, notamment la saillie des berges trochléennes, les angles des pentes trochléennes, l'angle alpha d'ouverture de la trochlée, l'antétorsion fémorale.

Tirés à part : J.-L. JOUVE, à l'adresse ci-dessus.

E-mail : jjouve@ap-hm.fr

Acceptation définitive le : 28 février 2003

L'angle alpha d'ouverture de la trochlée était à 148° pour un coefficient de variabilité faible de 4 %. L'antétorsion fémorale était de $27,01^\circ$ avec un coefficient de variabilité très important de 46° sans corrélation avec l'angle d'ouverture trochléenne. Il n'a pas été retrouvé de différence significative avec une série comparable de trochlées adultes publiée par Wanner. Les modifications morphologiques du fémur proximal observées au cours de la croissance ne semblent pas modifier la morphologie du fémur distal établie dès la période fœtale. Ces résultats semblent confirmer que les caractères anatomiques de la trochlée ont pu être intégrés dans le génome au cours de l'évolution. Ceci expliquerait l'origine génétique de certaines dysplasies trochléennes.

Mots clés : Trochlée fémorale, anatomie comparée, embryologie du genou.

INTRODUCTION

L'homme, seul primate exclusivement bipède, possède une trochlée creusée en son milieu, asymétrique, avec une berge externe plus saillante. L'engagement de la rotule sur une trochlée de plus en plus profonde et asymétrique semble être une spécificité de l'homme moderne. Ce caractère serait essentiellement la conséquence de la bipédie [Hugston (1), Tardieu (2), Tardieu et Preuschoft (3)].

Il existe cependant une grande variabilité individuelle des caractéristiques anatomiques de la trochlée fémorale chez l'homme [Dejour et Walch (4), Garin (5), Karger (6), Wanner (7)]. Les observations sur le nouveau-né et le fœtus ont montré que certains individus présentaient à un stade très précoce une trochlée déjà creusée avec une berge externe parfois saillante. Ces observations n'ont cependant été réalisées que sur peu de spécimens, montrant cependant dès ce stade une variabilité non négligeable de l'importance de la saillie de la berge externe de la trochlée. Notre objectif était de réaliser une évaluation biométrique de la trochlée fémorale chez le fœtus, de comparer ces valeurs avec les valeurs observées chez l'adulte, enfin, de rechercher des corrélations avec les autres paramètres biométriques du fémur notamment antéversion et angle d'obliquité fémorale. Ce travail constitue la première évaluation biométrique statistiquement significative chez le fœtus. Il vise à établir si la trochlée cartilagineuse présente une morphologie proche de la trochlée osseuse adulte ou si cette morphologie subit de profonds remaniements au cours de la période de croissance post-natale. L'observation d'un nombre significatif de sujets présentant une trochlée creusée en prénatal plaiderait en faveur de l'influence de facteurs génétiques progressivement apparus au cours de l'évolution et non de seuls facteurs mécaniques dus à l'acquisition de la marche. Cette étude peut également permettre de mieux comprendre la genèse de certains morphotypes prédisposant à la luxation ou l'instabilité rotulienne, pathologie encore mal comprise et donnant lieu à des divergences thérapeutiques importantes.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Il s'agit d'obtenir une évaluation statistiquement interprétable des variations de creusement de la trochlée fémorale cartilagineuse du fœtus à partir d'un protocole anatomique reproductible.

Matériel

Le travail a été effectué à partir de fœtus fixés dans le formol provenant de l'Institut Médico-Légal de la Faculté de Médecine de Marseille. Vingt-deux fœtus ont été inclus dans le protocole, soit 44 genoux. Il s'agissait de 12 fœtus de sexe mâle et 10 fœtus de sexe féminin. L'âge des fœtus allait de 26 semaines à 40 semaines.

