

【原著】



中強度・長時間の動的筋収縮による 局所疲労が視覚刺激に対する単純反応 時間に与える影響

山田 洋 (東海大学体育学部) 木塚朝博 (筑波大学体育系) 金子文成 (慶応大学医学部)
金子公宏 (明治大学理工学部) 増田 正 (福島大学共生システム理工学研究科)
塩崎知美 (筑波スポーツ科学研究所) 横井孝志 (日本女子大学家政学部)

Effects of local muscle fatigue during moderate prolonged dynamic contraction on
reaction time obtained using visual stimulation

Hiroshi YAMADA, Tomohiro KIZUKA, Fuminari KANEKO, Kimihiro KANEKO, Tadashi MASUDA,
Tomomi SHIOZAKI and Takashi YOKOI



Abstract

The purpose of this study was to investigate the effects of local muscle fatigue during moderate prolonged dynamic contraction on the delay in reaction time obtained using visual stimulation. Twelve healthy men exerted 40% MVC maximum voluntary contraction of isotonic knee extension in 60 degree per second using isokinetic machine (Cybex). The fatigue tasks were set up as 1 min × 20 times. Reaction tests to visual stimulation were conducted after each fatigue task. The random stimulations were delivered five times per 1 min. Subjective degree of fatigue sensation graded five steps was examined during tasks. The surface EMG signals were recorded from muscles knee extensors. Reaction time (RT), Pre-motor time (PMT) and Motor time (MT) were calculated based on the relationship between EMG signals and stimulation pulse. The subjective fatigue sensation was increased, and MVC was decreased after knee extension for 20 sets, indicating the fatigue had developed in the muscles. RT was increased significantly, but the standard deviation in RT was not change as fatigue progressed. Significant increases were seen in PMT, but not seen in MT. These results suggest that the delayed RT due to muscle fatigue after dynamic contraction was caused from central factors in neuromuscular system.

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 31, 29-37, 2019)

I. 緒言

スポーツ場面における筋疲労は、様々なパフォーマンスの低下を引き起こす¹⁾。この疲労によるパフォーマンスの低下のなかでも、脚の筋疲労が

視覚刺激に対する単純反応時間に及ぼす影響を検討することは、体育・スポーツ分野における重要な研究課題のひとつである。これらは特に、球技系スポーツにおいて極めて重要な意義をもつ。

これらの課題を実験的に検証しようとする場合、反応時間の遅延を誘発する疲労課題を十分に吟味

する必要がある。多くのスポーツ場面を想定した場合、静的な等尺性収縮では不十分であり、動的収縮により疲労を生じさせる必要がある。また、強度の高い運動ではただちに筋疲労が生じてしまい、球技で生じるような筋疲労とは異なったものになってしまう。そこで本研究では、負荷を中程度・長時間に設定した。この運動課題により、筋疲労による反応時間遅延の機構を明らかにすることができれば、球技系スポーツにおけるパフォーマンスの向上に十分還元できると考えられる。特に、その反応時間の遅延が筋自体の疲労によって生じるのか、あるいは神経系の要因によって生じるのかが明らかになれば、トレーニング場面はもちろんのこと、実際のゲームの場面における示唆となり得ると考えられる。本研究の目的は、等速性収縮装置を用いて、実際の球技の場面を想定した中強度・長時間の課題によって生じた局所的な筋疲労が、反応時間の遅延に及ぼす影響とその機構について中枢性要因と末梢性要因の両者から検討することであった。

II. 方法

A. 被験者および実験概要

本実験は、独立行政法人産業技術総合研究所の倫理規定に則り、当機関の倫理委員会の承認を得て行った。被験者はT大学男子バスケットボール部に所属する健康な男子12名で、年齢は18-23歳であった。被験者のポジションはガード、あるいはフォワードで身長 177.3 ± 3.6 cm、体重 74.3 ± 4.3 kgであった。被験者にはあらかじめ実験の趣旨を十分に説明し、同意を得た。被験者は全て右利きであり、週5回、2～3時間の定期的な運動を行っていた。

