

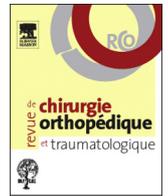


Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



Mise au point

L'acromion humain : une vue évolutionniste[☆]



Human acromion: An evolutionist overview

J.-L. Voisin^{a,b,*}, M. Ropars^{c,d}, H. Thomazeau^c

^a UMR 7268 ADES, faculté de médecine-La Timone, Aix-Marseille université/EFS/CNRS, 27, boulevard Jean-Moulin, 13385 Marseille cedex 05, France

^b Département de préhistoire, Muséum national d'histoire naturelle, UMR 7194 et USM 103/CNRS, 1, rue René-Panhard, 75013 Paris, France

^c Service de chirurgie orthopédique et traumatologique, CHU de Rennes, 2, rue Henri-Le-Guilloux, 35033 Rennes, France

^d Laboratoire M2S, université Rennes 2-ENS Rennes, avenue Robert-Schuman, 35170 Bruz, France

IN F O A R T I C L E

Historique de l'article :

Accepté le 17 septembre 2014

Mots clés :

Acromion

Paléo-anthropologie

Rotateurs

Scapula

R É S U M É

La prévalence élevée des tendinopathies de la coiffe des rotateurs de l'homme moderne pourrait être en partie expliquée par la morphologie de la scapula issue de l'évolution des espèces. Cette étude d'anatomie osseuse comparée au sein du groupe des Hominoïdes pose l'hypothèse que la scapula d'*Homo sapiens sapiens* présente des caractéristiques ostéologiques propres au sein de ce groupe. Quatre-vingt-neuf scapulae issues de 5 espèces ont été étudiées : 8 mesures et 6 indices morphologiques ont ensuite été comparés entre chacune de ses espèces. Cette étude a confirmé que l'extrémité latérale de la scapula humaine s'individualise par une orientation latérale de la cavité glénoïdale et une arche acromio-coracoïde étroite. Elle partage avec le gorille un acromion à forte pente et surtout plus large et plus carré que celui des autres Hominoïdes. Ces caractéristiques sont susceptibles d'expliquer, au moins en partie, la pathogénie des tendinopathies de la coiffe des rotateurs chez l'homme moderne.

© 2014 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

1. Introduction

L'importante prévalence des tendinopathies de la coiffe des rotateurs est probablement liée à l'inadéquation entre l'anatomie de l'épaule d'*Homo sapiens sapiens* (HSS, « homme moderne ») et la fonction que celui-ci lui impose, à la fois en contraintes et en durée. De nombreuses études ont recherché les particularités anatomiques de cette épaule, en particulier chez les primates [1–10]. Dans l'ordre des primates, HSS est regroupé avec les grands singes (gibbons, orangs-outans, gorilles et chimpanzés) dans le taxon des Hominoïdes (Fig. 1). Leurs scapulae y partagent des caractéristiques communes (sans doute reliées à la perte de la quadrupédie stricte et à l'apparition de la manipulation dirigée) et d'autres propres à HSS, seul bipède strict [11–14]. Ces caractéristiques concernent la position et la morphologie de la scapula. L'existence de la clavicule, os qui est rare chez les mammifères en dehors des primates, permet en effet les mouvements des membres supérieurs en dehors

du plan parasagittal [15]. Sa morphologie conditionne la position de la scapula par rapport au thorax, dorsale chez les Hominoïdes et latérale chez les cercopithécoïdes [12,16]. Ces derniers, non hominoïdes, sont tous quadrupèdes (aussi bien au sol que dans les arbres) et leurs membres travaillent donc essentiellement en compression. Leur scapula est latérale, plutôt longue, avec des fosses supra- et infra-épineuses peu développées, un acromion petit et une fosse glénoïdale étroite, rappelant la scapula des mammifères quadrupèdes, tels que le chat ou le chien [17]. En revanche, les primates suspenseurs, comme les grands singes, présentent des scapulae larges, avec des fosses supra- et infra-épineuses développées, un acromion plus long et plus large que celui des primates quadrupèdes augmentant ainsi la surface d'insertion du muscle deltoïde [17,18]. La scapula d'HSS est caractérisée par une forte dorsalisation et par une fosse infra-épineuse encore plus développée, associée à une fosse supra-épineuse proportionnellement plus petite [7,8,12,14,17] (Fig. 2). La rareté des scapulae fossiles d'homininés (lignée humaine au sein des Hominoïdes) ne permet pas de savoir à quel moment de l'évolution s'est faite cette spécialisation anatomique. Les seules ressources sont donc issues de l'anatomie comparée.

L'objectif de cette étude préliminaire originale est donc de réviser la première description ostéologique comparée de l'extrémité latérale de la scapula au sein des Hominoïdes (HSS et grands singes) et d'interpréter les résultats en termes de fonctionnalité.

DOI de l'article original : <http://dx.doi.org/10.1016/j.otsr.2014.09.011>.

