

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23500757

研究課題名(和文) 特殊環境下における運動単位発射様式の解明 - 局所的血流制限下について -

研究課題名(英文) Motor unit firing behavior in local blood flow restriction

研究代表者

水村 信二 (Mizumura, Shinji)

明治大学・文学部・教授

研究者番号：50267358

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、特殊環境下における筋線維動員パターン的一端を解明することを目的として、局所的血流制限(以下、加圧)下における筋力発揮時の運動単位発射様式を明らかにしようとするものであった。ポータブル加圧トレーニング機を用いて、加圧時における表面筋電信号を記録し、非加圧時における同レベルの等尺性力発揮時と比較した。その結果、加圧時においては、非加圧時よりも筋電気信号振幅が有意に高くなることが示された。このことより、同等の力発揮時には、加圧時は非加圧時よりも多くの運動単位が動員されていることが示唆された。今後は、より直接的に運動単位発射動態を記録・解析できる実験システムを用いての検証が期待される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to elucidate the muscle fiber recruitment pattern during local blood flow restriction and intended to clarify the motor unit firing behaviors during voluntary muscular force production.

By using a portable pressure training machine, the surface EMG signal in pressurization were recorded and compared during isometric force exerted the same level in a non-pressurized.

The main result of this study is that the amplitude of the surface EMG signal than non-pressurized in the pressurization has been shown to be significantly higher. The results of this study, when the same level of force exerted, pressurization suggests that many motor units than non-pressurized is recruited. In the future, verification is expected of using a more direct experimental system that can record and analyze the motor unit firing dynamics.

研究分野：神経筋生理学

キーワード：運動単位活動様式 局所的血流制限 加圧 表面筋電気信号

1. 研究開始当初の背景

(1) 加圧トレーニングの原理

加圧トレーニングとは、上腕や大腿の起始部に専用加圧ベルトを用いて適正圧をかけ、血流を制限した状態で筋力トレーニングをするものであり、通常の筋力トレーニングよりも低い負荷(20%MVC程度)であっても、短期間で筋力向上や筋肥大が得られる方法である。加圧とは、血流を阻止することではなく“適正”に圧迫することである。適正に血流を制限すると、腕や脚に血液が滞留し、血液は今まで血の流れていなかった毛細血管へと流れるようになる。石井らの多くの先行研究から、加圧トレーニングでは、血中乳酸濃度や成長ホルモン濃度が、高強度トレーニングを続けたときと同様の状態になっていることが明らかとなっている。このようなメカニズムから、加圧状態では、低強度負荷であっても、通常の高強度負荷トレーニングと同様の筋力向上や筋肥大効果が得られる。日本で開発されたこのトレーニング方法の効果や安全性は、後述の多くの研究によって認められていた。

(2) 加圧トレーニングに関する先行研究

これまで報告されてきた加圧トレーニングに関する先行研究を分類すると、1)加圧トレーニングによる筋力向上や筋肥大の効果と通常の筋力トレーニングによる効果と比較したもの(Abe et al. 2006; Takarada et al. 2000 他多数)、2)加圧トレーニング中やトレーニング後の循環動態の変化を報告したもの(Iida et al. 2005 他多数)、3)加圧トレーニング前後における成長ホルモンや血中乳酸などの血中成分の動態を報告したもの(Takarada et al. 2000b 他多数)、4)加圧による自律神経系応答の変化に関する報告(Kiyohara et al. 2006 他多数)、5)加圧トレーニング時における主動筋の表面筋電図応答に関する報告(Moore et al. 2004, Takarada et al. 2000, 2006, Yasuda et al. 2006)などである。これらのことから、加圧トレーニングに関する研究は、様々な観点から幅広く報告されていることがわかる。

しかしながら、加圧中における運動単位発射様式に関する研究はいまだ一つも報告されていない。したがって、加圧中の筋力発揮時における筋電気活動動態を、運動単位レベルで明らかにすることは、加圧中の筋力発揮時における神経制御様式を脊髄レベルで明らかにすることとなる。

これによって、局所的血流制限下における力発揮の神経制御メカニズムの一端が明らかになり、更には、その他の特殊環境下における力発揮の神経制御メカニズムを解明することにつながると考えていた。

