

特集 再検証「サルからヒトへ」—本当にホモ・サピエンスは進化型なのか—

ヒト上肢の特徴

昭和大学保健医療学部理学療法学科

伊藤 純治

昭和大学医学部第二解剖学教室

鈴木 雅隆 江連 博光

森山 浩志 大塚 成人

ヒトは直立二足歩行を行う霊長類である。直立二足歩行の獲得については諸説あるが、二回の運動革命を経たといわれる。第一回運動革命は、樹上生活を始めたこと、第二回運動革命は樹上生活から地上に降りて二本足で直立し、歩き始めたことである。このような革命により長い年月をかけ、サルからヒト（ホモ・サピエンス）に進化してきた（葉山, 1999）¹⁾。

直立姿勢を基本とするヒトの上肢は四足動物の前肢に相同であり、さらにさかのぼると魚類の胸鰭にたどりつく。ヒトは直立二足歩行を行うことで体の推進運動を下肢にゆだね、下肢だけで体重を支えるようになり、上肢は自由な運動器官となった。肩関節は多軸性関節で、広範囲にわたる自由な関節運動が可能である。しかし、運動性が大きい反面、脱臼しやすく、また肩がこるようになった。前腕は屈曲・伸展運動とともに、回内・回外運動が可能である。さらにヒトの手は母指と他の4指との間で対立運動ができ、サルにはない精巧な動きを行うことが可能である。

一般的に骨格筋は、太い筋線維の筋は収縮にあたり強い力を出し、連続的あるいは繊細に働く筋の筋線維は細い（Kohashi, 1937）²⁾。また、同一筋でも運動選手など、運動負荷が大きいとき筋は発達（肥大）する（猪口 他, 1980）³⁾。本論文ではヒトの上肢筋の機能形態学的特徴について、形態計測学的解析を基に述べる。

上肢帯の筋群（図1）

上肢帯の骨格は鎖骨と肩甲骨で構成され、肩甲骨

の動きを中心に、上肢の運動に関わる。肩甲骨の運動は解剖学的関節である胸鎖関節と肩鎖関節、さらに機能的関節といわれる肩甲胸郭関節の運動として現される。

肩甲骨の運動は拳上と下制、前進と後退、さらに上方回旋と下方回旋に分けることができ、その運動には棘腕筋（浅背筋）や浅胸筋が関わっている。これらの運動では肩甲骨の関節窩の向きを変えて上腕骨の運動の範囲を大きくすることに貢献している。とくに上腕の屈曲と外転の時、肩甲骨の下角が外側に回る（上方回旋）運動が重要である（分担解剖学1, 2006, 坂井 他, 2011）^{4,5)}。

上肢帯骨（鎖骨と肩甲骨）の運動にかかわる筋は、体幹から起こり上肢帯骨に付く棘腕筋群で、僧帽筋、肩甲挙筋、菱形筋、前鋸筋、小胸筋、鎖骨下筋などがある。ヒトの棘腕筋群の機能特徴については伊藤の報告（1982）⁶⁾および猪口らの総説（2008）⁷⁾にまとめられている。すなわち、ヒトの棘腕筋（前鋸筋、僧帽筋、菱形筋、肩甲挙筋）の筋線維構成における特徴は、僧帽筋が筋重量、筋層の厚さ、筋線維の太さなどで他筋に優り、筋層の厚さと筋線維の太さの間には相関関係が見られ、特に中間部の発達が著明であった。僧帽筋の作用は全体として肩甲骨を後退させ、また上方回旋を行う。他方、前鋸筋は肩甲骨を前進させる僧帽筋の拮抗作用と、上方回旋という共同作用がある。前鋸筋では筋層は厚く、筋線維の太さは棘腕筋群の中では小であり、両者の相関は見られなかった。僧帽筋や前鋸筋が麻痺すると、僧帽筋による肩甲骨の後退・固定ができなくなり、さらに両筋による肩甲骨の上方回旋が不能とな