[☆] 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.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : jeanlucvoisin2004@yahoo.fr (J.-L. Voisin).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rcot.2014.09.398>

1877-0517/© 2014 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

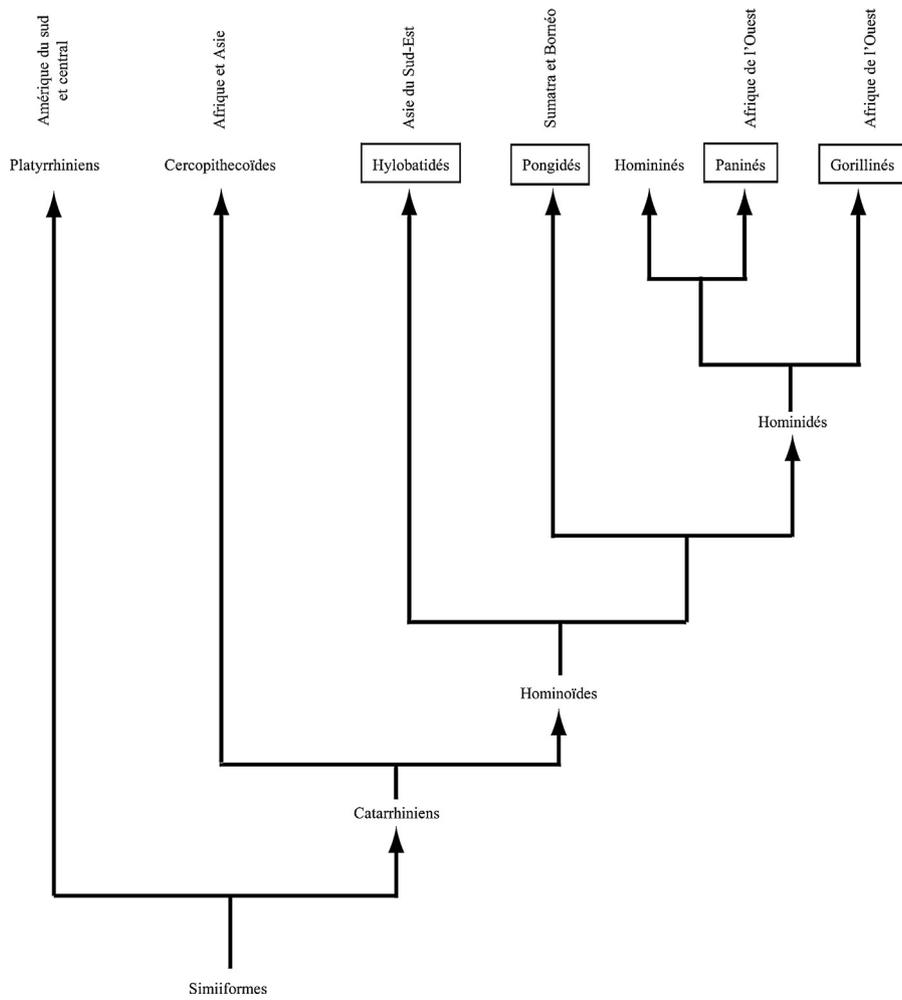


Fig. 1. Arbre phylogénétique des Simiiformes (tous les Primates en dehors des Prosimiens). *Homo sapiens sapiens* est un homininé, proches des grands singes au sein du groupe des Hominioïdes et plus particulièrement des espèces africaines (hominidés). Noms encadrés : les grands singes (groupe paraphylétique).

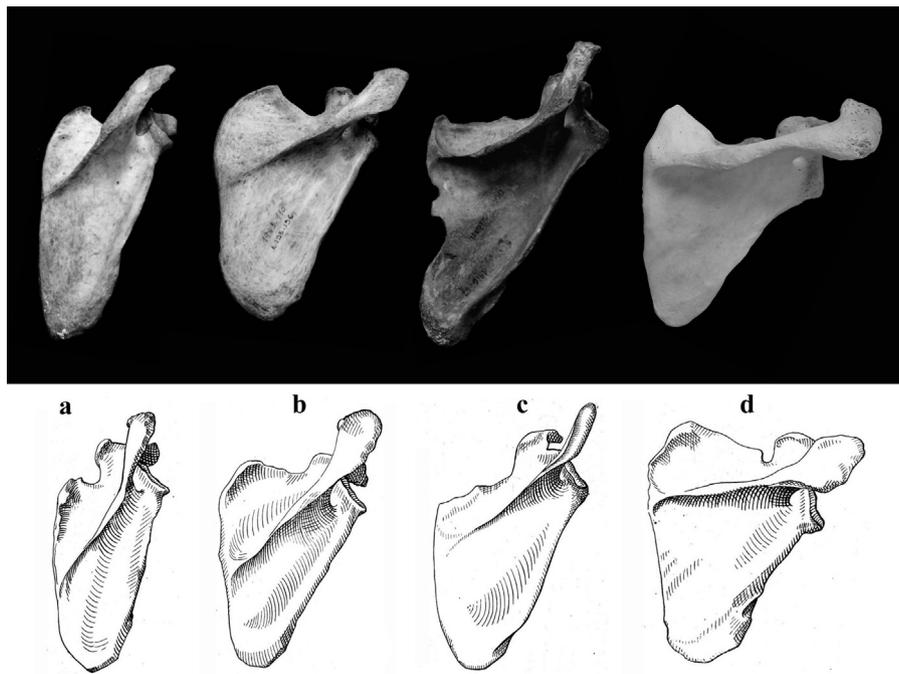


Fig. 2. Scapulae de chimpanzé. a : de gorille ; b, c : d'orang-outan et d'*Homo sapiens sapiens* ; d : remarquez l'importance de la fosse infra-épineuse chez ce dernier. Dessins : d'après [9] ; photographies : auteurs.