Méthode

Les dissections ont été réalisées au laboratoire de Médecine Légale de la Faculté de Médecine de Marseille. Pour chaque fœtus, les 2 fémurs ont été prélevés en totalité. Les mesures anatomiques ont été réalisées à partir de documents photographiques numérisés avec un appareil numérique Sony *Mavica*. Le traitement des images ainsi que les mesures ont été réalisés sur un ordinateur PC 133 Mhz, système Windows 1998 à l'aide du logiciel Photoshop 5.0. Deux incidences photographiques ont été effectuées pour chaque fémur :

— Incidence épiphysaire distale (*fig. 1*) : la pièce fémorale reposait sur un plan dur, horizontal en appui sur les deux condyles au niveau distal et sur le petit trochanter au

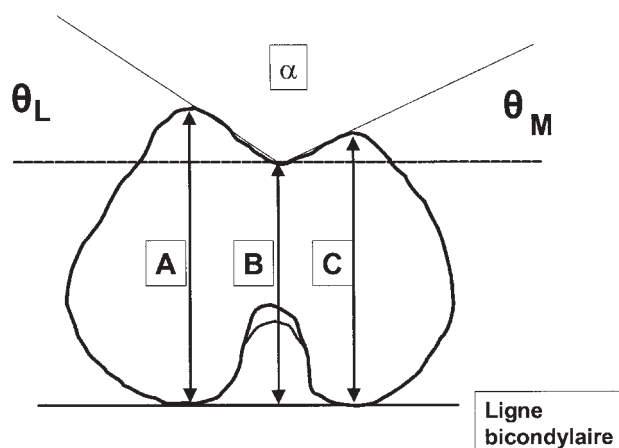


FIG. 1. — Mesures épiphysaires distales : A : dimension antéro-postérieure du condyle externe. B : hauteur du fond de la gorge trochléenne. C : dimension antéro-postérieure du condyle interne. Alpha : angle d'ouverture de la trochlée. Thêta L : pente trochléenne externe. Thêta M : pente trochléenne interne.

niveau proximal. L'objectif photographique était stabilisé par un pied perpendiculaire au plan supportant le fémur. Pour chaque fémur ont été mesurées les valeurs A (dimension antéro postérieure du condyle externe), B (hauteur de la berge trochléenne), C (dimension antéro postérieure du condyle interne), A-B (saillie de la berge externe trochléenne), C-B (saillie de la berge interne trochléenne), A-C (différence de hauteur des 2 condyles), D (longueur de la berge externe trochléenne), E (longueur de la berge interne trochléenne), angle alpha (angle d'ouverture de la trochlée), angle thêta L (pente trochléenne externe), angle thêta M (pente trochléenne interne).

— Incidence épiphysaire proximale, le fémur était positionné sur le même support, la photo de l'épiphyse proximale permettait la mesure de l'antéversion fémorale (AV) par rapport au plan bicondylien.

— Incidence du fémur de face en totalité. Le fémur était positionné sur le même support que pour l'incidence précédente. Le cliché photographique était pris à distance constante du support. Sur cette incidence ont été mesurés, la longueur du col fémoral (A'C') et l'angle cervico diaphysaire (A'C'D').

Evaluation statistique des résultats

Le logiciel utilisé pour l'ensemble des calculs statistiques est le logiciel Intercooled Stata 6.0¹.

Une évaluation simple des valeurs mesurées a été réalisée pour chaque critère comportant le calcul de la moyenne (M), de la déviation standard (SD), et du coefficient de variabilité (CV % = SD/M).

Le test de Spearman a été utilisé pour vérifier l'existence de corrélation entre l'angle alpha et les 3 variables AV, A'C'D' et AOF.

Enfin, les résultats obtenus ont été comparés avec ceux mesurés anatomiquement dans les mêmes conditions sur des fémurs adultes dans la série de Wanner (7). Les valeurs angulaires thêta L, thêta M, alpha ont été comparées à notre série en utilisant une analyse de variance (série non appaillée et indépendante).

RÉSULTATS

La synthèse des valeurs numériques retrouvées est résumée dans le *tableau I*. Le critère le moins variable observé était l'angle alpha d'ouverture de la trochlée avec une valeur moyenne à 148,7° pour un coefficient de variabilité de 4 % (*fig. 2*). Dix-huit trochlées sur 44 avaient un angle d'ouverture alpha supérieur à 150° (40 % de la série). Ces 18 trochlées pouvaient être considérées selon les critères retenus chez l'adulte comme « plates ». La berge externe de la trochlée a été retrouvée dans 37 cas plus élevée que la berge interne en moyenne de 0,6 mm. Dans 5 cas, les deux berges avaient la même hauteur. Dans 2 cas, la berge externe était

TABEAU I. – Résultat en terme de moyenne, déviation standard et coefficient de variabilité.