まず初めに、等速性負荷装置（Cybex770-Norm、Cybex社製）を用いて、被験者の等尺性の膝伸展における最大随意収縮力（maximum voluntary contraction: MVC）を測定した。その後、被験者にMVCの40%強度で、膝関節の動的な伸展屈曲

運動を1分間行わせ、それを20セット繰り返すことによって疲労状態を模擬的に作り出した（疲労課題）。また、膝伸展屈曲運動の各セット後、1分の間に、光刺激に対してできるだけ素早く強く等尺性収縮を行う反応テストをランダムな間隔で5回行った（反応課題）。そのときに膝の伸展筋群より筋電図を導出し、それに基づいて電気生理学的パラメータを算出した（図1）。さらに、各セット直後に主観的疲労度を5段階で答えてもらった。MVCは疲労課題終了後に、再度測定した。

B. 疲労課題

疲労課題に先立ち、等速性負荷装置を用いて膝関節角度75度（膝伸展位を0度）で等尺性のMVCを計測した。この際、被験者に瞬間的に力を発揮しないこと、収縮力を3秒以上維持するよう十分に促した。また、MVCの値は、計測された力曲線において3秒間収縮力を維持できている部分のピーク値を採用した²⁾。このMVCは全疲労課題終了後にも計測した。

疲労課題開始前に測定されたMVCを基準として、被験者には、40%MVC強度、角速度60deg/sで右脚の等速性膝伸展屈曲運動を1分間、行わせた。この膝伸展屈曲運動の可動域は、膝伸展位を0度として10度から80度までとし、メトロノームの音に合わせて1秒間で伸展し、1秒間で元の位置に戻すように指示した。また、ターゲットライン（40%MVC）をオシロスコープにモニターすることによって、自分の発揮した筋力を視覚的にフィードバックできるようにし、目標である40%MVCを常に越えるように、動的筋力を発揮する際には、大きな山を描くように力を発揮し、瞬発的に力を発揮しないように十分に注意させた。なお、被験者には疲労課題開始前に、疲労課題と同じ負荷および角速度で十分な練習を行わせた。この膝伸展屈曲運動を1分間、約30回行った後に1分間休憩する（休憩の間に後述する反応テストを行う）、これを1セットとして、20セット繰り返す事によって疲労状態を誘発させた（疲労課題）。この疲労課題については、先行研究^{3,4)}を基に、

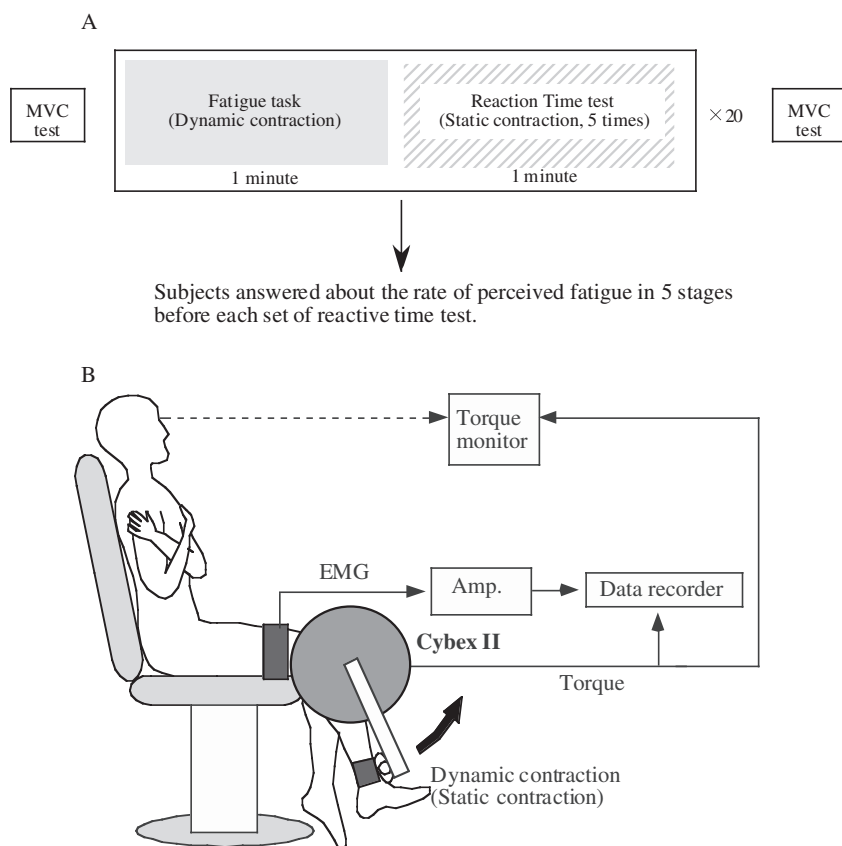


図1 実験プロトコル (A) および疲労課題・反応時間テストにおけるセットアップ (B)
Fig. 1 Experimental protocol (A) and set up for fatigue task and reaction time test (B).

事前に予備実験を繰り返し、負荷の強度・回数を十分に吟味した。その結果、緒言で述べた「スポーツ場面、特に球技場面でみられるような疲労」を誘発できる課題として採用した。

C. 反応課題

反応時間の計測は、疲労課題の各セット終了直後、休憩1分の間に行った。被験者の前に赤色発光ダイオード (LED) を点灯させる光刺激装置をあらかじめ設置しておき、被験者には、疲労課題の各セット終了後、直ちに光刺激装置を注視するように指示した。その間、験者が、等速性負荷装置をアイソメトリックモード、膝関節角度75度に設定し、等速性負荷装置の機械的な緩みを補正するために、ゴムバンドを用いて、アームに一定のテンション (数 Nm) がかかるようにした。光刺

激は予告なしで、1分間にランダムな間隔で5回与え、被験者には目前にあるLEDの光刺激に対してできるだけ速く、強く、等尺性の膝伸展を行わせた。

D. 主観的疲労度

実験中、被験者の主観的な疲労度を調べるために、疲労課題の各セット終了直後に被験者に5段階に分けた主観的疲労度を自己申告してもらった。その選択肢 (疲労レベル) はBorgスケールを簡素化し、1. 楽である、2. やや疲れた、3. 疲れた、4. かなり疲れた、5. 非常に疲れた、の5段階とした。

E. 筋電図の導出方法

反応時間を計測するために、外側広筋近位、外

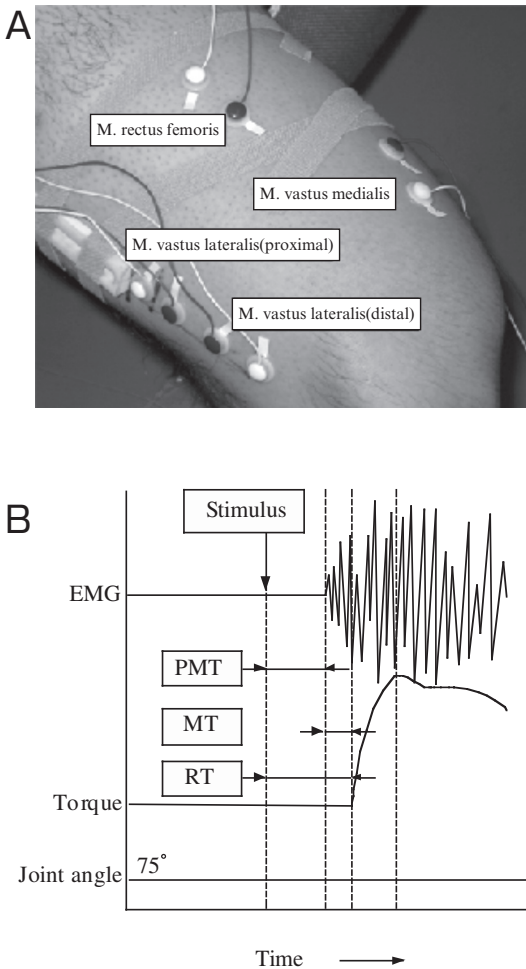


図2 膝伸筋群からの筋電図導出 (A)、および反応時間テスト中の筋電図より計算されたパラメータ
 Fig. 2 Detection of EMGs from knee extension muscles (A) and parameters calculated from the EMG during reaction time test.

側広筋遠位、大腿直筋、内側広筋から筋電図を導出した (図 2A)。筋電計 (マルチテレメータ、日本光電) の設定は、時定数0.03秒、ゲイン0.5、高域遮断周波数は 1 kHz であった。外側広筋では、実験に先立って多点電極を用いて神経筋接合部の位置を確認し、その近位と遠位に電極を貼付した。

F. データの収録と解析方法

疲労課題、反応課題における等速性負荷装置からの力データ、筋電図データをデータレコーダ (PC208Ax, SONY) に収録した。記録されたデータはサンプリング周波数 2 kHz で AD 変換し、パ

ーソナルコンピュータに取り込み、波形解析ソフト (Super scope, GW instrument) により処理した。各被験者の外側広筋近位、外側広筋遠位、大腿直筋、内側広筋の筋電図において、光刺激を与えられた時点から筋活動開始までの潜時、および光刺激から力の立ち上がりまでの潜時を計測した。本研究では、計測された光刺激から筋活動開始までの時間を Pre-motor time (PMT)、同様に光刺激から力の立ち上がりまでの時間を Reaction time (RT) とした。また、筋活動開始から力の立ち上がりまでの時間は、Motor time (MT) とした (図 2B)。

計測した値のうち、120 ms 以下での反応は、神経系の伝導、神経筋接合部での伝達を考慮するとフライングの可能性が高いため、解析の対象から削除した。計測された RT, PMT, MT の各値を被験者毎・筋毎にまとめ、平均値と標準偏差を算出した。

G. 統計処理

計測値は、全て平均値±標準偏差で表示した。各計測値の検定には、分散分析 (Repeated measures ANOVA) を用い、F 値が有意であった場合は、Fisher's PLSD法 (Fisher's Protected Least Significant Difference) により、1セット目との差を検定した。有意水準は 5% とした。

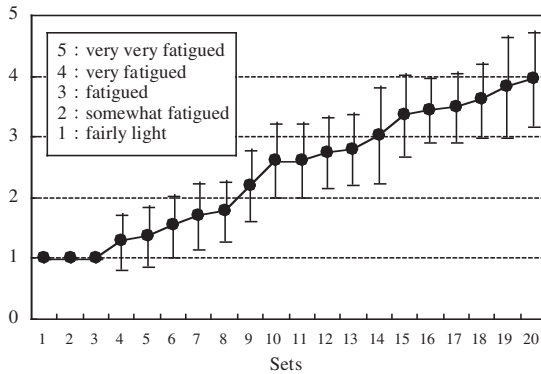
Ⅲ. 結果

A. 主観的疲労度と MVC

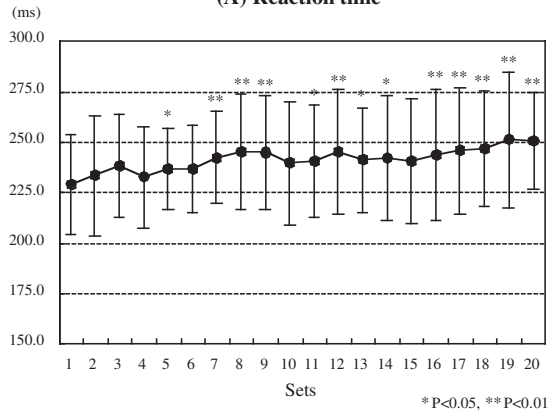
疲労課題中に被験者が感じる主観的な疲労度を調べるために、5段階に表示した主観的疲労度の数値を答えてもらった。図 3A は、全被験者における主観的疲労度の平均値の変化を示している。被験者は、4セット目から徐々に疲労を感じ始め、10セット目から疲労感が増大している。20セット終了後には、レベル 4 の「かなり疲れた」に達していた。