Tableau 1
Espèces et nombre de scapulae étudiées.

Espèces	Nombre de scapulae
Gibbon	
<i>Hylobates</i> sp.	7
<i>H. gabrielli</i>	2
<i>H. moloch</i>	2
Orang-outan	
<i>Pongo pygmaeus</i>	9
Gorille	
<i>Gorilla gorilla</i>	21
Chimpanzé commun	
<i>Pan troglodytes</i>	22
Homme	
<i>Homo sapiens sapiens</i>	26

L'hypothèse est que l'acromion d'HSS présente une anatomie propre dont les paramètres seraient susceptibles d'expliquer, au moins en partie, la prévalence des tendinopathies chez HSS.

2. Matériels et méthodes

Les scapulae humaines proviennent des collections d'anthropologie du musée de l'Homme et celles des grands singes des collections de zoologie du département d'anatomie comparée du Muséum national d'histoire naturelle. Les espèces étudiées sont présentées dans le [Tableau 1](#). La classification des primates proposée par Rowe a été retenue [19]. Selon elle, il n'existe qu'une seule espèce de gorilles (*Gorilla gorilla*) alors que les orangs-outans sont constitués de deux espèces distinctes, une sur l'île de Sumatra (*Pongo abelii*) et l'autre sur l'île de Bornéo (*Pongo pygmaeus*).

Sept mesures millimétriques ont été réalisées à l'aide d'un pied à coulisse et sont rapportées sur la [Fig. 3](#). Elles permettent de définir 6 indices par le calcul de ratios ou de surfaces ([Tableau 2](#)). Ces indices permettent de déterminer des caractères long ou court, large ou étroit des processus osseux, indépendamment de la valeur absolue des mesures réalisées qui dépendent de la taille des espèces. Les pentes acromiales (h) et l'orientation de la cavité glénoïdale (représentée par l'angle axillo-glénoïdien) (i) ont été mesurées en degrés à l'aide d'un rapporteur [12]. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel PAST 2.17® [20]. Les valeurs des indices morphologiques et des mesures des pentes ont été croisées entre les groupes étudiés. Du fait de la faible taille des échantillons, la plupart des variables étudiées ne suivent pas la loi normale imposant l'utilisation du test non paramétrique de Kruskal-Wallis pour chaque variable. L'hypothèse H_0 considère que l'échantillon total provient de populations ayant des médianes identiques avec un risque de 5%.

3. Résultats

La comparaison des indices morphologiques entre les Hominoïdes est rapportée de façon synthétique dans le [Tableau 3](#). Les

Tableau 2
Les 6 indices morphologiques définis d'après les mesures décrites sur les [Fig. 3a](#) et [b](#).

Nom	Description
1 Forme de l'acromion	(b) largeur acromion / (a) longueur acromion
2 Surface de l'acromion	Largeur acromion × longueur acromion : (a) × (b)
3 Forme de la cavité glénoïdale	(d) largeur de la cavité glénoïdale / (c) hauteur de la cavité glénoïdale
4 Largeur de l'arche acromio-claviculaire	(e) distance acromion–processus coracoïde / (c) hauteur de la cavité glénoïdale :
5 Forme du processus coracoïde	(g) largeur processus / (f) longueur processus coracoïde
6 Surface du processus coracoïde	Largeur processus coracoïde × longueur processus coracoïde : (f) × (g)

