

令和元年6月18日現在

機関番号：13103

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K21048

研究課題名(和文) 疲労困憊後の筋力と動機づけの関係

研究課題名(英文) Effect of motivation on maximal voluntary contraction force immediately after task failure during sustained submaximal muscle contraction

研究代表者

松浦 亮太 (Matsuura, Ryouta)

上越教育大学・大学院学校教育研究科・准教授

研究者番号：10551278

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：一定の大きさの筋力を持続的に発揮した場合に、その筋力が維持できなくなる現象を疲労困憊と呼ぶ。本研究では、疲労困憊直後の最大筋力を規定するメカニズムを明らかにするため、疲労困憊直後に実施する最大筋力発揮の運動時間を操作することで動機づけを変化させ、その操作が最大筋力に及ぼす影響を検討した。結果として、運動時間の情報による動機づけの操作は、疲労困憊直後に発揮される最大筋力に大きな影響を及ぼさないことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一定筋力を持続的に発揮した場合に生じる疲労困憊の原因は明らかではない。本研究において、動機づけの変化は疲労困憊直後の最大筋力に影響を及ぼさないことが見出され、疲労困憊直後の最大筋力は、動機づけにかかわらず疲労困憊時の筋力の値を上回ることが観察された。したがって、疲労困憊とその直後の最大筋力は動機づけのみで規定されていない可能性が示された。この成果により、疲労困憊をもたらす原因は動機づけ以外の要因に求められる可能性が高まった。疲労困憊の原因を解明する研究の進展は、疲労困憊を避けるための方策や疲労困憊を遅延させるトレーニング方法の開発につながる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to determine effects of motivation on maximal voluntary contraction force immediately after task failure during sustained submaximal muscle contraction. Motivation was controlled by information for duration of maximal voluntary contraction immediately after the task failure. Consequently, maximal voluntary contraction force immediately after the task failure was not affected by changes in motivation.

研究分野：運動生理学

キーワード：筋疲労 疲労困憊 動機づけ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

最大下一定筋力発揮の維持は疲労困憊を生む。伝統的に、疲労困憊は末梢筋や中枢神経系の活動が阻害(末梢性・中枢性疲労)されたために生じると考えられてきた。この考え方によれば、疲労困憊直後に最大随意筋力を発揮した場合、その際の末梢性・中枢性疲労がそれまでの最大下筋力よりも高い筋力の発揮を妨げると予想できる。しかしながら、疲労困憊直後の最大随意筋力はそれまでの最大下筋力を上回ることが多数報告されている(Duchateau et al. *J Physiol*, 2002; Matkowski et al. *Scand J Med Sci Sports*, 2011; Vøllestad et al. *J Appl Physiol*, 1983)。

近年、疲労困憊は末梢性・中枢性疲労が顕在化したものではなく、筋活動を支える機構が深刻に阻害される前に、実行中の運動の強度や残り時間などに基づいて中枢神経系が運動指令を抑制した結果であると捉える研究者も出てきている(Noakes et al. *Br J Sports Med*, 2005)。本研究代表者も、疲労困憊を含む運動パフォーマンスの低下が、末梢筋へのダメージを回避するための運動指令の抑制であることを主張してきた(Matsuura et al. *J Physiol Anthropol*, 2006; Matsuura et al. *Br J Sports Med*, 2011)。疲労困憊を運動指令の抑制と解する場合、疲労困憊直後における最大随意筋力の過剰発揮分はどのように説明できるだろうか。

可能性の高い説明としては、疲労困憊直後の筋力発揮時間がそれまでの最大下筋力発揮よりも極端に短いため、中枢神経系がごく短時間であれば運動指令の抑制を解除してもダメージは回避できると判断し、過剰な筋力発揮が実現したというものがある。この点について、最大下強度の自転車運動による疲労困憊直後、自転車スプリント時の最大パワーの過剰発揮を報告した研究では、自転車スプリントが短時間であると事前に周知されていたために動機づけが高まり、疲労困憊を引き起こした運動指令の抑制が解除されたことを推測している(Marcora and Staiano *Eur J Appl Physiol*, 2010)。しかしながら、動機づけと疲労困憊直後における最大随意筋力の関係についての明確な証拠は示されていない。

