

L'épine humérale, aspect histologique embryonnaire

The humeral spine, histological aspect in the embryo

Y Laburthe-Tolra*, P. Barbet**

* Membre honoraire de l'Académie Nationale de Chirurgie

** Service d'anatomie pathologique, hôpital Saint Vincent de Paul, Paris.

Mots clés

- ◆ Humérus
- ◆ embryon

Keywords

- ◆ Humerus
- ◆ embryo

Résumé

L'épine n'est ni un processus, ni une variante, ni une variation de l'extrémité distale de l'humérus. C'est un caractère évolutif rare chez l'adulte, très fréquent chez l'embryon (au moins 55% des cas). Il disparaît normalement au cours du début de l'ontogenèse. Quand il persiste, il manifeste un atavisme qui semble lui être particulier et un état plésiomorphe ou ancestral résurgent.

Abstract

The spine is neither a true process, nor a variation, nor even a variant of the distal extremity of the humerus. It represents an evolutionary feature rarely observed in the adult, but frequently expressed in the embryo (in at least 55 % of the cases). It normally disappears during the early ontogenic stages. Whenever persisting, it shows both an atavism - which seems to be relatively peculiar to it - and a plesiomorphic or ancestral resurgent state.

Au terme d'une précédente communication (1), nous avons conclu que le processus supra-condylaire médial de l'humérus fœtal mériterait une étude de l'organogenèse locale de l'humérus embryonnaire d'amont (fig. 1). Cela permettrait de reconsidérer la nature profonde de cette formation. Le but de cette dernière communication est d'explorer cet « organite » (2) avec les moyens d'investigation microanatomique actuels. Nous proposons de substituer au prétendu processus (3) le terme d'épine humérale (fig. 2), terme qui satisfait les aspects anatomiques et évolutifs locaux.

Nous insisterons sur l'extrême sensibilité de nos techniques et la nécessité de collaborateurs exceptionnels en microanatomie, microinformatique et en anatomie comparée. Nous avons orienté notre étude sur la région de l'humérus située juste au-dessus de la palette humérale, siège possible de cette épine, anatomiquement inclassable.

Figure 1 –
Embryon de stade 18, soit vers environ 44 jours
(en comparaison un fœtus de 6 cm, soit environ 75 jours)



Figure 1.

Correspondance :

P Barbet, service d'anatomie pathologique, hôpital St Vincent de Paul, 74 avenue Denfert-Rochereau, 75014 Paris.

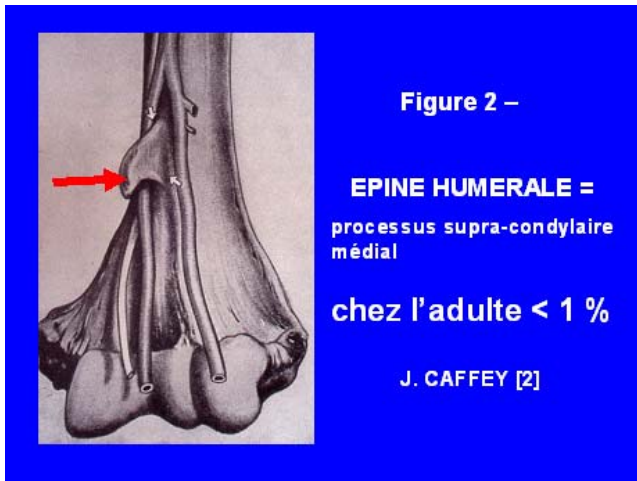


Figure 2.

- la collection H Rouvière, J Debeyre du service d'anatomie de la faculté de médecine, 45 rue des Saints Pères, Paris 75006, service dirigé successivement par messieurs les Professeurs JP Lassau et Vincent Delmas, pour 90 cas ;
- et le service d'anatomie pathologique de l'hôpital Saint Vincent de Paul, 74 avenue Denfert-Rochereau, avec Monsieur le Professeur P Barbet, pour 11 cas.

À cela s'ajoutent 24 observations cliniques personnelles ou confiées par des collègues, soit 9 407 cas (fig. 3). Cette réunion totalise un nombre de cas jamais réalisé, sauf erreur, d'humérus étudiés. De plus, on a pu profiter des collections d'Anatomie comparée du Muséum national d'Histoire Naturelle de Paris.

Sur les 101 humérus microscopiques, 28 étaient inutilisables par mauvaise conservation des lames, défaut de coloration des coupes, défaut de centrage. Surtout certains sujets étaient trop petits (moins de 5 mm du vertex au pôle fessier), dystrophiques et trop jeunes. Les tissus n'étaient alors pas individualisables, à la limite de l'observation optique microscopique.

Nous n'avons pas pu comparer les côtés droit et gauche, pas forcément intéressés par le microtome au même niveau. Nous avons dessiné et photographié les coupes les plus informatives.

Les 90 microhumérus des Saints-Pères avaient été techniqués en 1925, 1935, 1948... (fig. 4). Onze venaient de l'hôpital suite à 10 interruptions médicales de grossesse récentes faites ailleurs. Dans ces cas, la technique était réalisée à notre attention, en particulier au point de vue orientation.