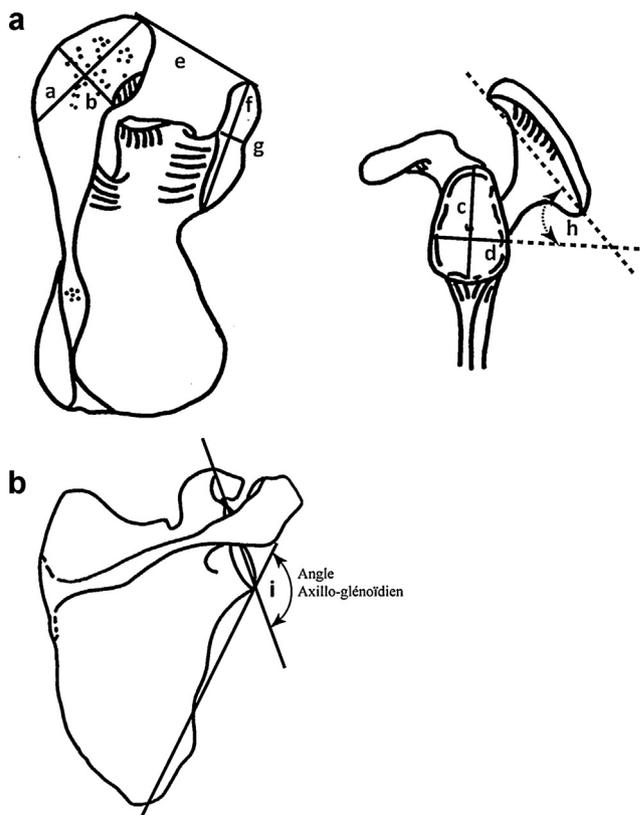


Fig. 3. Les différentes mesures réalisées sur la scapula. a : plus grande longueur de l'acromion selon son grand axe ; b : largeur de l'acromion prise perpendiculairement à la longueur juste sous l'articulation acromio-claviculaire ; c : hauteur maximale de la cavité glénoïdale [7] ; d : largeur maximale de la cavité glénoïdale prise perpendiculairement à la hauteur [7] ; e : distance acromion–processus coracoïde (entre les extrémités les plus avancées) [21] ; f : plus grande longueur du processus coracoïde [12] ; g : largeur maximale du processus coracoïde prise perpendiculairement à la longueur [12] ; h : pente de l'acromion [22] ; i : angle axillo-glénoïdien [7].

croisements statistiques précis des différences observées entre les espèces pour ces indices et les dispersions des valeurs quantitatives les plus significatives sont rapportés respectivement dans les Tableaux et [Fig. 4](#) à [7](#). Les grands singes et HSS ne diffèrent pas de façon significative par la forme de la cavité glénoïdale ([Tableau 4](#)). En valeur absolue, les gorilles possèdent l'acromion avec la plus grande surface et les gibbons la plus petite, mais les premiers sont les plus grands des Hominoïdes et les seconds les plus petits [19]. En valeurs relatives, HSS est caractérisé par un acromion large, presque carré, avec un débord latéral plus important, caractéristique partagée uniquement avec le gorille ([Tableau 5](#) et [Fig. 4](#)). À l'inverse, HSS possède la voûte acromio-coracoïdienne la plus étroite au sein des Hominoïdes et se démarque du gorille pour cet item ([Tableau 6](#)). Le processus coracoïde d'HSS ne présente pas de forme ni de dimension particulières ([Fig. 5](#)). HSS et les gorilles possèdent les acromions avec les pentes les plus fortes ([Fig. 6](#)). Enfin, l'angle axillo-glénoïdien est plus élevé chez l'homme que chez les autres Hominoïdes ([Fig. 2](#) et [Fig. 7](#), [Tableau 7](#)). La cavité glénoïdale des grands singes est donc orientée beaucoup plus crânialement que chez HSS chez qui elle présente une orientation nettement latérale.

En résumé, l'extrémité latérale de la scapula humaine s'individualise par une orientation latérale de la cavité glénoïdale et une arche acromio-coracoïde étroite. Elle partage avec le gorille un acromion à forte pente et surtout plus large et plus carré que celui des autres Hominoïdes.

Tableau 3

Caractéristiques principales des scapulae au sein des Hominoïdes. *Homo sapiens sapiens* (HSS) et gorille ont en commun un acromion large (presque carré). À noter que la forme de la cavité glénoïdale est commune à toutes les espèces.

Caractéristiques	Gorille	Chimpanzé	Orang-outan	Gibbon	HSS
1 Forme de l'acromion	Large	Étroite	Étroite	Étroite	Large
2 Surface de l'acromion	Importante	Moyenne	Moyenne	Faible	Moyenne
3 Forme de la cavité glénoïdale	Ovale	Ovale	Ovale	Ovale	Ovale
4 Largeur de l'arche acromio-claviculaire	Large	Moyenne	Moyenne	Étroite à large	Étroite
5 Forme du processus coracoïde	Large	Étroite	Large	Étroite à large	Étroite
6 Surface du processus coracoïde	Importante	Moyenne	Moyenne	Faible	Moyenne
i. Pente de l'acromion	Forte	Faible	Faible	Faible	Forte
h. Orientation de la cavité glénoïdale	Crâniale	Crâniale	Crâniale	Crâniale	Latérale

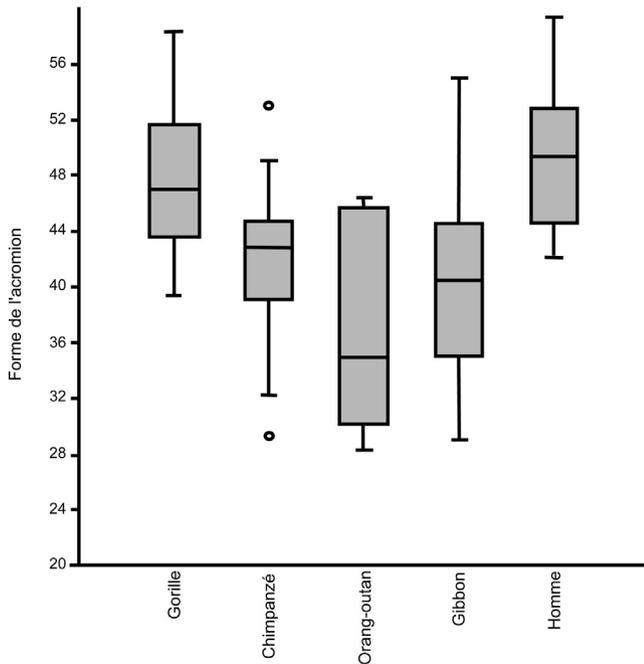


Fig. 4. Variabilité de la morphologie acromiale chez les Hominoïdes. *Homo sapiens sapiens* (HSS) et gorille partagent un acromion large et débordant.

