

円回内筋両頭の筋活動が肘関節の動的支持機能へ与える影響

小泉 裕昭^{1,2} 大山 峰生² 小田桐正博^{2,3} 松沢 翔太^{2,3}
 中村 雄一³ 藤目 智博² 草野 望¹ 坪川 直人³ 森谷 浩治³
¹富永草野病院 ²新潟医療福祉大学大学院 ³新潟手の外科研究所病院

Effects of Muscle Activities of the Two Heads of Pronator Teres on the Dynamic Stabilizing Function of the Elbow Joint

Hiroaki Koizumi^{1,2} Mineo Oyama² Masahiro Odagiri^{2,3}
 Shota Matsuzawa^{2,3} Yuichi Nakamura³ Chihiro Fujime²
 Nozomu Kusano¹ Naoto Tsubokawa³ Kouji Moriya³
¹Tominagakusano Hospital
²Nigata University of Health and Welfare Graduate School
³Nigata Hand Surgery Foundation Hospital

目的：円回内筋は前腕回内運動を主機能とする二頭筋であり，外反制動機能も持つとされている．本研究では円回内筋の両頭の肘関節内反運動課題における筋活動を導出し，その機能を検討した．

方法：対象は健常成人6名とした．課題運動は最大努力による内反運動とし，双極ワイヤー電極を用いて筋電図を導出した．測定肢位は肘関節0，45，90度の3肢位，前腕は各肘関節肢位で回内と回外の2肢位を設定した．

結果：内反運動課題の筋活動は，上腕骨頭が最大回内運動時の20%，尺骨頭が40%程度であり，肘関節および前腕肢位による影響は認めなかった．また全ての測定肢位で，尺骨頭が上腕骨頭に比べ有意に高値を示した．

考察：両頭ともに内反運動で筋活動が生じたことは，両頭は外反制動機能を有することを示している．尺骨頭は上腕骨頭に比べ高い活動が生じたことに加え尺骨頭の解剖学的構造を踏まえると，尺骨頭はより強い外反制動機能を有する．

【緒 言】

肘関節の内側支持には，静的支持機能を有する内側側副靭帯が主な役割を担う．この内側側副靭帯と隣接し，同様の走行を持つ筋には動的支持機能を有する可能性があると考えられ，円回内筋 (PT) や橈側手根屈筋 (FCR)，浅指屈筋 (FDS)，尺側手根屈筋 (FCU) について報告されている．しかし，これらの報告の多くは屍体を用いた切離実験や筋腱を人為的に牽引して関節運動を生じさせた力学的研究¹⁻³⁾や，肉眼で筋線維走行やモーメントアーム等を観察した解剖学的研究^{4,5)}による推測であり，生体における本来の機能は詳細に解明されていない．

PTは前腕回内運動が主機能とされているが，先に述べた肘関節周囲筋とは異なり，上腕骨頭 (humeral head ; HH) と尺骨頭 (ulnar head ; UH) から構成される二頭筋であることから，両頭はそれぞれ異なる特異的な機能を持つことが推測される．Otoshiら⁶⁾は肘関節の外反負荷に対し，それに打ち勝つように等尺性筋収縮を行わせた際の腕尺関節の変化量を超音波で観察している．その結果，PTの作用が最も大きく，UHの一部の線維が肘関節内側関節包に付着しているという解剖学的特徴からUH

もHHと同様に動的支持機能を持つ可能性があると考えられている⁷⁾．しかし，これまでのところ両頭を区別して検討した報告はなく，両頭がどのような活動特性を持つかは明らかになっていない．

そこで本研究では，動作筋電図手法を用いてPT両頭が肘関節におよぼす外反制動機能を明らかにし，これまでの力学的および解剖学的研究の結果を踏まえて，生体のPTの動的支持機能を検討することを目的とした．