Figure 3 - MATÉRIEL ET MÉTHODES
1976 – 2008 = 9384 HUMERUS

Humerus	Épine humérale	
3000	(29)	ÉCOLE DE CHIRURGIE (Pr CABROL) Société Anatomique de Paris, 23.11.2001
2569	(12)	divers
3715	(5)	ANATOMOPATHOLOGIE, St Vincent de Paul Académie Nationale de Chirurgie, 6.06.2007
9283	(46)	TOTAL MACROSCOPIE
101		TOTAL MICROSCOPIE (Prs BARBET, LASSAU, DELMAS : Académie Nationale de Chirurgie, 11.06.2008
9384 HUMERUS : TOTAL GÉNÉRAL (+ 24 cliniques)		

Figure 3.

La zone observée était de taille infime, 500 à 1000 µm soit 1/2 à 1 mm de haut en bas et de dehors en dedans (latéral - médial). Chaque coupe était de 5 microns. Il y en avait 3 ou 4 par lame (distantes de 10 µm). On les reproduisait au scanner. L'image était contournée optiquement. On reconstruisait en 3D par la superposition des contours. Cette superposition supposait « collés » exactement les points homologues, sans repère de l'axe général de l'humérus. Toute irrégularité de contourage perturbait la reconstruction en 3D. Tous les embranchements des plexus brachiaux étaient impossibles à contourner (et pourtant tout proches de l'épine chez l'embryon). On avait donc des vides, des imprécisions, des artefacts par saturation électronique voire des déformations. Nous n'avons reproduit que les seuls nerfs médian (en bleu vert) et ulnaire (en jaune) et les futurs os du coude. L'épine n'est présente que sur quelques coupes. Le contourage manuel prend un temps considérable. Notre courbe d'apprentissage a été lente.

En 2006, d'autres publications (4) également souffraient des limites de la méthode par insuffisance de la puissance des ordinateurs. En 2008, les logiciels semblent plus performants, on achoppe (5) toujours sur l'orientation des coupes, au mieux perpendiculaires (type « saucisson »), irréalisables sur un coude technique en flexion pronation. Il n'y a pas de système orthogonal de référence chez l'embryon au niveau du coude.

Nous présenterons donc des aspects en pile d'assiettes, en tire-bouchon, en accordéon, résultats de toutes ces imprécisions, sans avoir pu profiter des améliorations de la technolo-

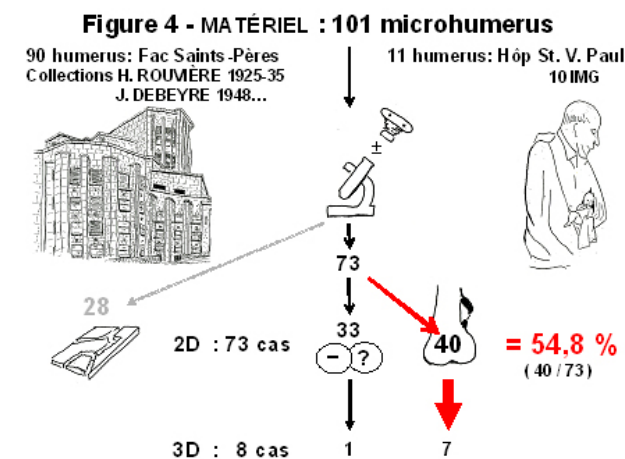


Figure 4.

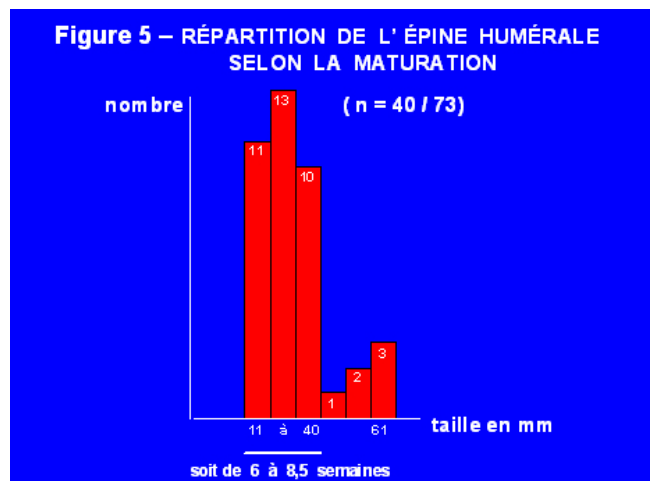


Figure 5.

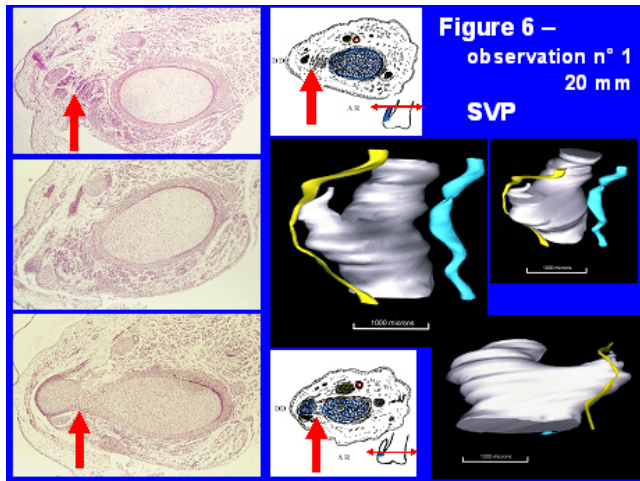


Figure 6.

gie (6). Toute erreur dans l'enregistrement en recalage est agrandie considérablement.

D'après nos recherches, la technique 3D fine a été d'usage exceptionnel pour l'embryologie précoce. Elle paraît être très « opérateur dépendante ».