2. 研究の目的

動機づけが疲労困憊直後の最大随意筋力を過剰に発揮させている可能性が示唆されるが、その実証のためには、周知される運動時間の長さによって疲労困憊後の最大随意筋力の過剰発揮が変化するか、疲労困憊直後の最大随意筋力の過剰発揮が動機づけのみで規定されるか、を検証しなければならない。

本研究では、疲労困憊直後における最大随意筋力発揮のメカニズムを明らかにすることを目的として、動機づけと最大下筋収縮での疲労困憊直後における最大随意筋力の関係を検討した。しかしながら、この検証において当初の仮説と異なる結果が示されたこと、この検証で使用する介入方法に予測した効果が見られなかったことから、この点についての検証は行わず、疲労困憊直後の最大随意筋力発揮が動機づけに影響されないという仮説の検証を行った。

3. 研究の方法

本研究では、以下の3つの実験を行った。全ての筋収縮は右手の示指等尺性外転運動とし、疲労困憊は最大随意筋力(maximal voluntary contraction: MVC)の30%に相当する収縮強度(30%MVC)を持続的に発揮する課題(疲労課題)で引き起こした。なお、疲労困憊は20%MVCを5秒間以上維持できなくなった時点と定義した。

実験(1)

疲労困憊直後における最大随意筋力の過剰発揮が発揮時間の長さによって変化するかを検証するため、疲労困憊に至るまで疲労課題を実施し、その直後(約3秒の休息後)に様々な運動時間のMVCを行った。MVCの運動時間は疲労困憊に至った直後に伝え、条件に対する予測が疲労課題時のパフォーマンスに影響を及ぼさないように配慮した。また、運動時間の条件は3つに設定したが、それに合わせて実験実施数も3日とした場合、最後に実施する条件では疲労困憊直後に行うMVCの運動時間が被験者にあらかじめ伝わってしまう。そこで、実験実施数は4日(1つの条件を2回繰り返す必要がある)とし、どの条件をいつ何回実施するかは被験者に伝えなかった。

条件1 疲労困憊直後のMVCは5秒間であった。疲労課題による末梢性疲労を評価するため、疲労困憊とMVCの間の休息時に、第一背側骨間筋(first dorsal interosseous: FDI)のモーターポイントへ2連発(100 Hz)の経皮的電気刺激を与え、刺激に対する筋張力の大きさを記録した。疲労困憊直後のMVCに対する動機づけは、口頭で答えられるようにVisual Analogue Scale(VAS)を改変したものをを用い、疲労困憊に至った直後に測定した。MVCを5秒間とする条件は1日目と4日目に実施した。1日目は実験に慣れるための試技として扱い、4日目の測定データを分析に用いた。

条件2 疲労困憊直後のMVCは60秒間であった。5秒より長い時間の設定は、動機づけの低下をねらって設定した。運動時間以外の内容は条件1と同様であった。60秒間の条件は2日目もしくは3日目に実施した。

条件3 疲労困憊直後のMVCは60秒間であったが、被験者に対しては実験者が止める合図を出すまで無制限に筋力を維持しなければいけない旨を伝えた。運動時間の見通しが立たなくなることで、疲労課題実施時と同様の動機づけが引き起こされることをねらった。被験者に対す

る運動時間の通告方法以外の内容は条件2と同様であった。この無制限の条件は2日目もしくは3日目に実施した。条件2と条件3の実施順はカウンターバランスをとった。

実験(2)

実験(2)では、実験(1)よりも長い運動時間のMVCを疲労困憊直後に実施した場合、および疲労困憊直後に再度疲労課題を繰り返した場合を対象に、疲労困憊直後の筋力発揮と動機づけの関係を検証した。また、動機づけの評価方法および被験者に対する条件の提示方法も実験(1)から変更した。これらの変更の理由は以下のとおりである。実験(1)では、運動時間の変化が動機づけを十分に低下させていたのか否かについて疑問が残ったため、動機づけの低下が見込める条件を再設定した。また、実験(1)の動機づけの評価は、被験者が素早く回答できることを優先して改変したVASを用いたが、この評価の妥当性について改善するため、実験(2)では通常のVASを用いて評価した。さらに、実験(1)では条件の実施順が完全な無作為とは言えず、実施順の影響を除外できていなかった可能性が考えられたため、実験(2)では条件の提示方法を変更した。具体的には、実際に設定した4つの条件を含めた8つの条件をあらかじめ被験者に提示し、8つのうちの条件が選択されるかは伏せて実施した。なお、被験者に対しての運動時間条件の通告は、実験(1)同様に疲労困憊直後に行い、条件の実施順は無作為とした。