	M	SD	CV (%)
A (cm)	1,10	0,21	19
B (cm)	0,98	0,08	8
C (cm)	1,05	0,20	19
A-B (cm)	0,12	0,04	33
A-C (cm)	0,05	0,04	80
C-B (cm)	0,06	0,03	50
D (cm)	0,38	0,10	26
E (cm)	0,28	0,08	28
Alpha (°)	148,70	6,29	4
Thêta L (°)	18,49	3,59	19
Thêta M (°)	12,72	4,44	34
AV (°) N = 43	27,01	12,46	46
A'C'D' (°)	134,20	9,75	7
A'C' (cm)	0,98	0,24	24

Moyenne (M), déviation standard (SD), coefficient de variabilité (CV en % = SD/M), A (dimension antéro postérieure du condyle externe), B (hauteur de la berge trochléenne), C (dimension antéro postérieure du condyle interne), A-B (saillie de la berge externe trochléenne), A-C (différence de hauteur des 2 condyles), C-B (saillie de la berge interne trochléenne), D (longueur de la berge externe trochléenne), E (longueur de la berge interne trochléenne), angle Alpha (angle d'ouverture de la trochlée), angle Têta L (pente trochléenne externe), angle Têta M (pente trochléenne interne), antéversion fémorale (AV), angle cervico diaphysaire (A'C'D'), longueur du col fémoral (A'C').

plus basse que la berge interne. La longueur de la face latérale de la trochlée a été régulièrement retrouvée plus longue que celle de la face médiale mais nous avons relevé 9 cas (20 % de la série) où le rapport était inversé et la face médiale plus longue que la face latérale. Nous n'avons retrouvé par ailleurs aucune corrélation entre les résultats de nos mesures et l'âge et le sexe des sujets étudiés.

Les valeurs mesurées sur les genoux droit et gauche d'un même sujet étaient le plus souvent très proches. Nous avons relevé cependant 3 cas où les résultats étaient très différents concernant notamment l'angle alpha avec des différences de 20°.

Concernant la biométrie globale des fémurs, l'antéversion du col fémoral était en moyenne de 27,01° avec un coefficient de variabilité très important de 46 %. Les tests de

¹ State Corporation, Texas, Etats-Unis.

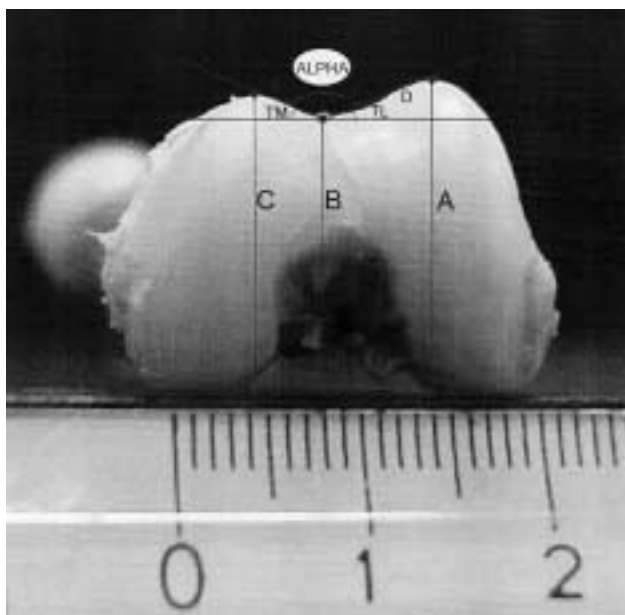


FIG. 2. – Photographie en incidence épiphysaire distale du genou gauche d'un fœtus de 27 semaines. L'angle alpha d'ouverture trochléenne est de $135,5^\circ$. La berge externe est plus saillante et plus longue que la berge interne.

corrélations de Spearman ont montré l'absence de corrélation de ce facteur avec l'angle alpha d'ouverture trochléenne.