Résultats

À partir des 101 microhumérus, 73 spécimens étaient techniquement exploitables. Sur 33 cas, nous n'avons pas vu d'épine humérale, que celle-ci ait été absente, non reconnue ou confondue avec des irrégularités. Dans 40 autres cas, nous avons découvert cette épine. Nous en verrons les aspects plus loin. Il s'agissait de plus de la moitié des cas (40/73) soit 54,80%. Sur l'ensemble des 73 observations exploitables, seuls 8 ont été examinés en 3D avec la participation de notre collègue le docteur JF Uhl de la Faculté des Saints-Pères.

Au point de vue maturation embryonnaire, les 40 observations contributives se répartissaient (fig. 5) entre 11 et 66 mm avec un pic de fréquence entre 11 et 40 mm (soit de 6 à 8,5 semaines). C'étaient donc des embryons jeunes au stade de l'organogenèse (49 jours post-conceptionnels). Nos sujets étaient nettement plus petits que ceux de nos radiographies post-mortem (7), âgés au minimum de 19 semaines post conceptionnelles (133 jours post conceptionnels, 190 mm du vertex au pôle fessier). Les 8 observations retenues pour une étude complète provenaient pour l'un de la cohorte des 33 observations non concluantes et pour 7 cas de la série des 40 observations concluantes.

Les 7 observations concluantes présentaient des caractères communs. Le bord médial de l'humérus embryonnaire était nettement différent du bord latéral dans sa partie distale. Le péricondre antéromédial était hypertrophié, irrégulier avec une saillie ou une(des) bosselle(s) en rapport avec des éléments nerveux provenant du nerf ulnaire ou surtout du nerf médian. Le corps de l'humérus embryonnaire présentait des cellules chondroblastiques orientées en masse vers l'élément nerveux.

Par rapport à notre communication radiologique du 06 juin 2007 (7), ces excroissances sur les coupes microscopiques étaient exactement situées au même niveau que les éléments calcifiés visibles sur les clichés. Nous n'avions aucun contrôle histologique des pièces radiographiées, mais la silhouette radiologique était un agrandissement des aspects histologiques.

Nous passons en revue chacune de nos observations individuellement.

Observation n° 1 : 49 jours (fig. 6)

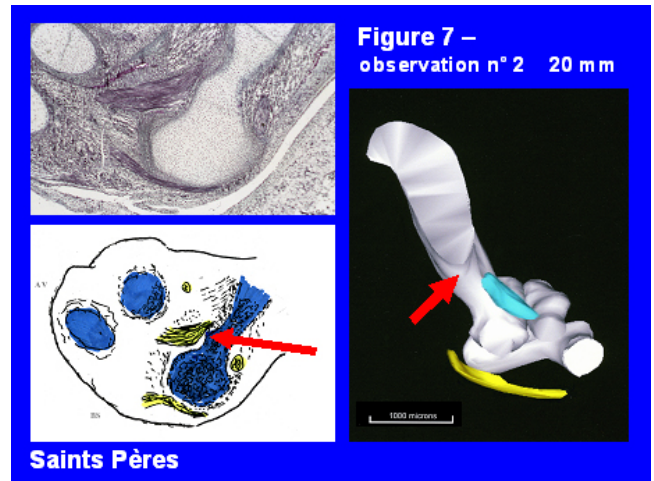


Figure 7.

Elle est présentée sous forme de coupes histologiques perpendiculaires à l'axe longitudinal de l'humérus. Les tranches sont horizontales, exactement montées les unes sur les autres « en saucisson » sur une hauteur de 500 µm. Au sommet et à la partie moyenne de l'épine, l'espace est rempli de myotubes, précurseurs des fibres musculaires (8). À la base d'implantation, l'intervalle est envahi par le péricondre. L'image 3D situe la direction parallèle du nerf ulnaire et du nerf médian. Aucune structure tissulaire différenciée ne vient s'insérer sur le sommet de l'épine.

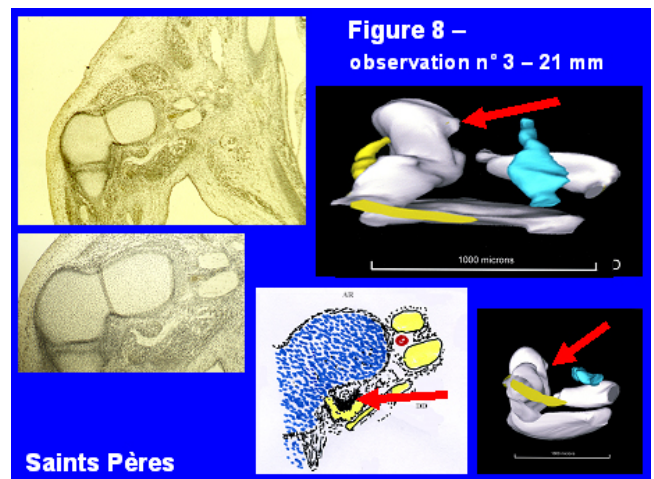
Observation n° 2 : également 49 jours (fig. 7)

C'est une coupe sagittale du bas humérus, le seul nerf médian bute sur une arête située en 3D au bord médial du futur os.