【方 法】

(1) 対象

対象は，神経筋疾患および整形外科的疾患の既往のない健常男性6名とした．平均年齢は36.3±8.4歳，全員右利きであった．なお，本研究は新潟医療福祉大学倫理委員会の承認を得て，被験者には予め実験の目的と方法を文章で説明し，同意を得た．

(2) 課題運動および測定肢位

課題運動は最大努力で随意的に筋収縮 (maximum voluntary contraction ; MVC) させる右肘関節の等尺性内反運動とした．測定は椅坐位で行い，机上に設置された計測用固定台に上腕を肩関節屈曲90度，

Key words : pronator teres (円回内筋), electromyography (筋電図), dynamic stabilizing function (動的支持機能)

Address for reprints : Hiroaki Koizumi, Tominagakusano Hospital, 2-2-25 Kouya, Sanjo-shi, Nigata 955-0046 Japan

外転0度で設置固定した。肘関節の計測肢位は屈曲0度、45度、90度の3肢位とし、前腕は各肘関節肢位において最大回外位と回内の2肢位を設定した。課題運動時のMVCの持続時間は3秒とし、被験者には前腕回内運動を生じさせないように口頭で指示した。施行回数は各肢位2～4回とし、筋の疲労の影響を避けるために各施行間に1分間の休憩を入れ、計測肢位はランダム化した。また、等尺性内反運動時の筋活動量の相対的割合を示すために、課題運動に先立ち等尺性最大回内運動を追加した。その際の測定肢位は、肩関節および肘関節屈曲90度、前腕中間位とした。

(3) 筋電図導出用電極

被験筋は右側のHHとUHとし、筋電図の導出には硬質ウレタンで被覆された直径0.05mmのタングステン線(TK213-072c, ユニークメディカル, 東京)で作製した双極貼合ワイヤー電極を使用した。非絶縁部は2mm, 電極間距離は5mmで固定し、電極先端部分は筋の収縮に伴い追従するように鉤状に約10mm折り返した。電極の刺入は長さ60mmのカテラン針(25G)をガイドとして用い、刺入後はそのガイド針のみ抜去して電極を留置した(図1)。電極刺入部位は前腕近位1/3の前面中央とし、HHは上腕骨内側上顆に向けて表層の筋腹へ、UHは上腕筋との境界を確認し、より外側の深層、近位筋腹に電極を刺入した。刺入時には超音波画像(Viamo, 東芝メディカルシステムズ, 日本)にて目的とする部位に刺入されているかを確認した(図2)。電極の留置後は、前腕回内運動で筋電図が導出され、上腕筋、FCRおよびFDSなどの隣接する筋の収縮で筋活動が導出されないことを確認した。また、内反運動時のPT筋活動が前腕回内運動による活動でないことを確認する目的で、前腕回内運動を主機能として持つ方形回内筋(PQ)に双極性表面電極(Blue Sensor NF, Ambu, Denmark)を貼付した。当該表面電極は、PQ橈側の筋腹に電極間距離1cmにて貼付した。なお、不関電極は肘頭部に刺入した。

(4) 筋電図の導出と解析

ワイヤー電極および表面電極から導出した筋電図信号は筋電図アンプ(DL-140, 4 Assist, Japan)

を用いて100倍に増幅し、アナログ出力ボックス(DL-270, 4 Assist, Japan)を経由して、サンプリング周波数2kHzでA/D変換してパーソナルコンピュータに記録した。これらのデータの取り込みには、データ収録・解析システム(power Lab 8/30, AD Instruments Australia)を用いた。記録された筋電図信号は、10～1000Hzのband-pass filterで処理した。筋電図の解析区間は運動開始1秒以降で安定した筋活動が得られた500msecとし、全波整流後にこの間の筋電図積分値(IEMG)を算出した。但し、PQの筋活動が等尺性前腕回内運動で得られた最大IEMGの10%以上であった場合は、データとしての採用を却下した。

