

令和 3 年 5 月 21 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02142

研究課題名(和文) ヒト骨格筋の深層筋と表層筋における機能的役割の解明

研究課題名(英文) Evaluation of function of deep and superficial muscles in humans

研究代表者

秋間 広 (Akima, Hiroshi)

名古屋大学・総合保健体育科学センター・教授

研究者番号：40292841

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では上腕三頭筋の筋の形が筋収縮パターンや筋活動に及ぼす影響について検討することを目的とした。13名の若年男女が肘関節角度60、90、120度において、随意肘伸展力(MVC)の50%、75%の強度で等尺性筋力発揮を行った。その結果、安静時と比較して肘関節角度60度と90度で上腕三頭筋・長頭の筋束長の有意な短縮が見られた。次に、上腕三頭筋の神経筋活動について検討した。その結果、上腕三頭筋の3筋の筋活動は力発揮とともに直線的に増加した。以上の結果から、ヒト上腕三頭筋では筋収縮に伴って著しい筋形状や筋活動変化が見られなく、これは抗重力筋である大腿四頭筋の結果とは大きく異なることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では肘を伸ばす筋肉(上腕三頭筋)の力発揮時の筋肉の形と筋活動について検討した。その結果、上腕三頭筋を構成する3つの筋肉間での力発揮時の形の変化と筋活動パターンには劇的な変化は見られなかった。これは我々がこれまで対象としてきた抗重力筋である大腿四頭筋とは異なった。この違いは上腕三頭筋と大腿四頭筋の体における役割の違いや発揮できる力の大きさの違いなどに起因していると考えている。上腕三頭筋は車椅子における最大の動力源となる筋肉でこの筋肉の特性を調べることは大変に意義あるものだと考えている。したがって、本研究は身体的に障害を持つ方々においても重要な示唆を与えるものであると考えている。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to investigate the effect of triceps brachii (TB) muscle architecture on muscle contraction patterns and neuromuscular activity. Thirteen young men and women exerted isometric muscle strength at 50% and 75% of voluntary elbow extension (MVC) at elbow joint angles of 60, 90, and 120 degrees. As a result, the TB-long head fascicle lengths were significantly shortened at the elbow joint angles of 60 and 90 degrees compared to the rest. Next, we examined the neuromuscular activity of the TB muscles. As a result, the muscle activity of the three TB muscles increased linearly with the exertion of force. From the above results, it was shown that in the human TM muscle, no significant change in muscle architecture or muscle activity was observed with muscle contraction, which is significantly different from the result of the quadriceps femoris muscle, which is an anti-gravity muscle.

研究分野：運動生理学

キーワード：骨格筋 筋束 神経筋活動 表面筋電図 超音波断層装置

1. 研究開始当初の背景

我々のヒト生体システムは合目的に機能を発揮できるように構成されている。恐らく筋骨格系もその例外ではない。筋骨格系の機能を理解する際に頻繁に用いられる生体モデルとして、筋腱複合体モデルが挙げられる。このモデルは、筋収縮が腱の伸張を引き起こし、腱に蓄積された弾性エネルギーを利用してより高いパフォーマンスを発揮させるというものである。しかし、このモデルの対象は、筋の両端に長い腱組織を持つ表層部の筋(表層筋)のみに限られる(図1)。ヒト骨格筋には筋線維が広範囲に渡って骨に直接付着し、深層部に位置する筋(深層筋)も多く存在する。近年、申請者らは深層筋に注目してきており、それが表層筋とは異なる役割を担うことを大腿四頭筋を用いて明らかにしてきた(Saito, Akimaら PLoS ONE 2015; Akima & Saito Muscle & Nerve 2013)。したがって、この筋腱複合体モデル

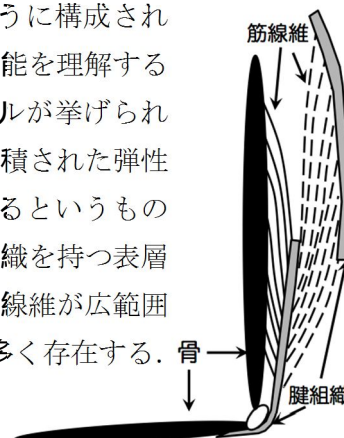


図1 肘関節伸展に関係する深層筋(実線)と表層筋(点線)の筋腱モデル

では深層筋の機能を十分に説明できない事例があることも明らかとなってきた(Akima & Saito 2013; Ando, Akimaら Muscle & Nerve 2016)。この筋腱複合体モデルの事例が示すように深層筋の重要性については十分に認識されておらず、その役割についても十分に理解されていない。さらに、この筋腱複合体モデルが下肢の筋だけを対象にしているのか、上肢等の他の筋についても同様な理論が成り立つのかどうかは明らかとなっていない。