Observation n° 3 : 50 jours (fig. 8)

C'est, en vision 2D, une coupe horizontale de l'humérus. Celui-ci est au niveau du creux axillaire, quasi-cervical, pas encore descendu dans le bras. Le bourgeon de membre supérieur apparaît au 26^e jour donc quelques jours plus tôt dans le cas particulier. Aussi, la coupe histologique intéresse-t-elle également le creux axillaire et le plexus brachial. Cette microphotographie est superposable à celle publiée dès 1914 par NC Rutherford (9) en noir et blanc. Il localise son *entepicondylar process of perichondrium* (sic). Un artefact électronique éloigne, en 3D, ce tubercule décrit par G Olivier au bas humérus. On n'objective qu'une partie des branches du plexus brachial en 3D.

Figure 8.



Saints Pères

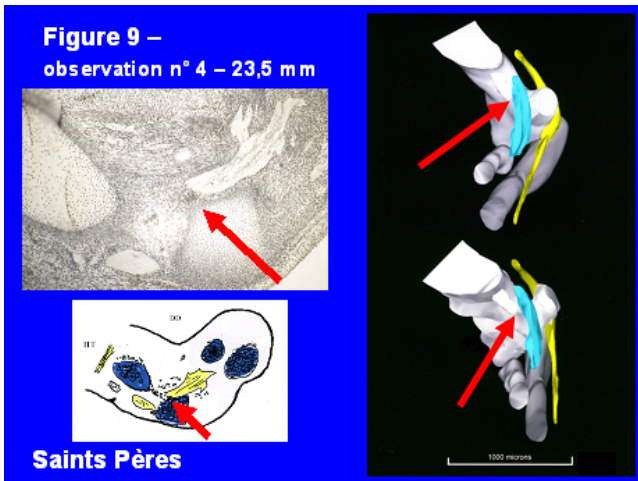


Figure 9.

Observation n° 4 : 51 jours (fig. 9)

Proche de la n°2, cette observation a la même taille et la même orientation sagittale. En 3D, les rapports entre le nerf médian et le futur os sont également étroits.

Observation n° 5 (fig. 10)

Elle concerne un sujet de plus de 8,5 semaines postconceptionnelles (42 mm). Elle montre la saillie de l'humérus vers le nerf médian.

Observation n° 6 (fig. 11)

Un peu plus âgée (70 jours, 51 mm), elle est encore plus suggestive d'un éventuel facteur neurotrophique du nerf médian à l'origine d'un bourgeonnement puis d'une création d'une languette ascendante. L'image allongée de ce tubercule est due en partie à une manipulation 3D. Le nerf ulnaire n'est pas loin et également étiré artificiellement.

Observation n° 7 (fig. 12)

Elle est à nos yeux la plus riche en renseignements. Le sujet est plus vieux (77 jours) et plus grand (66 mm) que le précédent. Il s'agit de coupes frontales sur un coude en flexion. Le plan de coupe suit le trajet du nerf médian oblique en bas et en avant. Le nerf ulnaire est plus postérieur. Le nerf médian est sinueux puis change de direction en avant. Le nerf ulnaire est rectiligne. L'image en 2D est très suggestive, presque plus

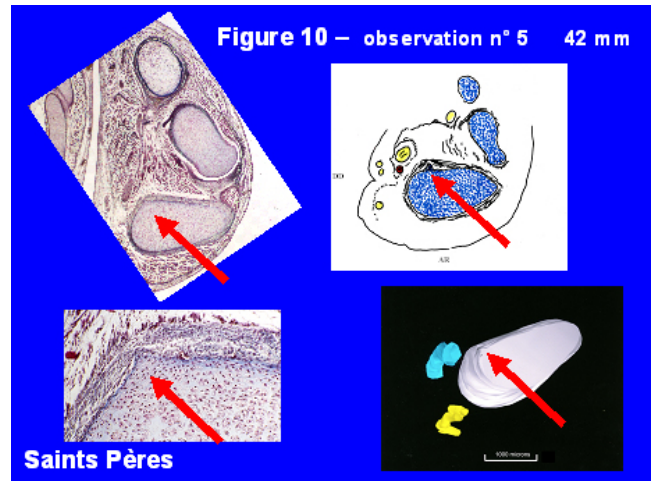


Figure 10.

qu'en 3D. Elle analyse plus finement l'excroissance du péri-chondre. Celle-ci est perforée par des filets nerveux. L'épine se continue en crochet, concave en bas par encoffrement d'une fente vasculaire et par une suite fine de cellules alignées en cloison dont l'extrémité reste difficile à définir sur ces coupes. Le nerf médian sinueux bute, en bas, sur une 2^e bosselure humérale. Le tout concourt à des modifications morphologiques superposables à des formations vallonnées de certaines futures épines. La reconstruction 3D permet de suivre exactement les deux nerfs et de suggérer leur rôle. Le nerf médian contracte par 2 fois des rapports intimes avec le futur humérus en cuvette dans sa partie antéromédiale.

Observation n° 8 (fig. 13)

Elle a été retenue même si elle n'a pas d'épine car, par rapport aux 7 précédentes, elle représentait celle d'un fœtus jeune et non d'un embryon. Ayant 70 mm de long et environ 80 jours de vie, c'est l'organisme le plus grand de la série. L'image est plus belle sans artefact. Ici, la technique était bien adaptée à la taille des éléments à analyser. Au terme de l'exposition de nos « observations - sondages », on pourrait affirmer que nous avons vu des formations sinueuses ou en hameçons descendants ou en aiguilles ascendantes ou associées dans 7 cas sur 8 (fig. 14). On pouvait les rapprocher du tubercule de G Olivier : analogues par leur localisation au « bord supérieur » de « l'épiphyse médiale » (1), mêmes tailles que les nôtres (1).