(3) 加圧トレーニングと筋線維タイプ

加圧トレーニング中の表面筋電図解析からの所見は、同負荷であれば、加圧トレーニング

中の主動筋表面筋電図の振幅値や積分値は、通常トレーニング時よりも有意に大きかったことである(Takarada et al. 2000, Yasuda et al. 2006, 図3)。これらのことから、加圧トレーニングでは、物理的には低負荷であっても、通常の高負荷トレーニングのように、多くの筋線維が動員されることを示唆されていた。更に、加圧トレーニング後の筋生検を観察した研究から、タイプI線維およびタイプII線維の両者(太田他 2002)、あるいは、主にタイプII線維(Yasuda 2005)に肥大が認められていた。このことは、加圧トレーニング中には、低強度負荷であっても、タイプII線維が活動していることを示唆している。これらのことから、低負荷の加圧トレーニング中に多くの筋線維が動員されることは、サイズの原理(Size principle, Henneman et al. 1965a, 1965b, 1965c)の例外であり、加圧トレーニングは神経-筋活動の制御機構を騙すトレーニングだと考察されていた(石井 2007)。

(4) 加圧中の運動単位発射様式

しかしながら、加圧中に筋線維がサイズの原理に従わない活動をしているという科学的証拠は研究開始当初は報告されていなかった。神経-筋生理学的には、遅筋線維は細胞体サイズが小さく動員閾値の低い運動単位、速筋線維は細胞体サイズが大きくて高閾値の運動単位である。これらの運動単位は、サイズの原理に従って、閾値の低い運動単位から順に動員され、閾値の高い順に脱動員される。加圧トレーニングが神経-筋制御機構を騙すトレーニングであり、サイズの原理に従わないものであることを証明するためには、加圧トレーニング中あるいは加圧中の力発揮時における筋線維の活動電位すなわち運動単位活動電位を解析する必要があった。

2. 研究の目的

以上のことから本研究の主な目的は、血流制限下の力発揮時における運動単位発射様式を解析することにより、加圧トレーニングにおける筋力向上メカニズムの一端を運動単位レベルから明らかにすることであった。

なお、低温、高温、低酸素、低圧などの特殊環境下における身体活動時の生理学的応答に関する研究は、環境生理学、運動生理学、スポーツ科学などの分野において重要とされ、多くの研究が報告されている。運動単位発射方式に関する研究においては、低温環境(冷却)下における報告はあるものの、その他の特殊環境下における報告はほとんどない。本研究は、特殊環境下における筋線維動員パターン的一端を解明することを目的として、局所的血流制限(以下、加圧)下における筋力発揮時の運動単位発射様式を明らかにしようとするものである。本研究で得られる結果は、その他の特殊環境下における運動

単位発射メカニズムを解明のための第一歩となるはずであった。

2. 研究の方法

(1) 解析システムの使用変更について

本研究で使用する予定だった非侵襲的運動単位活動電位解析システム (sEMG decomposition) における運動単位分離アルゴリズムは、基本的に四極針電極や四極ワイヤー電極を用いた侵襲的運動単位活動電位解析システムと同様であった。この解析システムにおける電極には、正方形の4つの頂点とその中心に合計5つの電位検出部位が配置されている。これら5つの電極から4組の電位を双極導出し、これらの電位に前述の解析アルゴリズムを施す。その結果、個々の運動単位活動電位発射列へと正確に分離分解できるものとされていた。本研究では、この手法を用いて、加圧中および非加圧時における運動単位発射動態を解析する予定であった。

しかしながら、本研究計画策定当時、この解析システムの輸入販売業者からは、非侵襲的解析システムが完成間近であり、本研究計画が採択される頃には、間違いなく完成予定であると知らされていた。しかしながら実際には、解析システムの開発が大幅に遅れたため、本研究計画採択2年目(平成23, 24年度)までは、主に表面筋電気信号を信頼できるレベルで個々の運動単位発射列へ分離できる状態には至らず、製品としての販売まで至らなかった。本研究計画採択3年目においては、当該解析システムのデモンストレーションまで至ったが、実際の表面筋電気活動から個々の運動単位発射列へと分離分解できている証拠が示されていなかったため、異なる複数の運動単位発射列波形データを合成した波形を作成し、その波形を分離分解し、元の運動単位波形に分離できるかどうかを示すよう要求した。しかしながら、開発業者からはそのようなデータを示してこないことなどを販売業者から聞くこととなった。