各肢位で得られた最大IEMGは、各被験者における前腕最大回内運動時のIEMG値を基準に正規化し、その値をNIEMG(Normalized IEMG)とした。次いで、各被験者2施行のNIEMGの平均値を肢位ごとに求め、さらに被験者間のNIEMGの平均値および標準偏差を算出した。

(5) 統計処理

前腕肢位ごとに、肘関節肢位および筋頭間を要因とした対応のある二元配置分散分析(two-way ANOVA)を用いて平均NIEMGを比較した。有意水準は5%未満とした。なお、これらの統計処理には、SPSS解析ソフト(IBM SPSS statistics Ver. 18, SPSS Japan Inc, an IBM company, 東京)を使用した。

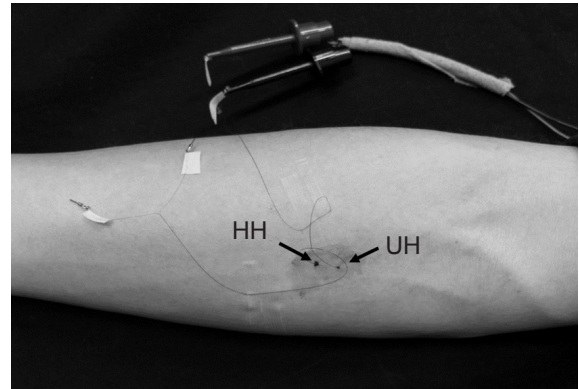
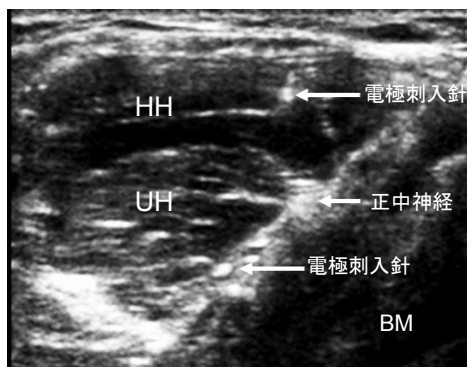
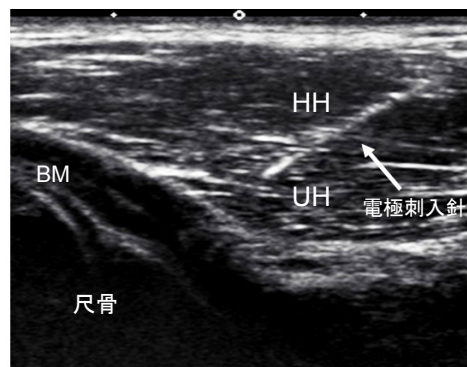


図1 ワイヤー電極刺入部位



a



b

図2 超音波画像による刺入部位の確認

a. 短軸像 b. 長軸像

【結 果】

図3には、代表被験者の前腕回内運動と肘関節内反運動におけるHHおよびUHとPQの筋電図波形を示した。肘関節内反運動時の活動は、HHとUH共に最大回内運動時の半分以下であったが、UHはHHよりも大きい活動を呈していた。

図4には、前腕回内運動と肘関節内反運動にお

けるHHとUHのNIEMGの平均値±標準偏差を示した。HHとUH共に肘関節、前腕肢位による差は認めず、いずれの測定肢位においてもHHが20%、UHが40%程度の値を呈した。両頭間の比較では、全ての測定肢位においてUHはHHよりも有意に高い値を示した ($P<0.05$)。