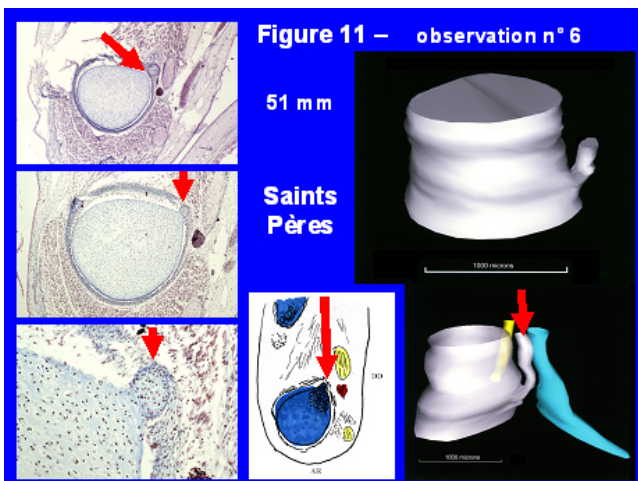


Figure 11.

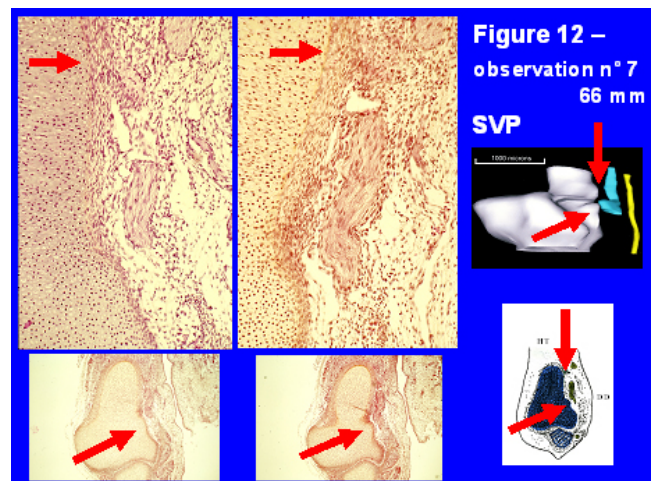


Figure 12.

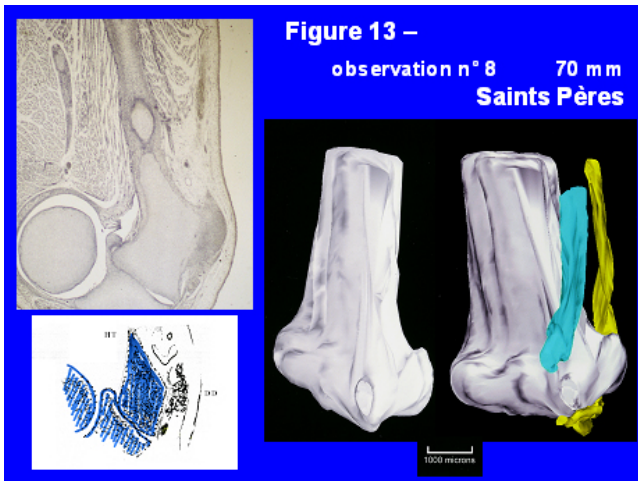


Figure 13.

Discussion

Malgré les limites qualitatives et quantitatives de nos résultats, la discussion est possible.

La terminologie classique est dépassée, obsolète

Cette formation « exophytique » est curieuse par son siège aberrant. Le terme « anomalie » n'est pas retenu par C Couinaud, qui parle au niveau du pédicule hépatique de « glissements à l'origine des éléments » (10) plutôt que de variantes.

Ce n'est pas un noyau de croissance surnuméraire de l'humérus, ne s'accompagnant ni d'une prolifération cartilagineuse ni de l'apparition d'un centre d'ossification endochondrale. Ce n'est pas non plus une apophyse ou, selon la terminologie actuelle, un « processus ». L'extrémité proximale n'a pas d'implantation de tissu mou (fig. 7, 10, 11, 12).

Il ne s'agit ni d'une variation, ni d'une variante. Celle-ci est, selon le Robert, « un moyen d'expression (mot...) qui s'écarte d'un type (pour des raisons de milieu...) » (11). Variante est un terme moins précis. Il s'agit d'une épine, comme l'épine de l'omoplate.

Dans le domaine du développement

C'est dans ce domaine qu'il faut s'orienter pour comprendre la meilleure dénomination. L'épine humérale est un caractère « phylogénique » ou phylogénétique, apparu à une phase précoce du développement : l'organogenèse. Cette période se déroule entre la 5^e et la 8^e semaines post-conceptionnelles (12). Nos plus jeunes humérus étaient à la 6^e-7^e semaine. Le bourgeon de membre supérieur venait d'apparaître (26^e jour) [12]. L'humérus venait de descendre du cou ; son extrémité inférieure est au creux de l'aisselle (fig. 8). On ne peut arriver beaucoup plus tôt dans cette extériorisation de l'humérus. Cette progression est très rapide. À cette période, les neurones se multiplient de façon fulgurante, soit 4 000 par seconde (12). Il s'agit donc d'un instantané de cette prolifération organogénétique.

On peut comparer la fréquence de l'épine chez l'embryon et le fœtus. Nos radios fœtales (7) décelaient cet « organite » chez 4 fœtus sur 5 entre 18 et 22 semaines post-conceptionnelles. Chez les embryons, nous en avons 34 chez des jeunes embryons de 6 à 8,5 semaines post-conceptionnelles, contre 6 chez des embryons âgés de plus de 8,5 semaines (fig. 5).