L'analyse de variance comparant la série de fémurs adultes de Wanner (7) et notre série de fémurs fœtaux a concerné les angles θ L, θ M et alpha. Les résultats montrent une différence significative concernant les mesures de θ M ($P = 0,0001$). Il n'a, en revanche, pas été retrouvé de différence significative au niveau de l'angle θ L et l'angle alpha.

DISCUSSION

Les travaux concernant l'articulation fémoro patellaire fœtale sont peu nombreux. La plus grande série publiée concernant le creusement de la trochlée cartilagineuse fœtale n'a jusqu'à ce jour porté que sur peu de spécimens.

Bernays (8), en 1978, publie la première description anatomique du genou embryonnaire et situe le début de son développement avant les premières contractions musculaires fœtales.

Vries (9), en 1908, décrit plus particulièrement la rotule fœtale et constate que la morphologie patellaire est superposable à celle de l'adulte dès le 4^e mois de la vie intra-utérine.

Walmsley (10) note, en 1940, le creusement de la trochlée fémorale chez des embryons de 30 mm de long soit 11 semaines d'aménorrhée (SA) mais insiste surtout sur la

hauteur du bord externe de la trochlée plus élevée que celle du bord interne.

Gray et Gardner (11), en 1950, constatent que les surfaces articulaires fémorales et rotuliennes sont dessinées avant même que l'articulation fémoro patellaire soit parfaitement en place. Ils sous-entendent l'existence de facteurs autres que des facteurs mécaniques à l'origine de la formation des surfaces cartilagineuses articulaires de l'articulation fémoro patellaire.

Doskocil (12), en 1985, publie la première série concernant l'étude anatomique d'articulations fémoro patellaires embryonnaires. Il s'agissait de 14 articulations sur des embryons de 40 à 85 jours (6 à 12 SA) fixés dans le formol. L'âge était déterminé à partir de la longueur de la plante du pied et du terme connu par rapport à la date des dernières règles. Huit à 12 coupes par articulation avaient été réalisées. Doskocil (12) constate qu'aux stades les plus précoces, les surfaces articulaires de la trochlée et de la rotule sont asymétriques. Il s'agit cependant d'une appréciation visuelle sans donnée chiffrée. Doskocil (12) constate également une migration de la rotule de haut en bas au cours du développement embryonnaire jusqu'à sa place définitive en regard de la trochlée au cours du 3^e mois de la vie intra-utérine. L'auteur insiste enfin sur l'orientation du tendon rotulien en continuité directe avec le tendon du muscle droit antérieur, dont la variation d'obliquité peut retentir sur la position de la rotule par rapport à la trochlée fémorale et donc sur le remodelage mécanique secondaire des surfaces articulaires. Doskocil soutient ainsi la thèse d'une organisation initiale de la forme des surfaces articulaires inscrites dans le génome, avec un remodelage possible dans la deuxième partie de la vie intra-utérine sous l'effet de facteurs positionnels.

Plus récemment, Clavert (13) en 1991, Larsen (14) en 1993, et Mallet (15) en 1994, ont successivement insisté sur l'importance de la rotation des membres inférieurs, le développement du myotome et notamment du muscle vaste interne comme stabilisateur de la rotule, ainsi que sur la formation de la cavité articulaire définitive du genou au cours de la vie fœtale.

La littérature est riche concernant les relations entre le creusement de la trochlée et la pathologie fémoro patellaire de l'enfant et de l'adulte [Garin (5), Brattström (16), Buard *et al.* (17)] mais seul Wanner (7) rapporte, en 1977, une biométrie du creusement de la trochlée fémorale de l'adulte. Le travail de Wanner porte sur une série de 32 fémurs adultes provenant du laboratoire d'anthropologie de l'université du Colorado. Les mesures ont été effectuées en plaçant les pièces anatomiques sur un plan horizontal en appui sur les deux condyles et la ligne inter-trochantérienne. Chaque pièce a été prise en photographie selon une incidence parallèle au plan horizontal en incidence épiphysaire distale. Les mesures effectuées sur les clichés photographiques ont porté sur l'ensemble des valeurs décrites dans notre propre série. Wanner conclut chez l'adulte à une hauteur plus