条件1 疲労困憊直後のMVCは5秒間であった。疲労課題による末梢性疲労を評価するため、疲労困憊とMVCの間の休息時に、FDIのモーターポイントへ2連発(100 Hz)の経皮的電気刺激を与え、刺激に対する筋張力の大きさを記録した。疲労困憊直後のMVCに対する動機づけは、疲労困憊直後にVASを用いて測定した。

条件2 疲労困憊直後のMVCを60秒間とした以外の内容は条件1と同様であった。

条件3 疲労困憊直後のMVCは180秒間とした以外の内容は条件1と同様であった。

条件4 疲労困憊直後に再度疲労課題を行った。繰り返される疲労課題に対しての動機づけは、疲労困憊直後にVASを用いて測定した。これら以外の内容は条件1と同様であった。

実験(3)

実験(1)および(2)では、被験者への条件通告を疲労困憊直後に行い、条件に対する予測が疲労課題のパフォーマンスに影響を及ぼさないようにした。しかしながら、被験者が行い得る全ての条件はあらかじめ提示されていたため、提示された条件の中で最も負荷が高いと予測した条件に基づいて、被験者が疲労課題時のパフォーマンスを調節し、実施した全条件で同等の余力が残るような戦略が採られていた可能性は否定できない。そこで実験(3)では、疲労困憊直後の条件をあらかじめ被験者に通告し、条件によって疲労課題のパフォーマンス、動機づけ、疲労困憊直後の筋力発揮が変化するかを検証した。運動時間条件は2つとし、実施順はカウンターバランスをとった。

条件1 疲労困憊直後のMVCは5秒間であり、条件の内容は疲労課題実施前に被験者に通告した。疲労課題による末梢性疲労を評価するため、疲労困憊とMVCの間の休息時に、FDIのモーターポイントへ2連発(100 Hz)の経皮的電気刺激を与え、刺激に対する筋張力の大きさを記録した。疲労困憊直後のMVCに対する動機づけは、疲労困憊直後にVASを用いて測定した。

条件2 疲労困憊直後に再度疲労課題を行った。条件の内容は疲労課題実施前に被験者に通告した。繰り返される疲労課題に対しての動機づけは、疲労困憊直後にVASを用いて測定した。これら以外の内容は条件1と同様であった。

4. 研究成果

それぞれの実験について、以下の成果が得られた。

実験(1)

健常成人11名を対象とした。疲労課題の持続時間および疲労困憊直後の末梢性疲労には3条件間で有意な差は見られなかった。疲労困憊直後に測定した動機づけは、60秒条件および無制限条件において5秒条件よりも有意に低かった。疲労困憊直後の最大筋力も、動機づけの結果と同様に、60秒条件および無制限条件において5秒条件よりも有意に低い値を示した。また、全条件において、疲労困憊直後の最大筋力は疲労困憊時の発揮筋力を上回っていた。疲労困憊直後に行うMVCの運動時間の延長は、MVCに対する動機づけを低下させ、最大筋力の低下を招いた可能性がある。これらから、疲労困憊直後のMVC時に観察される過剰筋力は、疲労困憊時に抑制された運動指令がその後の動機づけの高まりによって解除されたためであると解釈できるかもしれない。しかしながら、最も動機づけが低かった条件においても過剰筋力は観察されたことから、低い動機づけが疲労困憊の原因ではないことが示唆される。したがって、動機づけが疲労困憊やその直後の過剰筋力を説明する唯一の要因ではないと考えられる。ただし、本実験で生じた動機づけの低下が過剰筋力の発揮を阻害するほど十分なものではなかった可能性もあり、さらなる検証が必要とされた。