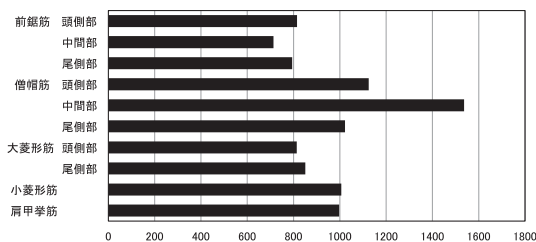


図1 ヒト棘腕諸筋の筋線維径 (μm²) (伊藤, 1983).

り、上腕の挙上動作が困難となる。以上のことから、ヒトの棘腕筋の中では僧帽筋（特に中間部）の発達が著明で、上腕の運動にあたり、肩の固定、上方回旋に大きく関与していると考えられる。また、筋線維の太さが比較的大であった僧帽筋頭側部や小菱形筋、肩甲挙筋はヒトの独特な運動である肩を持ち上げる（肩をすくめる）運動に貢献していると考えられる。

上腕の筋群 (表1, 図2・3)

上腕の筋は屈筋である上腕二頭筋、烏口腕筋、上腕筋と伸筋である上腕三頭筋、肘筋で構成される。屈筋・伸筋というのは肘関節（上腕骨と尺骨の間）に対する作用を表したもので、上腕の筋の主な作用は前腕の屈曲と伸展である。このうち、屈曲においてつねに働く主動筋は上腕筋で、上腕二頭筋はつねに働く屈筋ではないが、力を要するときに必要な力強い筋であるといわれる。一方、上腕三頭筋の伸展作用では、まず働くのは内側頭で、十分に肘を伸ばすのに外側頭と長頭が作用するといわれる。また、上腕二頭筋は肘の屈曲時に強力な前腕回外作用を発揮する。上腕の筋は肩関節にも作用するが、全般的に補助的である (分担解剖学1, 2006)⁴⁾。

筋重量からみると、上腕の筋群は上肢の筋の約55%を占める。上腕の中では伸筋群（上腕三頭筋）が約58%を占め、屈筋群より優勢である。上腕三頭筋では、長頭が外側頭と内側頭より優っている。屈筋群では上腕筋が上腕二頭筋に比べやや優っている。筋腹横断面積も筋重量と同様、上腕三頭筋では長頭が優り、上腕屈筋群では上腕筋が上腕二頭筋よりも優っている。筋線維径をみると、上腕三頭筋では筋重量、筋腹横断面積と同様、長頭が外側頭と内側頭に比べ優っている。上腕屈筋群では、上腕二頭筋短頭がやや優るが、差は小さい。上腕三頭筋に比

表1 上腕筋群、前腕筋群の相対重量 (%) の比較 (金内 他, 1984)

	上腕筋群		前腕筋群	
	屈筋群	伸筋群	屈筋群	伸筋群
サル	19.8	29.5	30.2	20.5
チンパンジー	21.0	19.7	36.4	22.7
ヒト	23.9	32.4	25.0	18.7

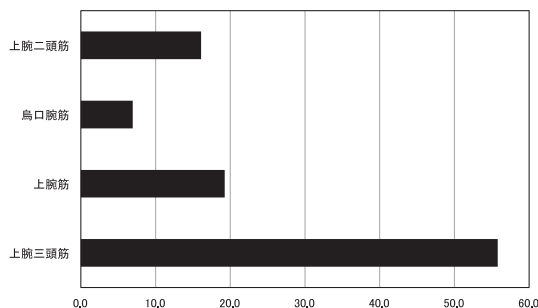


図2 ヒト上腕筋群の相対重量 (%) (金内 他, 1984).