2. 研究の目的

上記のような研究背景を元に大腿四頭筋での先行研究によって得た知見が、大腿四頭筋特有のものであるのか、あるいは他の筋においても同様な深層筋と表層筋の役割があるのか否かについては明らかにされていない。なお、本研究で示す深層筋とは広範囲に渡って骨に直接付着し、少ない腱組織を持つ深層部にある筋のことを示し、表層筋とは両端に比較的長い腱組織を有し、骨への付着面積が比較的少ない表層部に位置する筋のことを示している。本研究では2つの表層筋と一つの深層筋という大腿四頭筋と類似した解剖学的特徴を持つ上腕三頭筋を対象に、大腿四頭筋で見られた表層筋と深層筋の役割が上肢の筋である上腕三頭筋においても見られるのか否かについて検討することを目的とした。上腕三頭筋の深層筋と表層筋においても大腿四頭筋と類似した役割分担があるという仮説を設定した。

3. 研究の方法

一つ目の研究は等尺性肘伸展筋力(MVC)発揮時における上腕三頭筋・長頭(表層筋)および内側頭(深層筋)の筋収縮に伴う筋束長と羽状角の変化について調べた。17名の若年男女の研究対象者(年齢 20.1 ± 1.5 歳、身長 165.3 ± 9.9 cm、体重 58.4 ± 11.3 kg)が実験に参加した。この研究は名古屋大学医学系研究科生命倫理審査委員会の承認を得て行われた(2017-0321)。筋力発揮に用いた肘関節角度は60度、90度、120度(180度=完全伸展)で、各関節角度において、50%MVCと75%MVCでの等尺性肘伸展筋力発揮を行なった。

研究対象者の前に設置したモニタに発揮筋力がリアルタイムに提示され、研究対象者は発揮筋力をターゲットに可能な限り合致させるようにし、また力が定常となる時間が約5秒程度となるように努力した。安静時および肘伸展筋力発揮時における超音波断層装置のExtended-field of view (EFOV)を撮影し、上腕三頭筋・長頭および内側頭のパノラマ画像を取得した(Andoら Scand J Med Sci Sports 2018)。この機能を用いることで上腕三頭筋・長頭および内側頭の複数本の起始部から停止部までの筋束を撮影・分析することが可能となる。一つの試行(例えば、関節角度90度での50%MVCの試行)において、3回の筋力発揮を行なった。1回の筋力発揮によって得られたEFOV超音波画像から上腕三頭筋の長頭および内側頭をそれぞれ3本の筋束を同定し、画像処理ソフト(ImageJ)を用いて筋束長と羽状角を分析し、それらの平均値を算出した。同様に他の2回の筋力発揮時から求めた超音波画像からそれぞれ3本の筋束を同定し、筋束長と羽状角を算出した。これら3つの筋束長と羽状角の値を平均し、代表値として後の分析に用いた。他の関節角度においても同様な方法を用いて筋束長と羽状角を算出した。

二つ目の研究は、上腕三頭筋を用いた発揮筋力 神経筋活動関係(力 EMG 関係)の研究である。異なる関節角度条件において、異なる複数の張力を発揮し、上腕三頭筋・長頭(表層筋)、外側頭(表層筋)および内側頭(深層筋)の神経筋活動について検討した。17名の男女の研究対象者(年齢 20.1 ± 1.5 歳、身長 164.6 ± 8.2 cm、体重 56.7 ± 8.6 kg)が実験に参加した。この研究は名古屋大学医学系研究科生命倫理審査委員会の承認を得て行われた(2017-0321)。60度、90度、120度(180度=完全伸展)の肘関節角度条件において、20%MVC、40%MVC、60%MVCおよび80%MVCの筋力発揮を行い、その際、上腕三頭筋・長頭、内側頭および外側頭から表面筋電図を記録した。20%MVC、40%MVC、60%MVCの筋力発揮については各関節角度において3回ずつ行い、80%MVCについては2回ずつ行なった。関節角度および筋力発揮レベルなど測定の順番については、全てランダムであった。得られた筋電図信号を全波整流した後、root mean square (RMS)を算出し、100%MVCのRMSを100とした相対値を算出した。

4. 研究成果

第一の研究において、長頭では60度における50%・75%MVCで、90度では75%MVCにおいて、有意な筋束長の短縮が認められた(図2)。羽状角については、いずれの条件においても有意な変化は認められなかった。この結果は表層筋(長頭)と深層筋(内側頭)の間で筋収縮に伴う筋束長変化が、特に筋力発揮の関節角度に依存して異なることを示しており、筋力発揮時に表層筋を深層筋では異なる筋束長変化が生じることを示した。この研究はJournal of Electromyography & Kinesiology(doi: 10.1016/j.jelekin.2020.102452)に採択された。