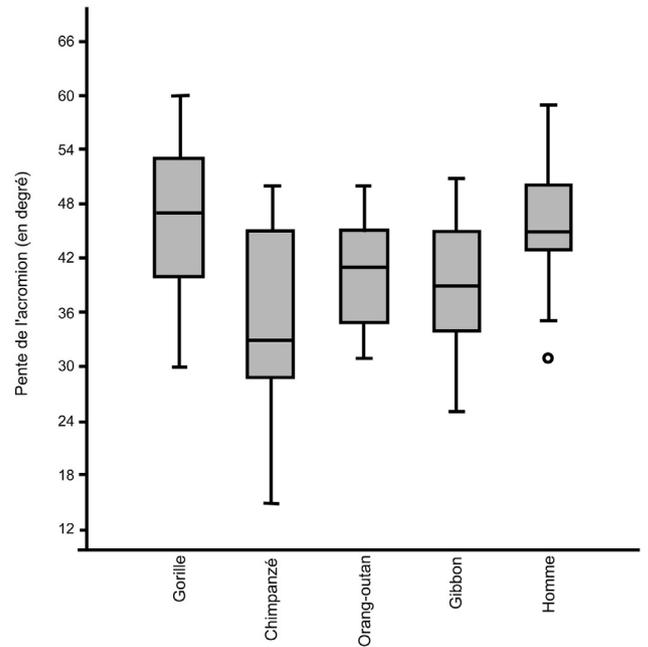


Fig. 6. Variabilité de la pente acromiale : les gorilles et HSS ont les pentes les plus élevées.

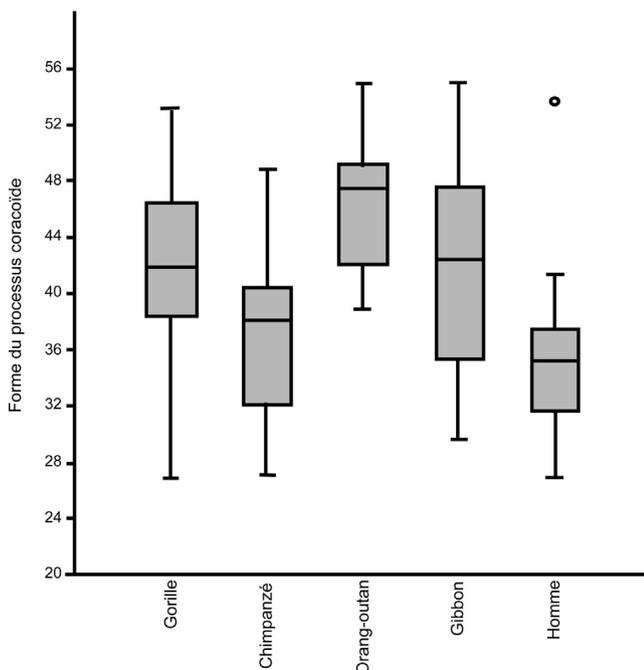


Fig. 5. Variabilité de la morphologie du processus coracoïde.

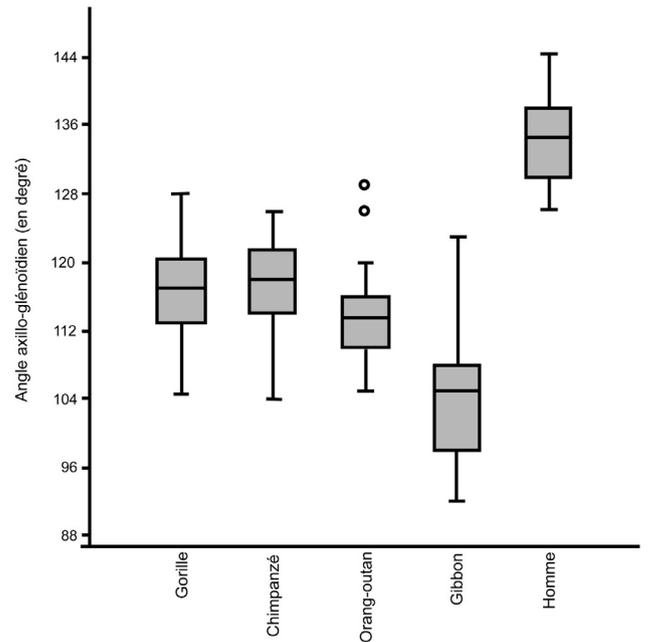


Fig. 7. Variabilité de l'orientation de la cavité glénoïdale chez les Hominoïdes. Plus l'angle axillo-glénoïdien est élevé et plus la cavité glénoïdale est orientée latéralement.

Tableau 4

Forme de la cavité glénoïdale : résultats du test de Kruskal-Wallis (les différences significatives entre les groupes appariés sont indiquées en italique). Il y a une remarquable constance de la forme de la cavité glénoïdale au sein des Hominoïdes.