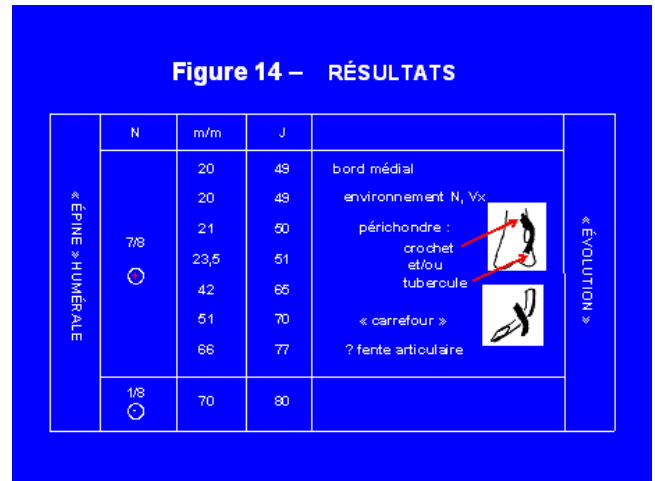


Figure 14.

Avant l'organogenèse, les potentialités de formation d'une épine humérale sont vraisemblablement présentes au niveau des gènes et de leurs produits d'expression, encore indécélabiles. L'épine, d'origine phylogénétique, est, de ce fait, d'origine génétique.

Histologie et rôle trophique des nerfs

Une « vague de fond » soulève les chondroblastes colorés en bleu et déforme le périchondre (en marron) en crochet ou bosses. Il y aurait comme une attraction vers le nerf (fig. 10 à 12).

Des fibres nerveuses, isolées ou réunies, entrent en contact avec le périchondre soit en le refoulant, soit en le pénétrant. La languette périchondrale est d'autant plus saillante que sous le crochet, ainsi constitué, se délimitent des fentes vasculaires précurseurs de l'artère ou des veines.

Les deux nerfs, ulnaire en arrière, médian en avant, limitent un espace qui longe le bord médial d'un humérus qui grandit et tourne sur son axe. Le nerf ulnaire descend verticalement en arrière, le nerf médian après avoir déterminé une cuvette périhumérale quitte sa direction descendante et se dirige en avant. Il se constitue ainsi un carrefour où se croisent le périchondre, le nerf médian et des éléments vasculaires. Le tout est noyé dans des muscles embryonnaires (8). Ainsi, le nerf médian se dégage-t-il d'un canal soit complet soit incomplet au travers des fibres du pronateur terès (rond pronateur). Toutes ces transformations locales sont dues à l'intervention de facteurs morphogènes. Nous évoquons alors l'embryologie moléculaire avec ses multiples signaux : les familles du TGFβ, facteurs de croissance neurotrophique...

Anatomie comparée et homologie

Le caractère serré du carrefour situé au dessus du coude est quasiment constant chez le jeune embryon humain. Il est topographiquement homologue du canal sus-condyloïde de nos lointains ancêtres.

L'Adapis, il y a 40 millions d'années, possède régulièrement ce canal avec une empreinte concave (fig. 15). Ce canal est en train de disparaître chez les Tupaïas actuels de Malaisie. Il est réduit à une épine courbée en bec (fig. 16, Tupaïa humérus droit). Les singes actuels du nouveau monde et les Lémurs de Madagascar ont ce canal à travers lequel passent des nerfs. Concernant les singes de l'Ancien Monde ou Catarrhiniens, à partir des Hominoïdes, vers 18 MA, ce canal disparaît. Nous n'avons pas vu d'épine sur 110 humérus secs de chimpanzés adultes.

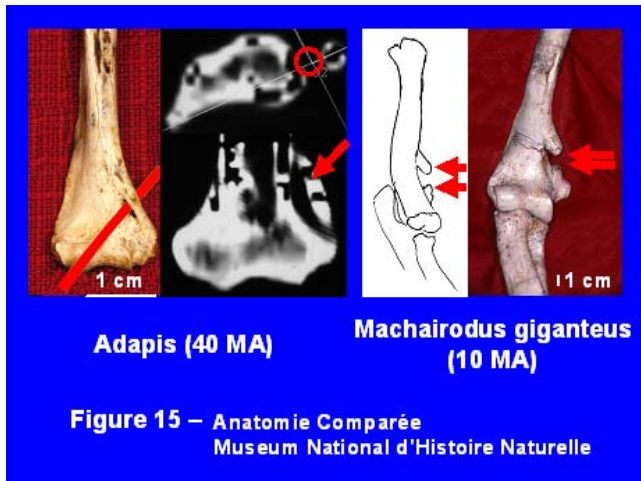


Figure 15.

Le développement embryonnaire

Chez l'homme, peut survivre l'épine humérale. C'est rare, au moins chez l'adulte. C'est ce que C. Darwin appelle des « organes rudimentaires » qui « régressent naturellement chez l'adulte » (2). La disparition de ces « organes » coïncide avec des changements fonctionnels dus à des contraintes phylogéniques. Le nerf médian s'angule en avant sous la pince péri-chondrale. Parallèlement, le coude acquiert l'extension et la supination à partir du flexum pronatum physiologique du « suce pouce ».

L'éloignement du nerf médian et du péri-chondre doit s'accompagner de l'atténuation des facteurs locaux neurotrophiques.

Nous avons assisté à l'évanescence de l'épine humérale très tôt (au 2^e mois) dans environ un cas sur deux (fig. 17). Les transformations locales sont une illustration de la formule d'Haeckel : « l'ontogénie récapitule la phylogénie ». Nous passons d'un état généralisé initial, archaïque, ancestral ou « plésiomorphe » selon P Poirier (13) à un état évolué, spécialisé ou « apomorphe » caractérisé par la disparition d'un canal transosseux ancestral, une flexion-extension et prosupination complète du coude, une palette humérale plate lisse (sans rugosité) anteposée, un capitulum plus bas, une circumrotation de l'humérus. Ce nouvel état représente une « synapomorphie » selon la cladistique apparue vers 1950 ou étude de la parenté selon la filiation.

L'épine humérale est une trace ancienne qui le plus souvent disparaît sauf résurgence ou « atavisme ». Ce terme « atavique » est déjà employé par P Poirier (13). La présence

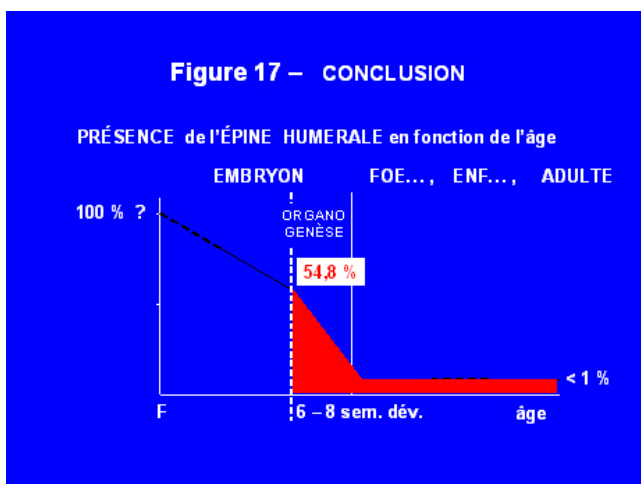


Figure 17.

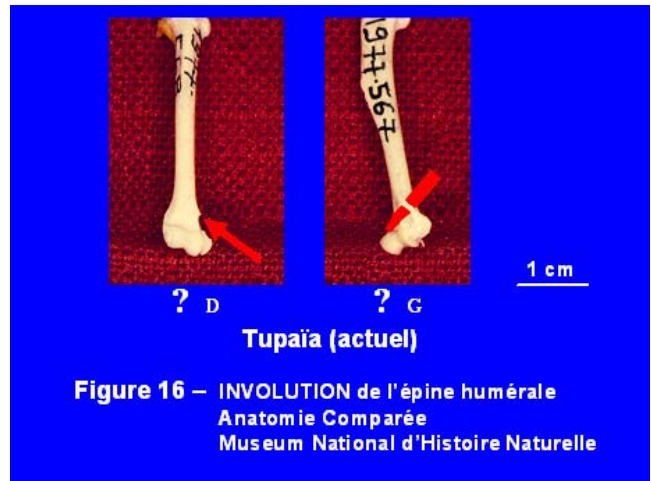


Figure 16.

de ce caractère chez l'embryon humain, dans 55% des cas à l'organogénèse et seulement dans moins de 1% ultérieurement, doit être considérée comme la persistance (ou la résurgence) d'un état archaïque, plésiomorphe d'un caractère disparu il y a environ 18 millions d'années.

Réflexion annexe

Comme illustration grossière de cette régression, nous avons été frappés à la galerie de paléontologie du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris par une pièce fossile du miocène terminal (5 à 10 MA). Il s'agit d'un félinidé, le machairodus giganteus (fig. 15).

Le bord médial de son humérus présente deux appendices superposés distants d'1,1 cm. Entre les deux, on voit une légère dépression. Nous pensons qu'il s'agit des deux piliers d'une voûte osseuse et de l'empreinte du passage du nerf médian accompagné ou non de vaisseaux. Les félins actuels ont ce canal osseux. Notre rapprochement n'a pas pour but de discuter de la cause du vide entre les 2 saillies. Il s'agit évidemment d'un artefact par écrasement, ensevelissement ou dissolution de la lamelle osseuse intermédiaire au cours des millions d'années. Par contre, nous pensons que l'épine humérale semble être le reliquat de l'un de ces appendices ou des deux. Sont en faveur de cette hypothèse : en haut, l'aspect en crochet, en bas la protubérance du tubercule d'Olivier (1) ou un filet entre les deux (fig. 14). Les 2 formations sont réunies sous le terme d'épine humérale.

Quel est l'intérêt de porter ces questions à l'Académie Nationale de Chirurgie ?

Les chirurgiens aiment la précision du langage anatomique, tels M Chevassu avec l'anatomie pathologique urologique, J Cruveilhier (14), notre maître J Debeyre avec l'anatomie microscopique dès 1948 et les spécialistes de l'anatomie virtuelle maintenant (15). Ils connaissent l'habituelle tolérance de cette épine humérale, voire son insignifiance. Certains, même, semblent ne pas connaître cette formation ou la confondre avec une exostose ostéogénique (16).

Comme toute science de la nature, l'anatomie évolue. Toutes ces considérations d'anatomie humaine, d'anatomie comparée, de paléontologie nous rapprochent de celles de l'évolution. Nous suivons l'enseignement de l'adaptation selon Darwin (2).