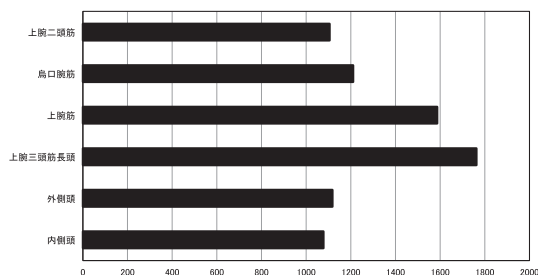


図3 ヒト上腕筋群の筋線維径 (μm²) (寺谷 他, 1985).

べ上腕二頭筋、上腕筋の筋線維径は小であり、伸筋群が屈筋群より優位である (金内 他, 1984)⁸⁾。

上腕三頭筋の各頭では、筋重量、筋線維構成の各要素とも長頭が外側頭、内側頭より優り、外側頭と内側頭間では差が小さく、二関節筋である長頭の発達が著明である。上腕屈筋群では、上腕筋が上腕二頭筋より発達し、上腕二頭筋では長頭と短頭間で差は小さいが、長頭が優る傾向がある。このように各筋（各頭）による発達度の違いがあることから、肘関節の伸展では、上腕三頭筋の内側頭と外側頭による第1次の伸展から長頭による完全な強い伸展への連携作用が筋形態に現れたものとする。屈曲では上腕筋の発達は、この筋が真の屈筋であるといわれ

ることと一致したものであり、上腕三頭筋の伸展作用の発達に拮抗する結果の現れといえる。また、肘関節に対する屈伸作用では、相対的に伸展作用が優位であることを示している(寺谷 他, 1985)⁹⁾。

上腕の筋群のうち、上腕三頭筋長頭、上腕二頭筋は肩関節と肘関節に作用する二関節筋である。上腕三頭筋内側頭・外側頭、上腕筋は肘関節だけに作用する一関節筋である。上腕三頭筋では二関節筋の長頭が一関節筋である他2頭より発達している。一方、下肢における上腕三頭筋の相同筋である大腿四頭筋では、一関節筋である広筋群が二関節筋である大腿直筋に比べ発達している(小林, 1991)¹⁰⁾。上腕屈筋群では一関節筋の上腕筋が優位である。これらの特徴は、上肢の肩関節と肘関節の運動性と、下肢の股関節と膝関節の運動性に違いがあることを示している。

CT写真による上腕部の組織構成に観察では(田中, 1988)¹¹⁾、上腕中央部の筋構成は上腕三頭筋が最大で約58%を占め、次いで上腕筋(約24%)、上腕筋(約18%)となり、筋線維構成と同様、伸筋である上腕三頭筋が屈筋群に優っている。また、男性において上腕三頭筋の加齢的減少傾向が著明であり、男女による運動量の違いとの関連性を示している。

ヒトとサルの上腕筋群を比較すると、相対重量値における肘関節の屈伸指数(屈筋群/伸筋群の指数)は、サル類は伸筋群の発達が顕著で、チンパンジーは屈筋群の発達が顕著であり、ヒトはその中間型を示す。これはヒトの自由上肢の運動、サル類の四足歩行における体の支持と推進運動、チンパンジーの腕渡り運動の適応変化と理解できる(木村・高井, 1970; 金内 他, 1984)^{8, 12)}。

前腕の筋群 (表1, 図4・5)

前腕の筋群は屈筋群(前面の筋)と伸筋群(後面の筋)に分けられる。これは手根と指の関節を屈曲、伸展する作用を表している。前腕筋群の作用には屈伸のほか、手根の外転(橈屈)・内転(尺屈)、さらに前腕の回内・回外がある。前腕の回内で主力となるのは方形回内筋で、ついで円回内筋が作用する。回外では、はじめに作用するのは回外筋で、上腕二頭筋は力を要するときに働く。とくに肘関節が屈曲位るときは上腕二頭筋が主動筋となる。さらに伸

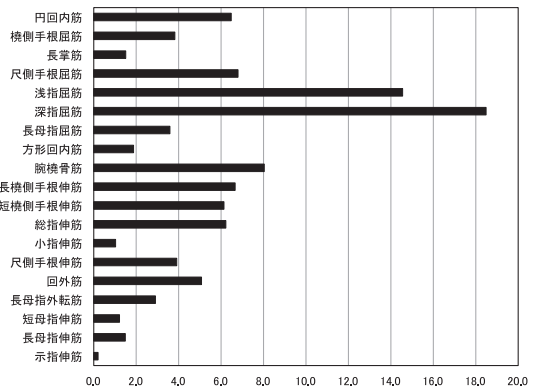


図4 ヒト前腕筋群の相対重量 (%) (金内 他, 1984)。

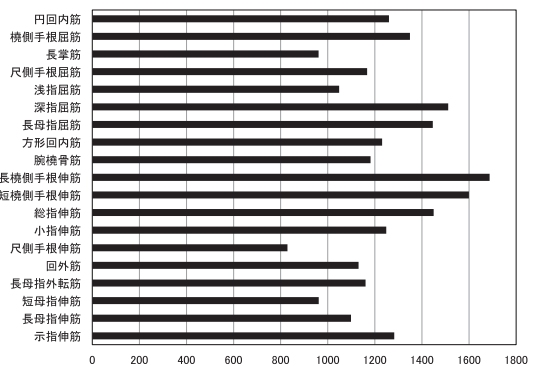


図5 ヒト前腕筋群の筋線維径 (μm²) (寺谷 他, 1985)。

筋群に分類される腕橈骨筋は肘関節を屈曲する筋である。上腕の肘関節屈筋群は筋皮神経に支配されるのに対し、腕橈骨筋は前腕伸筋群と同じ橈骨神経に支配されるのが特徴である(分担解剖学1, 2006)⁴⁾。

前腕の屈筋群と伸筋群を比較すると、筋重量、横断面積、筋線維総数では屈筋群が伸筋群に優り、筋線維径の平均は差がなく、屈筋群が発達している(寺谷 他, 1985)⁹⁾。これは指の屈曲作用にも影響する特徴である。前腕屈筋群における屈伸指数(屈筋群/伸筋群の指数)をヒト、チンパンジー、サルで見ると、同じ傾向を示し、屈筋群が伸筋群に優るが、ヒトではサルなどよりやや小さい値を示す(木村・高井, 1970; 金内 他, 1984)^{8, 12)}。このことから、自由上肢であるヒトでは屈筋群と伸筋群の差が小さくなり、伸筋群の重要性が増加している。サルの四足歩行や腕渡りでは手関節や指の屈曲が重要な働きを持つと言える。

回外筋群（回外筋と上腕二頭筋）と回内筋群（円回内筋と方形回内筋）を比較すると、筋重量、横断面積、筋線維総数は回外筋群が回内筋群に優る。筋線維径は回内筋群が優っている。これはヒトの前腕の回外力は回内力より強いことを示し、ねじは右手の回外力を利用して強く締め付けるような構造をしていることと一致している。

CT写真による前腕部の組織構成の観察では（宇田川，1986，谷，1989）^{13,14)}，屈筋群約55%，伸筋群約45%を占め、屈筋群がやや優っている。個々の筋をみると、深指屈筋が最大で、短橈側手根伸筋、橈側手根屈筋、浅指屈筋、円回内筋の順で、この筋でも屈筋群が大の傾向があり、また筋線維構成の結果と同様の結果を示している。

手の筋群（図6・7）

ヒトの手はものを掴む、握る、つまむなどさまざまな動きを行う。一方、サルの手は体の支持や移動手段として欠かすことができない。手指の動きは前腕にある手外筋と手掌にある手内筋で行われ、手外筋は粗大な動きに、手内筋は微妙な動きに関与する。ヒトの手外筋の特徴の一つとして、短母指伸筋と長母指屈筋が独立して存在することである。このことにより母指の独立性が高まり、母指の基節を固定し、末節だけを曲げることができ、この運動はヒトに特有のものである。さらにヒトの母指の手根中手関節が鞍関節となっており、母指の付け根での回旋が可能となっている。サルでは長母指屈筋に相当する腱が深指屈筋から出ているため、母指の末節だけを曲げようとする、示指を始め他の指の末節も同時に曲がってしまう（本間・坂井，1992，1994）^{15,16)}。

深指屈筋、浅指屈筋は筋重量、横断面積、筋線維総数では前腕筋群の中で大である。筋線維径では深指屈筋は大で、浅指屈筋は比較的小に分類される。このことは、深指屈筋は末節の強い屈曲に、浅指屈筋は中節屈曲の微妙な運動に作用すると考えられる。長母指屈筋は筋線維径が大であり、これは母指の強い屈曲作用を表すものである（寺谷 他，1985）⁹⁾。

ヒトの手内筋は、筋重量では母指球筋が中手筋、小指球筋より優り、とくに母指内転筋、母指対立筋の発達が目立つ。また、筋線維総数は筋重量と相関して、母指球筋が優っている。筋線維径では、第1・2背側骨間筋、母指内転筋、母指対立筋が他よ

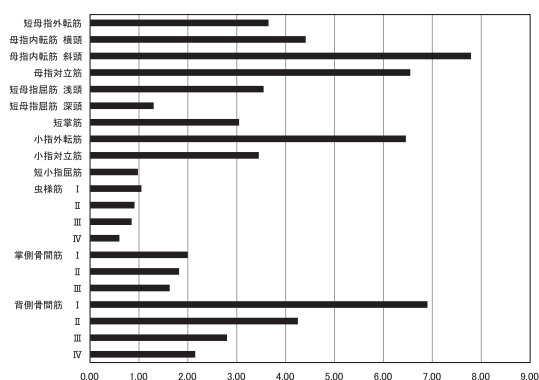


図6 ヒト手内筋の筋重量 (g) (阿尻, 1981; 鈴木 他, 1982).

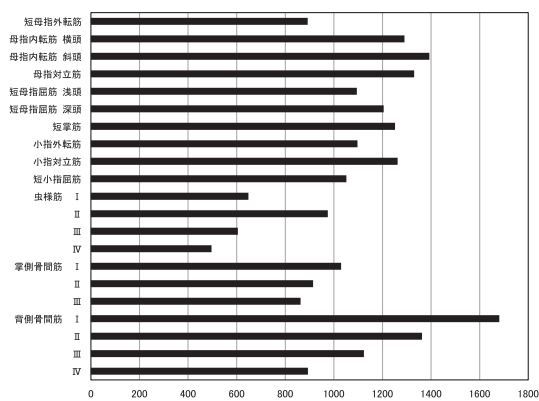


図7 ヒト手内筋の筋線維径 (μm²) (阿尻, 1981; 鈴木 他, 1982).

りも大である。筋重量および筋線維構成の特徴から、ヒトでは母指の運動に関わる筋が発達することを示し、母指と他4指による把握やつまみ動作に大きく関与するものと考えられる。一方、サルの手筋の特徴は、体の支持やぶら下がりに関与する筋が発達する傾向を示している（阿尻，1981；鈴木 他，1982）^{17,18)}。

CT写真による成人手の組織構成の観察では、母指球筋が最も大で、小指球筋と中手筋はほぼ等しい値を示した。これらの特徴は筋線維構成からみた手内筋の特徴と一致するものである。さらに、母指球筋の筋断面積は握力や利き手と相関する傾向が見られている。これらのことはヒトの手内筋では母指の独自の運動に関連して母指球筋が発達することを示している（奥田，1987）¹⁹⁾。

ま と め

本論文ではヒト上肢の運動にかかわる各筋の特徴について、筋重量（相対重量）、筋線維構成、CT観察を中心にまとめた。上肢を含め、ヒトの骨格筋の特徴について、猪口の近著『骨格筋の筋線維構成』（猪口，2012）²⁰⁾に詳説されているので参照されたい。

文 献

- 1) 葉山杉夫：ヒトの誕生 二つの運動革命が生んだ<奇跡の生物種>。pp. 51-117, PHP 研究所, 東京, 1999. (PHP 新書; 080)
- 2) Kohashi Y: Histologische Untersuchungen der verschiedenen Skelettmuskeln beim Menschen. I. Untersuchungen beim Erwachsenen. *Okajimas Folia Anat Jpn* 15: 175-188, 1937.
- 3) 猪口清一郎, 東 慶紀, 岩本壮太郎, ほか：スポーツ選手腹直筋断面の筋線維構成について。体力科学 29: 45-51, 1980.
- 4) 森 於菟, 小川鼎三, 大内 弘, ほか：上肢の筋, 解剖学 1 総説 骨学・靱帯学・筋学, 第 11 版, pp. 333-377, 金原出版, 東京, 2006.
- 5) 坂井建雄, 宮本賢一, 小西真人, ほか：肩甲骨の運動. 運動器, 第 2 版, p. 33, 日本医事新報社, 2011. (カラー図解人体の正常構造と機能; 第 10 巻)
- 6) 伊藤良作：ヒト棘腕諸筋の筋線維構成について。昭和医学会誌 43: 43-54, 1983.
- 7) 猪口清一郎, 江連博光, 鈴木雅隆：上肢帯の運動と筋の機能. 形態科学 12: 17-22, 2008.
- 8) 金内洋一, 伊藤良作, 猪口清一郎, ほか：上肢筋の相対重量と筋線維構成の比較解剖学的研究—ブタオザルを中心として—. 昭和医学会誌 44: 541-548, 1984.
- 9) 寺谷俊雄, 伊藤純治, 伊藤良作, ほか：ヒト上肢筋の筋線維構成に関する研究—ヒトとサルの上肢機能の比較—. 昭和医学会誌 45: 61-70, 1985.
- 10) 小林公一：ヒト大腿四頭筋の筋線維構成について。昭和医学会誌 51: 186-196, 1991.
- 11) 田中良治：X 線コンピューター断層撮影法による成人上腕部の組織構成の観察。昭和医学会誌 48: 575-583, 1988.
- 12) 木村邦彦, 高井省三：相対重量によるカニクイザルの四肢の比較解剖学的研究。解剖誌 45: 80-90, 1970.
- 13) 宇田川晃一：X 線コンピューター断層撮影法による成人前腕の組織構成の観察。昭和医学会誌 46: 687-695, 1986.
- 14) 谷 奈保紀：X 線コンピューター断層撮影法 (CT) による成人前腕最大囲部の筋組織構成の観察。昭和医学会誌 49: 33-46, 1989.
- 15) 本間敏彦, 坂井建雄：霊長類の親指を動かす筋について—ヒトの手の特徴を考える—. 霊長類研究 8: 25-31, 1992.
- 16) 本間敏彦, 坂井建雄：手内筋の解剖学。解剖誌 69: 123-142, 1994.
- 17) 阿尻貞三：ヒトとサルの手筋筋線維構成の比較研究。昭和医学会誌 41: 693-706, 1981.
- 18) 鈴木雅隆, 猪口清一郎, 中西 弘, ほか：カニクイザル足筋の筋線維構成について—ヒト足筋ならびにサル・ヒトの手筋との比較—. 昭和医学会誌 42: 737-746, 1982.
- 19) 奥田良三：X 線コンピューター断層撮影法による成人手の組織構成の観察。昭和医学会誌 47: 177-188, 1987.
- 20) 猪口清一郎：骨格筋の筋線維構成。pp. 1-78, ニチゲン, 東京, 2012.