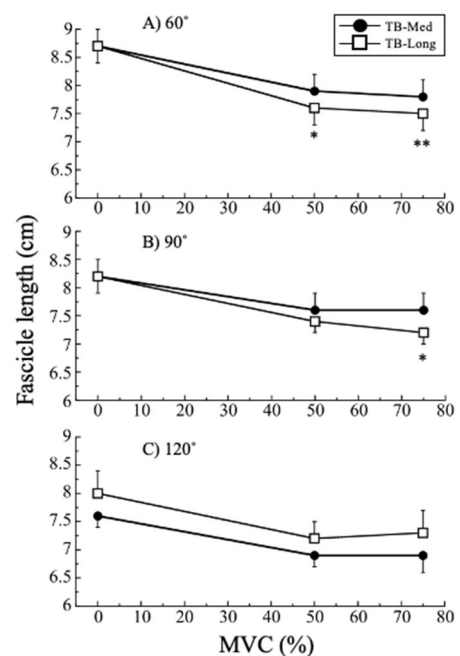


図2 力発揮に伴う筋束長の変化
TB-Med, 上腕三頭筋・内側頭, TB-Long, 上腕三頭筋・長頭

第二の研究において、肘関節角度で分類した際の力 EMG 関係においては、関節角度 60 度の 20%MVC では上腕三頭筋・長頭が他の 2 筋と比較して有意な低値を示したが、その他の部分では有意な差は認められなかった。一方、筋毎に分類した際の力 EMG 関係においては、関節角度 120 度において全ての筋において 20%MVC から 80% MVC において他の関節角度との比較において有意な低値を示した（図 3）。すなわち、肘関節が伸展している状態ではより少ない神経筋活動によって、ターゲットとする力発揮を行うことができたが、深層筋と表層筋の違いは見出せなかった。この研究は PLoS One(doi:未定)に Effect of elbow joint angles on electromyographic activity versus force relationships os synergistic muscles of the triceps brachii として 2021 年 5 月 21 日に採択された。

以上の結果より、大腿四頭筋で認められた深層筋と表層筋の筋腱複合体の振る舞いは、上腕三頭筋においてはより明らかな違いは認められなかった。しかしながら、筋束長においては仮説を支持する結果が認められたことは強調すべき点の一つである。これには大腿四頭筋が抗重力筋であること、上腕三頭筋が発揮できる筋力が大腿四頭筋のそれと比較して格段に低いことにより筋や腱膜組織に影響を及ぼすほどの効果がなかったことなどが考えられる。

上腕三頭筋は車椅子の際の主働筋となるため、この筋の特性を明らかにすることによって、より良い車椅子の開発やパラリンピアンなどのパフォーマンス向上に役立つことが期待できる。

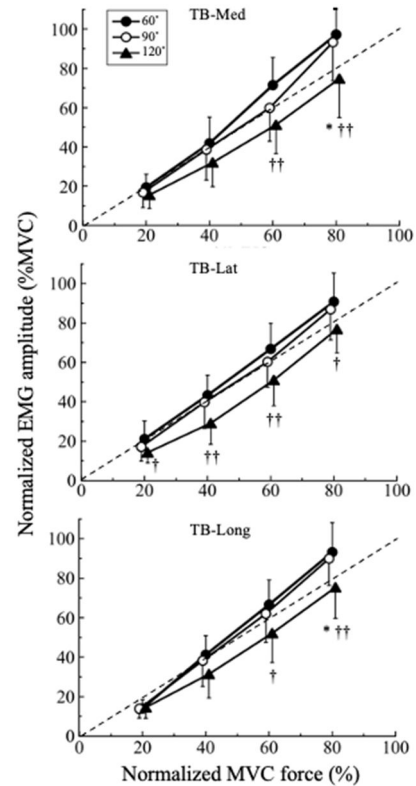


図3 上腕三頭筋における力-筋電図関係
 *, P<0.05, †, P<0.01, ††, P<0.001. TB-Med, 上腕三頭筋内側頭, TB-Lat, 上腕三頭筋外側頭, TB-Long, 上腕三頭筋長頭

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hiroshi Akima, Hisashi Maeda, Teruhiko Koike, Ishida Koji, Ryosuke Ando	4. 巻 0
2. 論文標題 Comparison of fascicle behaviors between superficial and deeper muscles of triceps brachii during isometric contractions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Electromyography and Kinesiology	6. 最初と最後の頁 000-000
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jelekin.2020.102452	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshi Akima, Hisashi Maeda, Teruhiko Koike, Ishida Koji	4. 巻 0
2. 論文標題 Effect of elbow joint angles on electromyographic activity versus force relationships of synergistic muscles of the triceps brachii	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLoS One	6. 最初と最後の頁 000-000
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Hiroshi Akima, Hisashi Maeda, Teruhiko Koike, Ishida Koji, Ryosuke Ando
2. 発表標題 Comparison of fascicle behaviors between superficial and deeper muscles of triceps brachii during isometric contractions
3. 学会等名 The 67th American College of Sports Medicine Virtual conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroshi Akima, Hisashi Maeda, Teruhiko Koike, Ishida Koji
2. 発表標題 Effect of elbow joint angle on electromyographic amplitude versus force relationships of synergistic muscles of the triceps brachii
3. 学会等名 2020 International Society of Electromyography and Kinesiology meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	前田 久 (Maeda Hisashi)	名古屋大学・大学院医学系研究科・大学院生 (13901)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------