Depuis le milieu du XX^e siècle, on a remis en honneur la contrainte phylogénique et les modifications dues au milieu ambiant qui canalisent les gènes sans modifier le génome. C'est l'origine de l'épigénicité.

Pour ce qui concerne les chirurgiens, l'Académie, dans plusieurs séances, a été concernée par l'épigénicité. Pendant la séance du 22 mars 2006, on a évoqué l'épigénèse, comme origine possible de certaines luxations récidivantes de la rotule (5). L'épigénicité peut intervenir également dans les luxations posturales dysplasiantes de la hanche, les *genu valgum* constitutionnels en orthopédie, voire en pathologie viscérale (kyste du cholédoque, syndrome thoraco-brachial, séances des 7 et 21 mai 2008).

Conclusion

Nous avons bénéficié de nombreux travaux anatomiques antérieurs, en particulier ceux de P Poirier (1911) [13], de NC Rutherford (1914) [9] et de G Olivier (1962) [1].

Notre apport est quadruple :

- le taux d'évanescence du tubercule de G Olivier à la fin de l'organogenèse est d'au moins 45%. Sa persistance est alors observée chez un minimum de 55% des embryons âgés de 6 à 8 semaines. Chez l'enfant et l'adulte, la disparition de ce caractère phylogénique est de plus de 99%. La persistance de pourcentage de l'état archaïque ou primitif ou plésiomorphe est observée alors dans moins de 1% de la population adulte (fig. 17). La différence de pourcentage entre 54,8% et moins d'1% est statistiquement très significative selon les calculs ;
- cette formation épineuse est uni- ou bi-tuberculaire. Elle est péri- ou para-nerveuse par rapport aux nerfs médian ou ulnaire. Il existe des facteurs locaux favorisant neurotrophiques. Ces facteurs morphogénétiques précoces commencent à être étudiés aujourd'hui ;
- la surveillance est justifiée car une éventuelle résurgence par atavisme est possible. Elle a eu lieu antérieurement chez les primates. Cela serait la réapparition d'un état archaïque ou plésiomorphe ;
- grâce à l'embryologie moléculaire intégrée dans le développement phylogénique, preuve est faite qu'à un moment précis de l'organogenèse, le « maillon manquant », entre hominoïdes non humains et *homo sapiens sapiens*, existe bien sous la forme de cette modeste épine humérale transitoire.

Références

1. Olivier G. Formation du squelette des membres. Paris: Vigot, 1962: 56-61.
2. Darwin C. L'origine des espèces. Paris: Flammarion, 1992.
3. Caffey J. Pediatric X-ray. Diagnostic. 4° Ed. Chicago: Medical Publishers, 1961: 805-6, fig 1011-1012.
4. Charlez-Lourmé C, Uhl JF, Delmas V, Oberlin C. Possibilité de la reconstruction 3D du plexus brachial de la main. Chirurgie de la main 2006;25:222.
5. Jouve JL, Glard Y, Adalvan P, Piersecci MD, Panuel M, Tardieu C, Bollini G. Biométrie du fémur fœtal. Intérêt anthropologique et clinique. Académie Nationale de Chirurgie. Séance du 22.03.06. e-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie 2007;5:1-5.
6. Uhl JF, Plaisant O, Ami O, Delmas V. La modélisation tridimensionnelle en morphologie. Morphologie 2006;288(90):5-20.
7. Laburthe-Tolra Y, Barbet JP, Kalifa G, Dubousset J, Seringe R, Godinot M. Radiographies fœtales post-mortem et processus supracondyliques de l'humérus. Académie Nationale de Chirurgie. Séance du 06.06.07. e-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie 2007;6:96-102.
8. Barbet JP, Butler-Browne GS, Mouly V. Les principales étapes de la myogenèse squelettique chez l'homme. CR Soc Biol 1994;188:585-92.
9. Rutherford NC. Contribution to the embryology of the forelimb skeleton. J Anat 1914;48:355-77.
10. Couinaud C. Le foie. Etudes anatomiques et chirurgicales. Paris: Masson, 1957: 152.
11. Dictionnaire Robert (Le nouveau). Paris: Edition 2003.
12. Encha-Razavi F, Escudier L. Embryologie humaine. Paris: Masson, 3° édition, 2003.
13. Poirier P. Traité d'Anatomie Humaine. Paris: Masson, 3° édition, tome I.
14. Vayre P. Jean Cruveilhier, de la preuve par les faits à la médecine basée sur la preuve. Académie Nationale de Chirurgie. Séance du 30.01.08. e-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie 2008;7 :1-12.
15. Uhl JF, Ordureau S, Delmas V. Les nouveaux outils de dissection virtuelle pour l'étude anatomique du système vasculaire. Académie Nationale de Chirurgie. Séance du 06.02.08. e-mémoires de l'Académie Nationale de Chirurgie 2008;7:39-42.
16. Kenneth Jones KG. Cavernous hemangioma of striated muscle. JBJS 1953;35^a(3):717-8, fig 1B.

Outre les personnes déjà citées dans le texte, nous voulons remercier :

- Madame MN Lotiguet (ancienne technicienne du laboratoire de l'hôpital, Saint Vincent de Paul, Paris)
- Messieurs B. Delamain (laboratoire d'anatomie université Paris Descartes, Paris 5, 45, rue des Saints Pères, 75006 Paris),
- M Godinot (Ecole pratique des hautes études), B Laburthe-Tolra (CNRS), M Lacombe (archiviste, membre de l'Académie Nationale de Chirurgie).