そこで、本研究計画を1年延長することとし、4年目となる平成26年においても、sEMG decomposition 開発業者による同システム完成をぎりぎりまで待ったが、結局その完成には至らなかった。そこで急遽、表面筋電気信号を記録解析するシステムを購入し、主に筋電気信号の振幅値などを求めることとした。

(2) 実験手順

上記の理由から、当初の研究計画を大幅に変更せざるを得ない状況へと追い込まれたため、平成26年度後半においてワイヤレス式の表面筋電図記録・解析システムを用いて、加圧時と非加圧時における表面筋電図を記録・解析することとなった。

被験者は、ポータブル式加圧トレーニング機の加圧用バンドを両大腿起始部に装着した状態(除圧状態のため非加圧状態となる)

で実験用椅子に座り、右膝関節を90度となるよう右足関節近位部を硬質カフにて固定した。次に、右内側広筋、右外側広筋および右大腿直筋から表面筋電気信号を検出するため、電極中心間距離を20mmにて表面電極を装着した。

被験者は、2分間の休息をはさみ随意最大収縮(Maximum Voluntary Contraction)による膝伸展方向の力発揮を行い、その最大値を100%MVCとした。この際、力最大値を示した前後250ミリ秒間の筋電気信号振幅を求め、これをMVC時の筋放電振幅値とした。

次に、加圧値を170, 180, 190, 200, 210, 220, 230, 240mmHgまでの8段階とし、この順序で3分間の加圧とそれに続く1分間の除圧を繰り返した。この際、加圧開始2分から2分30秒までの30秒間、30%MVCの力レベルと保つよう被験者に求めた。なおこれに先立ち被験者には、非加圧状態において、加圧時と同じタイミングで30秒間、30%MVCでの等尺性力発揮をおこなわせた。

得られたデータ(力信号および筋電気信号)から、加圧時と非加圧時と同じタイミングで同等の力が発揮された際の筋放電振幅値を比較した。

(3) 最新知見の収集

非侵襲的に運動単位発射様式を解析できるシステムを開発している研究者や業者の動向を知るため、平成23度、24年度及び25年度において、神経筋生理学関連の大規模な国際学会に参加することとした。また、当初の最終年度であった平成25年度においては、加圧が血圧(主に高血圧)などに与える影響について調査するため、その関連する国際学会へ出席し、周辺情報を得ることとした。

4. 研究成果

(1) 加圧時における筋電気活動について

加圧時においては、非加圧時よりも筋電気信号振幅が有意に高くなることが示された。このことより、同等の力発揮時には、加圧時は非加圧時よりも多くの運動単位が動員されていることが示唆された。この結果は、数少ない先行研究結果を支持するものであった。

(2) 最新知見の資料収集より

平成23, 24, 25年度は、北米神経科学学会に出席し、最新知見を得た。しかしながら、本研究計画において使用予定だった、表面筋電気信号を50%MVCくらいまでの大きな力発揮時において、個々の運動単位発射列へと分離分解できる解析システムは見当たらなかった。表面電極による筋電気信号を個々の運動単位発射列へと分離分解できている多くの研究は、アレイ状の電極配置など電極関係を工夫しているものであった。しかしながら、これらの記録解析方法であっても、30%MVC程度の中等度の力発揮時には、運動単位n正

確な分離分解は対応できていないようであった。

5. まとめ

本研究計画では、これまでわかっていなかった局所的血流制限下における運動単位活動動態を明らかにすることが最大の目的であった。また、これまで針電極やワイヤー電極などの侵襲的な方法でしか記録・解析することのできなかった運動単位発射動態を、非侵襲的にそして MVC 発揮時までの高い力発揮においても解析できるという新システムを利用する予定であった。しかしながら、研究開始当初の背景にも述べたように、本研究計画を遂行するために最も必要だった新システムの開発が大幅に遅れ、更に、完成したという新システムのデモンストレーションにおいても、信頼できるデータ解析検証が示されることはなかった。したがって、本研究では、当初の計画の目的を達成することが出来ずに研究計画を終えることとなった。今後は、電気生理以外の手法に目を向け、非侵襲的に筋活動動態を明らかにできる方策を探っていく所存である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 0件)

〔学会発表〕(計 0件)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

水村信二(MIZUMURA, Shinji)

明治大学・文学部・教授

研究者番号：50267358

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし