

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：13103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K11594

研究課題名(和文) 疲労困憊後に余力は残っているか

研究課題名(英文) Force reserve immediately after task failure

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) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：決められた大きさの筋力を発揮し続け、その筋力が維持できなくなる現象を疲労困憊と呼ぶ。疲労困憊直後に最大筋力を発揮すると、疲労困憊時に発揮できなくなった筋力を上回る筋力が発揮できることが知られている。この筋力を本研究では超過筋力と呼び、疲労困憊時に発揮されずに残っている能力(余力)が超過筋力の原因なのかどうかを検討した。疲労困憊とその後の最大筋力を発揮するまでの時間、疲労困憊まで発揮する筋力の大きさ、疲労困憊後に発揮する筋力の大きさ、疲労困憊後の最大筋力を発揮する速度について調査したが、いかなる場合にも超過筋力が観察できた。疲労困憊後時には余力が残っている可能性が高いと考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

決められた大きさの筋力を発揮し続けた場合に生じる疲労困憊の原因は明らかではない。本研究では、疲労困憊直後に余力が残されており、その余力が疲労困憊直後の超過筋力を生んでいる可能性を指摘した。この成果は、疲労困憊を生じさせている原因が、直接的な筋力発揮能力の低下によるものではない可能性を高めるものである。疲労困憊の原因を解明する研究の進展により、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も期待が高まる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to examine whether task failure induced by a sustained submaximal contraction can be explained by force reserve. Specifically, the effects of (1) no recovery period immediately after task failure, (2) the intensity of the sustained submaximal contraction, (3) the effort of the contraction immediately after task failure, and (4) the speed of contraction with voluntary contraction immediately after task failure were determined. It was found that the voluntary contraction force, immediately after task failure, exceeded the force exerted immediately before task failure, despite the above-mentioned factors.

研究分野：運動生理学

キーワード：筋疲労 疲労困憊 最大筋力

1. 研究開始当初の背景

最大下一定強度の筋力維持は疲労困憊を生む。伝統的に、その原因は脳皮質から筋までの様々なレベルで生じる障害であるとされてきた。最近では、筋力維持が不可能なほどの障害は生じないが、筋代謝産物による反射的な神経活動の抑制との関連が示唆されている (Amann et al. *J Appl Physiol*, 2013)。ところが、疲労困憊直後に短時間最大筋力発揮を行った場合、筋力が疲労困憊時の値を超過する (図 1a) ことから、疲労困憊は動機づけや努力感に関連した意識的な筋力維持の中断であるという主張もされている (Marcora and Staiano *Eur J Appl Physiol*, 2010)。この主張では疲労困憊時に余力があり、短時間筋力発揮によりそれが超過筋力として顕在化すると解釈されている (図 1b)。研究代表者はこれまで、疲労困憊直後の短時間最大筋力発揮において、疲労困憊時の値を超過する筋力を確認したが、動機づけの操作でこの超過筋力は変化しなかったため、超過筋力が意識的な筋力維持の中断による余力の顕在化であるという確信、換言すれば疲労困憊の原因が意識的な筋力維持の中断であるという確信を得るには至らなかった (平成 28 ~ 30 年度科研費若手研究 B 16K21048)。

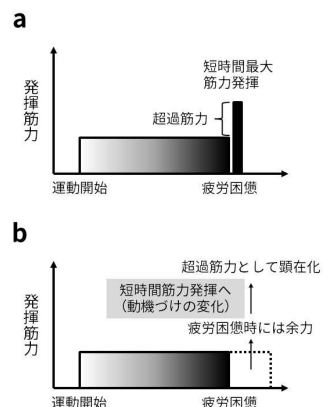


図1. 最大下一定強度の筋力発揮による疲労困憊直後の短時間最大筋力発揮 (a) とその解釈 (b)

2. 研究の目的

以上を踏まえ、疲労困憊時の超過筋力が余力に相当するか否かを検討することで、疲労困憊が起こる原因に迫れると考え、本研究では 疲労困憊直後のわずかな休息時間が直後の短時間最大筋力発揮に及ぼす影響、持続的筋力発揮および疲労困憊直後の短時間筋力発揮における強度や方法の組み合わせが疲労困憊直後の筋力発揮に及ぼす影響を検討した。

疲労困憊直後の短時間最大筋力発揮に関する先行研究では、疲労困憊と最大筋力発揮の間に短い休息を挟んでおり、この休息が筋力発揮機能を回復させ (Mira et al. *Eur J Appl Physiol*, 2017)、余力が原因ではない超過筋力を生じさせていた可能性がある。疲労困憊時に余力が残っているのであれば、休息がなくても超過筋力が観察できるはずである。

また、持続的筋力発揮の運動強度に応じて、疲労困憊時における筋や神経レベルでの障害・抑制の程度は変動し (Carroll et al. *J Appl Physiol*, 2017)、短時間筋力発揮においては、その運動強度や発揮方法によって運動単位の動員戦略が異なることが報告されている。したがって、先行研究で見られた超過筋力は、持続的筋力発揮で障害・抑制された筋力発揮機能と、疲労困憊直後の短時間筋力発揮で必要とされる筋力発揮機能が重複していないために観察された可能性がある。疲労困憊時に余力が残っているのであれば、持続的筋力発揮および疲労困憊直後の短時間筋力発揮における強度や方法の組み合わせにかかわらず余力が顕在化されると考えられる。

3. 研究の方法

本研究では、以下の4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、筋収縮の強度は各参加者の最大随意筋力 (maximal voluntary contraction: MVC) を基準にして設定した。全ての実験において、参加者は事前に設定した強度による持続的筋収縮を疲労困憊まで行い (疲労課題)、その直後に5秒間の筋収縮 (疲労後収縮) を発揮した。疲労困憊は、事前に設定した強度よりも 10%MVC 低い強度の筋収縮を5秒間維持できなくなった時点と定義した。実験(2)以降では、実験(1)の結果を受け、疲労課題と疲労後収縮の間に休息は挟まずに実施した。

実験(1)

超過筋力を観察したこれまでの先行研究では、疲労課題と疲労後 MVC の間に休息が挟まれている場合が多いため、疲労課題と疲労後 MVC の間に短時間休息を挟むことで、疲労後 MVC 時の発揮筋力に差が生じるか否かを検討した。疲労課題は 30%MVC で行い、疲労後 MVC 前に2秒間の休息を挟むか否か (それぞれ休息条件、連続条件) の2条件を設定した。疲労課題によって生じた末梢性疲労を評価するため、疲労課題と疲労後 MVC の間、もしくは疲労後 MVC の直後に、第一背側骨間筋 (first dorsal interosseous: FDI) のモーターポイントへ2連発の経皮的電気刺激 (100Hz, paired-ES) を与え、刺激に対する筋張力の大きさを記録した。中枢性疲労は、疲労後 MVC 中および直後に与えた paired-ES に対する筋張力の大きさから算出した。

実験(2)

異なる強度の疲労課題を行い、強度によって疲労後 MVC 時の超過筋力が消失するか否かを検討した。疲労課題の強度は 30%、50%、70%MVC (それぞれ低強度、中強度、高強度条件) の 3 条件とした。末梢性および中枢性疲労の評価は、実験(1)と同様の方法を用いた。

実験(3)

疲労課題に用いた強度と疲労後収縮時に発揮する強度を一致させた場合に、疲労後収縮時の発揮筋力が疲労課題時の開始時と同様の値に戻るか否かを検討した。30%MVC による疲労課題を行い、疲労後収縮を MVC もしくは 30%MVC で行う 2 条件(それぞれ全力条件、再現条件)を設けた。末梢性および中枢性疲労の評価は、実験(1)と同様の方法を用いた。

実験(4)

疲労後 MVC の発揮速度によって超過筋力に差が生じるか否かを検討した。疲労後 MVC の発揮速度は、出来る限り速く発揮する条件、もしくは 3 秒かけて MVC を発揮する条件の 2 つ(それぞれ瞬発条件、漸増条件)とした。末梢性および中枢性疲労の評価は、実験(1)と同様の方法を用いた。