実験(2)

健常成人9名を対象とした。疲労課題の持続時間および疲労困憊直後の末梢性疲労には4条件間で有意な差は見られなかった。疲労困憊直後に測定した動機づけは、60秒条件、180秒条件、および疲労課題繰り返し条件において5秒条件よりも有意に低かった。これに対して、疲労困憊直後のMVC時における最大筋力は、5秒条件、60秒条件、180秒条件の間で有意な差は見られなかった。5秒条件、60秒条件、および180秒条件時のMVCで見られた最大筋力は疲労困憊時の発揮筋力を上回っていた。疲労課題繰り返し条件では、疲労困憊直後に繰り返した疲労課題において約60秒間のさらなる筋力維持が可能であった。疲労困憊直後に疲労課題を繰り返すことは、直前に遂行ができなくなった課題に再度望むことを意味する。疲労困憊が動機づけによって引き起こされているとすれば、疲労困憊時には疲労課題に対する動機づけが下がっており、その程度は疲労課題の維持が困難なレベルに相当すると考えられる。したがって、疲労課題繰り返し条件時に測定された動機づけの程度は、疲労課題が維持できない動機づけのレベルを可視化したものと捉えられる。しかしながら、疲労課題繰り返し条件時における動機づけと同等の値を示した条件でも過剰筋力は観察され、疲労課題繰り返し条件においても筋力はさらに60秒間維持することが可能であった。これらの結果は、動機づけでは疲労困憊および疲労困憊直後の過剰筋力を説明できない可能性を強める。また、疲労困憊直後のMVCに対する動機づけは時間条件で変化したにもかかわらず、最大筋力には条件間に違いが見られなかった。これは実験(1)と異なる結果であったが、条件を無作為な順番で実施したことが反映されたと考えられる。以上から、疲労困憊直後のMVC時に見られる過剰筋力および疲労困憊は動機づけで説明できないことが示唆される。しかしながら、条件の全選択肢が疲労課題実施前にあらかじめ被験者に伝えられていたため、全条件で疲労課題の繰り返しの想定した筋力発揮が遂行され、疲労困憊時に全条件で同等の余力が残されていた可能性は否定できなかった。

実験(3)

実験(2)に参加した健常成人のうち8名を対象とした。5秒条件と疲労課題繰り返し条件では、疲労課題の持続時間および疲労困憊時の末梢性疲労に条件間で有意な差は見られなかった。これらの指標は実験(2)の結果と比較しても有意な差は見られなかった。また、疲労困憊直後に実施する筋力発揮への動機づけ、疲労困憊直後のMVC時における最大筋力、疲労困憊直後に疲労課題を繰り返した際の筋力持続時間は、実験(2)の結果と比較しても有意な差は見られなかった。したがって、疲労困憊直後に実施する筋力発揮の内容をあらかじめ知っていたとしても、その内容は疲労課題のパフォーマンスやその直後に行う筋力発揮に影響を及ぼさないことが示された。もし、実験(2)の結果が、疲労課題実施前に設定された一律の筋力発揮戦略によるものだとすれば、実験(3)の5秒条件では、疲労課題の持続時間が実験(2)の5秒条件や実験(3)の疲労課題繰り返し条件よりも有意に長くなるはずである。したがって、実験(2)の疲労困憊直後に見られた筋力発揮は、疲労課題実施前にあらかじめ設定された筋力発揮戦略と関係のないことが示唆される。

以上の結果から、最大下一定筋力発揮の維持による疲労困憊直後において、最大筋力が疲労困憊時の発揮筋力よりも高くなる現象は、最大筋力発揮時の動機づけの高まりでは説明できないことが示唆される。したがって、最大下一定負荷筋力発揮の維持による疲労困憊も動機づけでは説明できない可能性が高い。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

松浦亮太. 疲労困憊直後の筋力発揮を psychobiological model で検討する. 第73回日本体力医学会大会. 2018.09.07-09. 福井市

松浦亮太. 疲労困憊直後における収縮時間の異なる最大随意収縮時の筋力発揮. 第72回日本体力医学会大会. 2017.09.16-18. 松山市

6. 研究組織

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。