importante de la berge latérale par rapport à la berge médiale de la trochlée et à une longueur de la face latérale de la trochlée globalement équivalente au double de celle de la face médiale. Ces valeurs sont dans l'ensemble très variables comme le montrent ces coefficients de variabilité rapportés pour A-B (28,52 %), C-B (44,4 %), D (16,33 %), E (24,4 %), θ L (26,54 %) et θ M (40,12 %). En revanche, il retrouve une stabilité remarquable de l'angle alpha d'ouverture de la trochlée mesuré en moyenne à 147,93° avec un faible coefficient de variabilité (6,06 %). Wanner a d'autre part mesuré l'angle d'obliquité fémorale (AOF) de l'ensemble des fémurs de sa série dont la moyenne est de 9,55° avec un coefficient de variabilité de 23,87 %. L'auteur ne retrouve aucune corrélation entre la valeur de l'angle AOF et la hauteur de la berge trochléenne externe, la pente trochléenne ou l'angle d'ouverture de la trochlée.

Notre série concerne des fœtus dans le 3^e trimestre de la vie intra-utérine donc plus âgés que ceux étudiés par Dorskocil (12) avec un sex ratio équilibré. Le nombre de genoux étudiés est suffisant pour effectuer une analyse statistique. Concernant la méthodologie, la méthode anatomique que nous avons utilisée nous paraît présenter l'avantage d'une bonne reproductibilité. Le problème réside d'une part dans la difficulté de dissection sur un matériel anatomique de taille réduite et fragile, d'autre part dans la réalisation des photographies numérisées selon un protocole unique quant à l'angle et à la distance prise des différents plans. Le repérage sur ordinateur des points de référence s'est fait de façon manuelle et peut être à l'origine de biais. En revanche, la mesure informatisée est peu susceptible d'être à l'origine d'erreur. Nos résultats sont marqués par l'existence d'une valeur relativement constante de l'angle alpha d'ouverture de la trochlée fémorale (moyenne à 148,70°) avec coefficient de variabilité faible. La berge externe est dans la majorité des cas retrouvée plus élevée que la berge interne. Ces résultats sont concordants avec les observations rapportées par Dorskocil (12) sur des fœtus plus jeunes et avec ceux de Wanner (7) qui dans sa série adulte avec un protocole analogue à celui que nous avons utilisé retrouve un angle alpha moyen de 147,93° donc très proche de la notre. Ces résultats confirment également les travaux de Gray et Gardner (11) qui notaient l'asymétrie des surfaces articulaires et le creusement de la trochlée fémorale dès les premières semaines de la vie et plaident pour une morphologie de l'épiphyse fémorale distale inscrite dans le génome.

De nombreux auteurs se sont penchés sur l'étiopathogénie de la maladie luxante de la rotule. Les facteurs de stabilité de la rotule ont bien été résumés par Garin (5) et sont de 3 types : osseux, musculaires et capsulo-ligamentaires.

Parmi les facteurs osseux, la dysplasie trochléenne est de loin le facteur le plus fréquent pouvant être la cause d'une instabilité rotulienne. Pour Dejour et Walch (4), la trochlée est plate par hyper ou hypoplasie du versant externe. La dysplasie rotulienne et diverses anomalies axiales du membre inférieur sont d'autres facteurs déstabilisants l'appareil

extenseur du genou. Tous les auteurs s'accordent pour dire que l'antéversion fémorale et la torsion tibiale externe sont plus élevées que la moyenne chez les enfants présentant une instabilité rotulienne [Garin (5)]. Aucune étude statistique n'a cependant été publiée à ce sujet. Notre étude montre l'absence de corrélation entre l'antéversion fémorale et l'angle d'ouverture de la trochlée chez des sujets qui présentaient tous une rotule en place à 90° de flexion du genou. La rotule était en position physiologique en regard de la trochlée pour l'ensemble des genoux. Cet élément est cependant difficilement interprétable puisque par définition le fœtus est en position de genoux fléchis *in utero*. La rotule est donc franchement engagée dans la trochlée et tout aspect de subluxation en début de flexion est occulté.

Heiple et Lovejoy (18) notaient, dès 1971, une fréquence plus importante des luxations rotuliennes chez les individus, le plus souvent de sexe féminin, qui présentaient un angle d'obliquité fémorale élevé. Ils suggéraient qu'il devait exister une relation entre une trochlée creusée avec une berge externe saillante et un angle d'obliquité fémorale élevé chez les hominidés. Wanner (7) ne retrouve dans son étude aucune corrélation entre l'angle d'obliquité fémorale et la hauteur de la berge externe de la trochlée, la pente trochléenne et l'angle d'ouverture trochléen. Sur un échantillon de 40 fémurs adultes, Tardieu ne retrouve pas non plus de corrélation (étude non publiée).

Une trochlée creusée asymétrique avec une lèvre externe saillante ainsi qu'un angle d'obliquité fémorale positif sont des facteurs associés à la bipédie pour de nombreux auteurs [Heiple et Lovejoy (18), Tardieu *et al.* (19-21)]. Ils ont publié des études comparant fémurs de grands singes et fémurs d'hominidés. Les grands singes non bipèdes présentent une épiphyse fémorale avec une trochlée plate, large, symétrique, une rotule de forme équivalente, associée à une flexion de genou incomplète permettant à la rotule de rester engagée en regard de la trochlée. La diaphyse est verticale par rapport au plan condylien inférieur avec un angle d'obliquité fémorale nul.

L'observation des fossiles hominidés montre que, d'un point de vue évolutif, l'angle d'obliquité fémorale fut la cause de la formation d'une trochlée creusée et saillante sur sa berge externe. En effet, les fémurs fossiles datant de 3 millions d'années présentent un angle d'obliquité fémorale déjà élevé, interprété par les auteurs comme le signe d'une bipédie déjà installée. Cet angle est associé à une épiphyse dont la forme trochléenne reste primitive, très peu creusée et symétrique. Des fossiles plus récents (1,8 millions d'années) montrent la présence d'un angle d'obliquité positif et d'une épiphyse moderne comme sur les fémurs actuels : la trochlée est creusée et asymétrique, permettant à la rotule de rester axée en extension complète chez des individus complètement bipèdes. On sait que diaphyse et épiphyse se développent de façon indépendante, la croissance diaphysaire, linéaire, est rapide, la croissance épiphysaire, multidirectionnelle, est lente [Pous (22)]. Tardieu (19,

20) a montré que le développement de l'obliquité de la diaphyse fémorale se fait en lien avec l'apprentissage de la marche, c'est un caractère épigénétique fonctionnel sans aucun déterminisme génétique.

Malgré leur lien fonctionnel évident, angle d'obliquité et saillie trochléenne externe ne se développent pas suivant le même processus ontogénétique. La saillie de la lèvre externe est un caractère qui a d'abord été « acquis » en réponse à la présence de l'angle d'obliquité fémorale et en lien avec la pratique de plus en plus fréquente de l'extension totale du genou, éminemment utile à la performance de la marche des premiers hominidés. Il a été ensuite sélectionné et « assimilé génétiquement », c'est pourquoi on le trouve chez l'homme actuel dès le stade fœtal.

Notre étude permet de montrer que la morphologie des extrémités inférieures des fémurs de fœtus au cours du 3^e trimestre de grossesse est globalement superposable à celle des fémurs d'individus adultes. Les caractères anatomiques épiphysaires et notamment trochléens ont pu donc être intégrés dans le génome au cours de l'évolution. Un exemple du probable déterminisme génétique de l'anatomie de l'extrémité inférieure du fémur humain est fourni par l'existence de formes familiales de dysplasie trochléenne bilatérale avec luxation récidivante de la rotule [Rouvillain *et al.* (23)]. L'origine génétique de la dysplasie trochléenne avait déjà été évoquée par Dejour et Walch (4) devant la fréquence des atteintes mère-fille ou frère-sœur et la bilatéralité constante de cette anomalie. L'hypothèse de l'assimilation génétique progressive des modifications anatomiques de la trochlée fémorale des hominidés, dues à l'évolution et l'acquisition de la bipédie est séduisante mais demande à être vérifiée.