	Gorille	Chimpanzé	Orang-outan	Gibbon	Homme
Gorille	1	0,64	0,36	0,13	0,79
Chimpanzé	1	1	0,42	0,29	0,54
Orang-outan	1	1	1	0,037	0,33
Gibbon	1	1	0,37	1	0,069
Homme	1	1	1	0,69	1

H = 4,87 p(H₀) = 0,3009

Tableau 5

La forme de l'acromion d'*Homo sapiens sapiens* (HSS) diffère de façon importante de celles des autres Hominoïdes à l'exception du gorille avec qui il partage un acromion large.

	Gorille	Chimpanzé	Orang-outan	Gibbon	Homme
Gorille	1	0,002	0,001	0,007	0,3303
Chimpanzé	0,03	1	0,25	0,66	0*
Orang-outan	0,02	1	1	0,34	0*
Gibbon	0,08	1	1	1	0,001
Homme	1	0*	0,005	0,01	1

H = 30,63 p(H₀) = 0*

La forme de l'acromion : résultats du test de Kruskal-Wallis (les différences significatives entre les groupes appariés sont indiquées en italique).

* p inférieure à 1/1000.

Tableau 6

Il existe une plus grande dispersion de la largeur de la voûte au sein des Hominoïdes au sein desquels *Homo sapiens sapiens* (HSS) se démarque toutefois par une largeur plus petite que celle des autres espèces.

	Gorille	Chimpanzé	Orang-outan	Gibbon	Homme
Gorille	1	0,002	0,03	0,2	0,000008*
Chimpanzé	0,02	1	0,7	0,74	0,008
Orang-outan	0,26	1	1	0,81	0,016
Gibbon	1	1	1	1	0,56
Homme	0,00008*	0,08	0,16	1	1

H = 22,86 p(H₀) = 0*

La largeur de la voûte acromio-coracoïdienne : résultats du test de Kruskal-Wallis (les différences significatives entre les groupes appariés sont indiquées en italique).

* p inférieure à 1/1000.

Tableau 7

L'orientation de la cavité glénoïdale est nettement plus latérale chez *Homo sapiens sapiens* (HSS) que chez n'importe quel autre hominoïde. En revanche, la cavité glénoïdale est orientée beaucoup plus crânialement chez les gibbons que chez les autres Hominoïdes.

	Gorille	Chimpanzé	Orang-outan	Gibbon	Homme
Gorille	1	0,7	0,02	0*	0*
Chimpanzé	1	1	0,02	0*	0*
Orang-outan	0,29	0,23	1	0*	0*
Gibbon	0*	0*	0*	1	0*
Homme	0*	0*	0*	0*	1

L'orientation de la cavité glénoïdale : résultats du test de Kruskal-Wallis (les différences significatives entre les groupes appariés sont indiquées en italique).

H = 90,39 p(H₀) = 0*

* p inférieure à 1/1000.

4. Discussion

Les tendinopathies de la coiffe des rotateurs représentent une des pathologies de l'épaule les plus fréquentes dans l'espèce humaine [23]. De nombreuses hypothèses ont été avancées pour expliquer cette prévalence élevée et la plupart portent sur la morphologie de l'acromion. À l'aide d'études radio-cliniques, Nyfeler et al. en 2006 [24] et Moor et al. en 2013 [25] ont montré que l'extension latérale de l'acromion semble être l'un des facteurs osseux prédisposant à la survenue de ces tendinopathies.

Bien que de très nombreuses études morpho-anatomiques de la scapula des Hominoïdes (gibbon, orang-outan, gorille, chimpanzé et homme) aient été réalisées depuis le 19^e siècle i.e. [1–10], pratiquement aucune ne s'est intéressée à des études comparées de la morphologie de l'acromion, du processus coracoïde ou encore de l'arche acromio-coracoïde au sein des Hominoïdes [12,21,26–28].

Cette étude préliminaire a permis de vérifier que la scapula d'HSS présente effectivement des particularités morphométriques au sein du taxon des Hominoïdes. Il est intéressant de constater que si la morphologie de la fosse glénoïdienne est remarquablement constante d'une espèce à l'autre, à l'inverse les particularités prédominent largement sur les appendices osseux. Tout se passe comme si, à pivot glénoïdien égal, l'évolution avait surtout modifié les zones d'insertion osseuse des muscles à la fois en surface, en projection en dehors de l'axe du squelette et en orientation pour répondre aux nouvelles fonctions du membre supérieur liées à la bipédie qu'elle soit partielle ou permanente (HSS). L'augmentation de la largeur de l'acromion est ainsi l'une des particularités majeures de la scapula d'HSS, avec l'étroitesse de la voûte acromio-coracoïdienne et vient compléter la large taille de la fosse infra-épineuse et la dorsalisation de la scapula.

L'acromion large, caractéristique de l'espèce humaine, permet un développement important de l'insertion et donc de la force du deltoïde. Ainsi, lors des mouvements d'élévation et de flexion du bras, l'humérus tend à s'ascensionner sous l'action du deltoïde, ascension limitée par la contraction du supra-épineux. Cependant, ce muscle est de petite taille chez HSS comme en atteste la réduction des dimensions relatives et absolues de sa fosse d'insertion contrairement aux grands singes qui présentent des fosses supra-épineuses de dimensions nettement supérieures (Fig. 2) [9,29]. Cette faiblesse relative du muscle supra-épineux en regard de la puissance du muscle deltoïde, associée à l'étroitesse de la voûte acromio-coracoïdienne chez HSS [26] entraînent un contact permanent, non pathologique entre tête humérale et voûte acromio-coracoïde lors des mouvements d'élévation. Ainsi, une néo-articulation entre la tête humérale, le deltoïde et le ligament acromio-coracoïdien (LAC) s'est probablement mise en place chez l'homme. Ce LAC n'existe d'ailleurs que chez les Hominoïdes [21] et traduit sans doute la nécessité de prolonger l'extrémité antérieure et latérale de la scapula pour répondre aux contraintes imposées par la tête humérale à cette néo-articulation. Ces contraintes ont en effet des directions très variables lors de la suspension, ou lors des alternances suspension-compression-préhension dirigées propres à ce taxon, à l'inverse des primates quadrupèdes stricts, chez qui les contraintes ont des orientations plus constantes.

Cette étude a par ailleurs confirmé que l'angle axillo-glénoïdien est plus élevé chez l'homme que chez les autres Hominoïdes. En d'autres termes, la cavité glénoïdale des grands singes est orientée beaucoup plus crânialement que chez l'homme (Fig. 2) chez qui elle est orientée latéralement. Cette orientation est même un critère pour définir si un fragment de scapula est associé à un comportement de grimper en milieu arboricole [12,14,28–31]. Cette orientation latérale de la cavité glénoïdale de l'homme implique que l'axe de la scapula et celui du membre supérieur ne sont pas alignés avant d'avoir atteint un important degré de flexion [32] (Fig. 8). Ainsi, le contrôle de l'humérus est-il nécessairement dynamique et non statique comme c'est le cas chez les grands singes dont les membres supérieurs sont le plus souvent au dessus de la tête car ce sont des primates suspenseurs. Enfin, ce risque de décentrage de la tête humérale est augmenté par le fait que chez HSS les membres supérieurs travaillent essentiellement en chaîne cinétique ouverte et est encore aggravé par le port de charge excentrique en extrémité de membre [33].

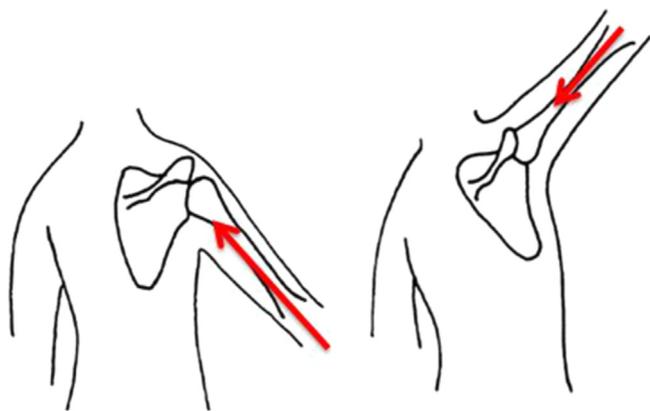


Fig. 8. Schéma illustrant la position de l'humérus par rapport à l'axe de la scapula en fonction de la position du membre supérieur.

En résumé, le contact entre la tête humérale et la voûte acromio-coracoïdienne pourrait être considéré comme une néo-articulation qui s'est mise en place au cours de l'évolution afin de compenser la faiblesse relative du supra-épineux chez l'homme. Cette articulation n'est pas adaptée à une vie prolongée qui est un acquis culturel et non évolutionniste et pourrait expliquer, au moins en partie, l'obsolescence tendineuse observée en clinique humaine.

5. Conclusion

Cette étude d'anatomie comparée chez les Hominoïdes a confirmé que la scapula d'*Homo sapiens sapiens* est caractérisée par un acromion large, se projetant latéralement au dessus d'une glène verticale. La pente de l'acromion est plus forte et l'espace sous-acromial plus fermé que chez les autres Hominoïdes. Ces caractéristiques morphologiques représentent probablement l'une des causes de la prévalence des tendinopathies de la coiffe des rotateurs chez l'homme moderne.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Remerciements

Nous tenons à remercier Monsieur P. Mennecier ainsi que Madame Christine Lefèvre pour nous avoir autorisé à étudier respectivement les collections du département « Hommes, Natures, Sociétés » du musée de l'Homme (Paris, France) ainsi que les collections de zoologie du département d'anatomie comparée du Muséum national d'histoire naturelle (Paris, France).

Références

- [1] Broca P. Sur les indices de largeur de l'omoplate chez l'homme, les singes et dans la série des mammifères. *Bull Soc Anthropol Paris* 1878;1:66–92 [Série 3].
- [2] Gray DJ. Variations in human scapulae. *Am J Phys Anthropol* 1942;29:57–72.

- [3] Larson SG. New characters for the functional interpretation of primate scapulae and proximal humeri. *Am J Phys Anthropol* 1995;98:13–35.
- [4] Macalister A. Notes on the acromion. *J Anat Physiol* 1893;27:244–51.
- [5] Martin CP, O'Brien HD. The coracoïd process in the primate. *J Anat* 1939;73:630–42.
- [6] Mivart SG. Contribution toward a more complete knowledge of the skeleton of the primates. Part 1: the appendicular skeleton of *Simia*. *Trans Zool Soc London* 1869;6:175–225.
- [7] Vallois HV. L'omoplate humaine. Étude anatomique et anthropologique. *Bull Mem Soc Anthropol Paris* 1932;3:3–153 [Chapitres VI, VII, VIII, IX et X, série 8].
- [8] Vallois HV. L'omoplate humaine. Étude anatomique et anthropologique. *Bull Mem Soc Anthropol Paris* 1946;7:16–99 [Chapitres XI et XII, série 9].
- [9] Vallois HV. L'omoplate humaine. Étude anatomique et anthropologique. *Bull Mem Soc Anthropol Paris* 1928;9:129–68 [Chapitres I et II, série 7].
- [10] Vallois HV. L'omoplate humaine. Étude anatomique et anthropologique. *Bull Mem Soc Anthropol Paris* 1929;10:110–91 [Chapitres III, IV et V, série 7].
- [11] Schultz AH. Vertebral column and thorax. *Primatologia* 1961;4:1–66.
- [12] Voisin JL. L'épaule des hominidés. Aspects architecturaux et fonctionnels, références particulières à la clavicle. Paris: Muséum national d'histoire naturelle; 2000.
- [13] Voisin JL. Les architectures de l'épaule chez les primates. *Rev Ostéopathie*. [In press 2014].
- [14] Senut B. L'humérus et ses articulations chez les Hominidés Plio-Pléistocènes. Paris: CNRS éditions; 1981.
- [15] Lessertisseur J, Saban R. Squelette appendiculaire. In: Grassé PP, editor. *Traité de zoologie. Anatomie, systématique, biologie*. Paris: Masson; 1967. p. 709–1078.
- [16] Voisin JL. The clavicle, a neglected bone; morphology and relation to arm movements and shoulder architecture in Primates. *Anat Rec* 2006;288A:944–53 [Part A].
- [17] Roberts D. Structure and function of the Primate scapula. In: Jenkins FA, editor. *Primate locomotion*. New York: Academic Press; 1974. p. 171–200.
- [18] Larson SG. Functional morphology of the shoulder in Primates. In: Gebo DL, editor. *Postcranial adaption in non human primates*. DeKalb: Northern Illinois University Press; 1993. p. 45–69.
- [19] Rowe N. *The pictorial guide to the living Primates*. 2nd ed Charlestown, Rhode Island: Patagonia Press; 1996.
- [20] Hammer Ø, Harper D. *Paleontological data analysis*. Malden: Blackwell Publishing; 2008.
- [21] Ciochon RL, Corruccini RS. The coraco-acromial ligament and projection index in Man and other anthropoid Primates. *J Anat* 1977;124:627–32.
- [22] Edelson JG, Taitz C. Anatomy of the coraco-acromial arch. *J Bone Joint Surg (BR)* 1992;74:589–94.
- [23] Linsell L, Dawson J, Zondervan K, Rose P, Randall T, Fitzpatrick R, et al. Prevalence and incidence of adults consulting for shoulder conditions in UK primary care; patterns of diagnosis and referral. *Rheumatol* 2006;45:215–21.
- [24] Nyffeler RW, Werner CM, Sukthankar A, Schmid MR, Gerber C. Association of a large lateral extension of the acromion with rotator cuff tears. *J Bone Joint Surg* 2006;88-A:800–5.
- [25] Moor BK, Bouaicha S, Rothenfluh DA, Sukthankar A, Gerber C. Is there an association between the individual anatomy of the scapula and the development of rotator cuff tears or osteoarthritis of the glenohumeral joint? *J Bone Joint Surg* 2013;95-B:935–41.
- [26] Potau JM, Bardina X, Ciurana N. Subacromial space in African Great Apes and subacromial impingement syndrome in Humans. *Int J Primatol* 2007;28:865–80.
- [27] Potau JM, Bardina X, Ciurana N, Camprubí D, Pastor JF, de Paz F, et al. Quantitative analysis of the deltoid and rotator cuff muscles in humans and great apes. *Int J Primatol* 2009;30:697–708.
- [28] Voisin JL. Réflexion sur le processus coracoïde des hominoïdes et des atèles; application à quelques hominidés fossiles. *C R Acad Sci* 2001;332:299–306 [Ser 2, Earth Planet Sci].
- [29] Schultz AH. The skeleton of the trunk and limbs of higher primates. *Hum Biol* 1930;2:303–438.
- [30] Stern JTJ, Susman RL. The locomotor anatomy of *Australopithecus afarensis*. *Am J Phys Anthropol* 1983;60:279–317.
- [31] Vallois HV. Interpretation of the scapula of *Plesianthropus transvaalensis*. *J Hum Evol* 1977;6:675–9.
- [32] Kapandji IA. *Physiologie articulaire: membre supérieur*, Vol 1, 5th ed Paris: Édition Maloine; 1994.
- [33] Stévenot T, Lhuair M, Stévenot M, Avisse C. Pathologies de la coiffe des rotateurs: intérêt d'une manœuvre de recentrage en chaîne fermée. *Kinesither Rev* 2012;12:48–55.