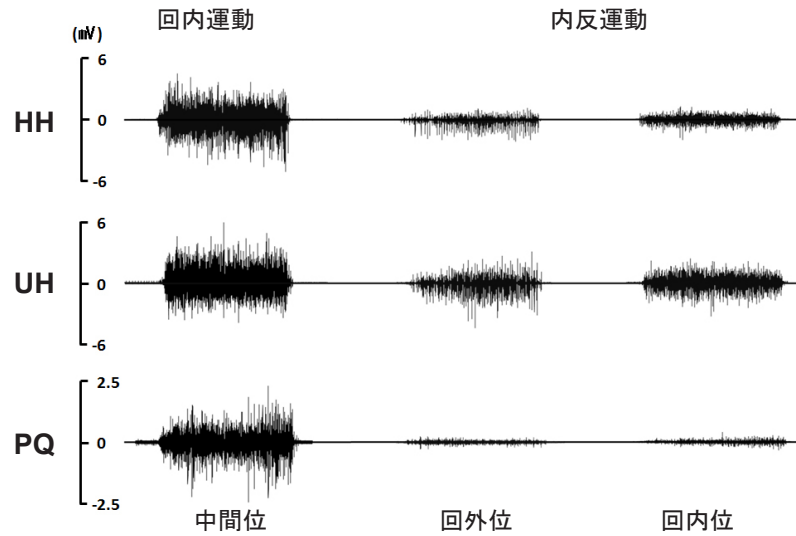


図3 回内運動および内反運動課題におけるHHとUHとPQ活動の代表例（肘関節90度）

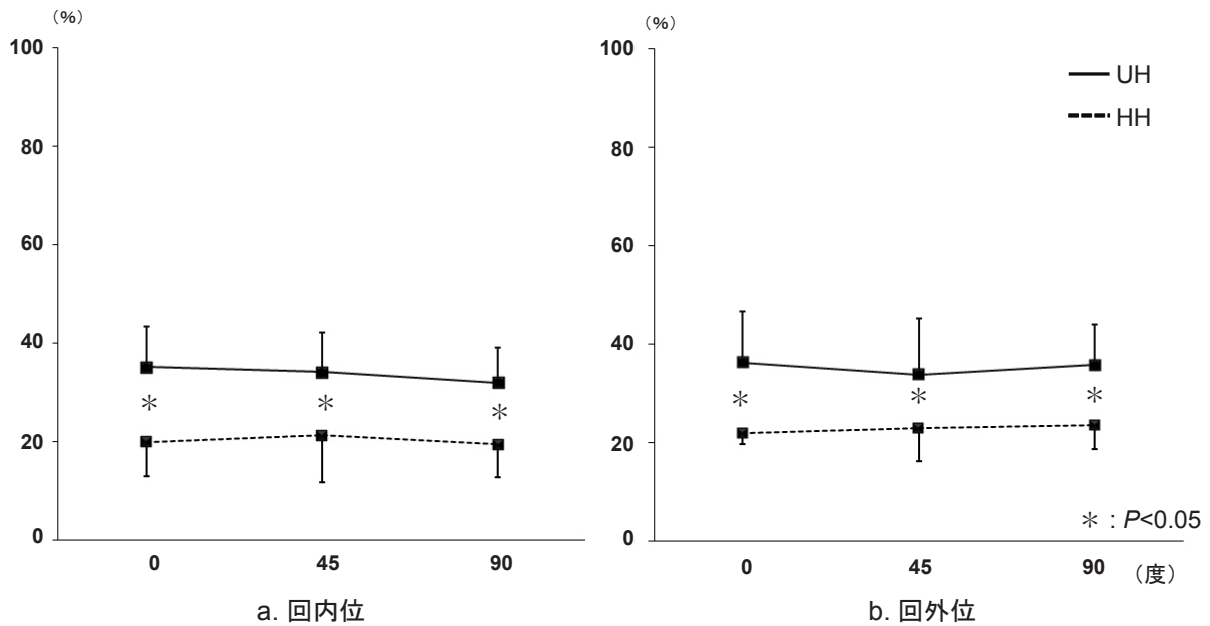


図4 内反運動時におけるHHとUHのNIEMG

【考 察】

本研究ではHHとUHを区別して筋電図を導出し、各頭の活動特性を調査した。その結果、肘関節内反運動におけるHHとUHの活動は、それぞれ最大前腕回内運動時の20%、40%の活動を呈した。その際、前腕の回内を主機能として持つPQが活動していないことから判断すると、この両頭の活動は前腕の回内筋としてではなく、肘関節の内反筋として活動したものであり、両頭共に肘関節の外反制動機能を有する筋と考えた。また、UHにおいては常に肘関節の屈伸運動軸上を走行していることを考慮すると、肘関節の肢位で筋長や内反モーメントの長さに変化は生じないので、内反力は筋活動に依存することになる。また本研究の結果、UHは肘関節や前腕肢位に関わらず一定した活動を呈し、HHの約2倍の活動であったことから、UHは関節肢位に影響されない安定した内反筋であるとともにHHに比べより外反制動に貢献する筋と考えた。しかし、本研究では筋の収縮力を測定していないため、その貢献度については正確に断定できない。Otoshiら⁷⁾は前腕屈筋群およびPTから伸びAOLの真横を平行に走行する共通腱の存在を確認し、この共通腱は内側上顆から肘関節内側関節包にかけて付着するが、特にUHからの線維はHHの線維に比べ肘関節内側関節包に付着する線維が強靱であることを報告している。即ちUHは筋収縮により肘関節内側関節包を緊張させて、直接的に上腕骨と尺骨との良好な位置関係を得るのに貢献すると推測できる。さらに、UHが外反制動に関しHHより有利に機能する要因として、各頭の走行から推測して内外反運動軸からのモーメントアームはUHの方がHHよりも長く、内反トルクの発揮に有利であることといった解剖学的な特徴も考えられた。以上に示した解剖学的要因を考慮すると、本研究で示したHHに勝るUHの活動は合理的なものであり、UHはHHに比べてより強く外反制動機能に貢献している可能性があると考えた。

また、両頭は共に同じ正中神経支配であるにも関わらず、内反運動においては筋活動量が異なったことから、両頭の外反制動機能は中枢神経レベルで異なる制御機構が存在する可能性を示唆していると考えた。

【結 語】

本研究では、PTの活動特性をHHとUHに分けて解析した。両頭は内反運動において、肘関節や前腕肢位に影響されることなく活動することが明らかになった。内反運動における活動は、HHが最大回内活動の20%、UHが40%程度であり、本研究の結果とUHの解剖学的特徴を考慮すると、UHはHHよりも強い外反制動機能を有している可能性がある。

【文 献】