Références

- HUGHSTON JC : Subluxation of the patella. *J Bone Joint Surg (Am)*, 1968, 50, 1003-1026.
- TARDIEU C : Short adolescence in early hominids: infantile and adolescent growth of the human femur. *Am J Phys Anthropol*, 1998, 107, 163-178.
- TARDIEU C, PREUSCHOFT H : Ontogeny of the knee joint in humans, great apes and fossil hominids: pelvi-femoral relationships during postnatal growth in humans. *Folia Primatol*, 1996, 66, 68-81.
- DEJOUR H, WALCH G : La dysplasie de la trochlée fémorale. *Rev Chir Orthop*, 1990, 76, 45-54.
- GARIN C : L'instabilité rotulienne chez l'enfant. Conférences d'Enseignement de la SO.F.C.O.T., *Exp Scient Fr*, Paris, 1995, 52, 203-217.
- KARGER C : Caractéristiques biomécaniques du genou de l'enfant. In : J.F. Mallet, J. Lechevallier : Chirurgie et Orthopédie du Genou de l'Enfant, Sauramps Médical, Montpellier, 1993, 41-52.
- WANNER JA : Variations in the anterior patellar groove of the human femur. *Am J Phys Anthropol*, 1977, 47, 99-102.
- BERNAYS A : Die Entwicklungsgeschichte des Kniegelenks des Menschen mit Bemerkungen über die Gelenke in Allgemeinem. *Gegenbaurs Morphol Jahrb*, 1878, 4, 403-446.
- VRIES B : Zur Anatomie der Patella. *Vehr. Anat. Ges. In: Anat. Anz., Ergänzungsh. Z. Bd.*, 1908, 32, 163-169.
- WALMSLEY T : The development of the patella. *J Anat*, 1940, 74, 360-368.
- GRAY D, GARDNER E : Prenatal development of the human knee and superior tibiofibular joints. *Amer J Anat*, 1950, 86, 233-287.
- DOSKOCIL M : Formation of the femoropatellar part of the human knee joint. *Folia Morphologica*, 1985, 33, 38-47.
- CLAVERT JM : Développement embryonnaire des membres et orthopédie. Cahiers d'enseignement de la SO.F.C.O.T., *Exp Scient Fr*, Paris, 1991, 40, 15-28.
- LARSEN JW : Human embryology, Churchill Livingstone, London, 1993, 281-307.
- MALLET JF : Malformations congénitales de l'appareil extenseur du genou. Editions Techniques, *Encycl Med Chir, Appareil Locomoteur*, Elsevier, Paris, 15-230-A-10, 1994, 6 p.
- BRATTSTRÖM H : Shape of the intercondylar groove normally and in recurrent dislocation of the patella. *Acta Orthop Scand*, 1964, 68, suppl II, 53-78.
- BUARD J, BENOIT J, LORTAT-JACOB A, RAMADIER JO : Les trochlées fémorales creuses. *Rev Chir Orthop*, 1981, 67, 721-729.
- HEIPLE KJ, LOVEJOY CO : The distal femoral anatomy of Australopithecus. *Am J Phys Anthropol*, 1971, 35, 75-84.
- TARDIEU C : Ontogenèse/phylogenèse de caractères postcraniens chez l'homme et les hominidés fossiles. Influence fonctionnelle, déterminisme génétique, interactions. *Biosystema 18-Caractères*, 2000, 71-85.
- TARDIEU C, DUPONT JY : Origine des dysplasies de la trochlée fémorale : anatomie comparée, évolution et croissance de l'articulation fémoro-patellaire. *Rev Chir Orthop*, 2001, 87, 373-383.
- TARDIEU C, TRINKAUS E : Early ontogeny of the human femoral bicondylar angle. *Am J Phys Anthropol*, 1994, 95, 183-195.
- POUS JG : Le cartilage de croissance. Conférences d'enseignement de la SOFCOT. *Exp Scient Fr*, Paris, 1982, 15, 41-54.
- ROUVILLAIN JL, PIQUION N, LEPAGE-LEZIN A, GARSAUD AM, COUETTE P, DELATTRE O, CATTONE Y : Une forme familiale de luxation récidivante bilatérale de la rotule avec dysplasie trochléenne majeure. *Rev Chir Orthop*, 1998, 84, 285-291.