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 12 名を対象とした。休息条件において、疲労後 MVC 時の発揮筋力は疲労困憊時の発揮筋力を有意に上回り、連続条件と比べて有意に大きな値を示した。また、疲労後 MVC 時における中枢性疲労は連続条件の方が休息条件よりも条件よりも有意に大きかった。これは、疲労困憊直後の短時間休息が中枢性疲労を回復させ、疲労後 MVC 時により大きな筋力が発揮可能となったことを示している。ただし、連続条件においても疲労後 MVC 時の発揮筋力は疲労困憊時の値を有意に上回ったため、疲労困憊後に見られる超過筋力は、疲労困憊直後の休息による回復が反映されたものではないことが明らかとなった。これらの結果は、持続的な筋収縮時に求められている筋力が維持できなくなった(疲労困憊に達した)場合でも、その求められている筋力を維持するために必要な筋機能はまだ保たれており、その機能保持が、疲労困憊直後の MVC を測定するまでの時間遅れによる見せかけのものではないことを示唆する。

実験(2)

健常成人 10 名を対象とした。低強度条件と中強度条件を比較したところ、疲労後 MVC 時における筋力発揮に有意な差は見られなかったが、これらの値は高強度条件の疲労後 MVC 時のものと比べて有意に低い値であった。また、疲労後 MVC 時の発揮筋力は、低強度条件のみにおいて疲労課題で設定された強度の値を上回った。疲労課題直後の末梢性疲労は 3 条件間で有意な差は見られず、疲労後 MVC 時における中枢性疲労は、高強度条件と比べて低強度条件と中強度条件で有意に大きかった。さらに、3 条件を合わせて疲労後 MVC 時の発揮筋力と中枢性疲労の関係を調べたところ、有意な負の相関が見られた(発揮筋力が大きいほど中枢性疲労が小さい)。疲労課題の強度を変えた際に生じる疲労 MVC 時の発揮筋力の差は、末梢性疲労ではなく中枢性疲労が反映されたものであることが明らかとなった。これらの結果は、疲労困憊が疲労課題時の強度に関わらず一定の末梢性疲労を起こさないように生じており、疲労後 MVC 時の発揮筋力は疲労困憊までに進行した中枢性疲労の程度に左右されることを示唆する。

実験(3)

健常成人 10 名を対象とした。全力条件においては、実験(1)の連続条件および実験(2)の低強度条件と同じ結果が示された。再現条件において、参加者は疲労困憊にもかかわらず、疲労課題で設定された強度と同じ筋力を再度発揮することが可能であった。全力かどうかにかかわらず、疲労困憊直後において疲労課題で求められている強度以上の筋力は発揮可能であることが明らかとなった。これは、疲労困憊直後の超過筋力が、発揮する筋力の大きさに関連した筋動員戦略に影響されないことを示唆する。

実験(4)

健常成人 7 名を対象とした。瞬発条件においては、実験(1)の連続条件、実験(2)の低強度条件、および実験(3)の全力条件と同様に、疲労後 MVC において超過筋力が観察された。漸増条件においても、全力条件と同等の超過筋力が疲労後 MVC で観察された。疲労後 MVC では、3 秒かけて全力を発揮するような収縮速度の範囲内において、超過筋力が発揮できることが明らかとなった。これは、疲労困憊直後の超過筋力が、検討した収縮速度の範囲内における筋動員戦略の違いに影響されないことを示唆する。

実験(1)～(4)の結果から、持続的筋収縮による疲労困憊時に余力が残されている可能性は高まったと考えられる。ただし、ここでの余力は本研究で扱った収縮強度や収縮速度の範囲のみで想定されるものであり、より多くの要因を検討していく必要がある。また今後は、残っている余力を発揮させないか(すなわち疲労困憊の発生) 発揮させるか(すなわち超過筋力の出現) を決定している要因も明らかにしていくことが求められる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松浦亮太
2. 発表標題 持続的筋収縮によって生じる疲労困憊直後の短時間休息がその後の最大随意収縮に及ぼす影響
3. 学会等名 第76回日本体力医学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松浦亮太
2. 発表標題 様々な強度の持続的筋収縮によって引き起こされた疲労困憊直後における最大随意収縮
3. 学会等名 第77回日本体力医学会大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

https://sites.google.com/site/rmatweb/

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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------