- 1) Udall JH, Fitzpatrick MJ, McGarry MH, et al: Effects of flexor-pronator muscle loading on valgus stability of the elbow with an intact, stretched, and resected medial ulnar collateral ligament. *J Shoulder Elbow Surg.* 2009; 18: 773-8.
- 2) Lin F, Kohli N, Perlmutter S: Muscle contribution to elbow joint valgus stability. *J Shoulder Elbow Surg.* 2007; 16: 795-802.
- 3) Park MC, Ahmad CS: Dynamic contributions of the flexor-pronator mass to elbow valgus stability. *J Bone Joint Surg Am.* 2004; 86: 2268-74.
- 4) An KN, Hui FC, Morrey BF, et al: Muscles across the elbow joint: a biomechanical analysis. *J Biomech.* 1981; 14: 659-69.
- 5) Davidson PA, Pink M, Perry J, et al : Functional Anatomy of the Flexor Pronator Muscle Group in Relation to the Medial Collateral Ligament of the Elbow. *Am J Sports Med.* 1995; 23: 245-50.
- 6) Otoshi K, Kikuchi S, Shishido H, et al : Ultrasonographic assessment of the flexor pronator muscles as a dynamic stabilizer of the elbow against valgus force. *Fukushima J Med Sci.* 2014 ; 60 : 123-8.
- 7) Otoshi K, Kikuchi S, Shishido H, et al: The proximal origins of the flexor-pronator muscles and their role in the dynamic stabilization of the elbow joint: an anatomical study. *Surg Radiol Anat.* 2014; 36: 289-94.