次に、全被験者の MVC を疲労課題前後で比較

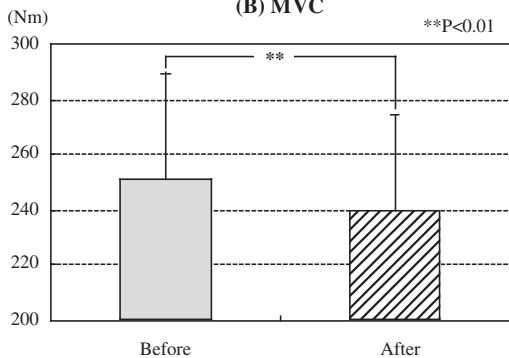
(A) The rate of perceived fatigue



(A) Reaction time



(B) MVC



(B) SD of reaction time

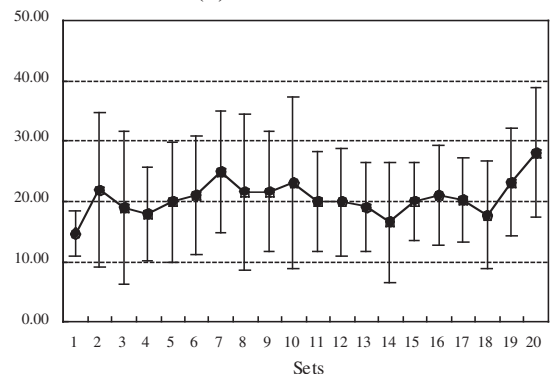


図3 膝伸展の繰り返しに伴う自覚的疲労度 (A)、疲労課題前後の MVC トルクの比較 (B)

*は疲労前後の有意差を示す (** $p<0.01$)

Fig. 3 The rate of perceived fatigue during repeated knee extensions (A). Comparison of MVC torque between before and after fatigue task (B). Asterisks (*) show significant differences before and after fatigue (** $p<0.01$).

図4 疲労が反応時間と反応時間の標準偏差に及ぼす影響

*は初期値と各セットにおける値間の有意差を示す ($p<0.05$, ** $p<0.01$)

Fig. 4 Effects of fatigue on reaction time and SD of the reaction time. Asterisks (*) show significant differences between the set and initial value ($p<0.05$, ** $p<0.01$).

した。疲労課題前の MVC は 251 ± 38 Nm、疲労課題終了直後の MVC は 240 ± 35 Nm であり (図 3 B)、疲労課題終了直後の MVC は、疲労課題前と比較して有意に低下していた。

B. 反応時間 (RT)

疲労課題の進行に伴う RT の変化を図 4 A に示す。セット数の増加とともに RT が徐々に遅延し、5 セット目において、1 セット目と比較して有意な遅延が認められた。7 セット目に 14 ms の有意な遅延が生じ、これ以降のほぼ全てのセットにおいて有意な遅延が認められた。遅延の最大値は 19 セット目に出現し、その値はおおよそ 22 ms であっ

た。図 4 B は、各セットにおける RT の標準偏差の平均値であり、値のばらつき具合を示している。RT の標準偏差は 1 セット目にやや小さく、20 セット目にやや大きくなっているが、有意な差は認められなかった。

C. PMT と MT

疲労課題の進行に伴う PMT の変化を図 5 A に示す。本研究では、筋電図を 4 箇所から導出したが、PMT と MT は、4 箇所ではほぼ同様の変化を示した。そのため、外側広筋遠位の結果を示す。

PMT は疲労課題の進行に伴って徐々に遅延し、8-9 セット目ではおおよそ 12 ms 遅延し、その値

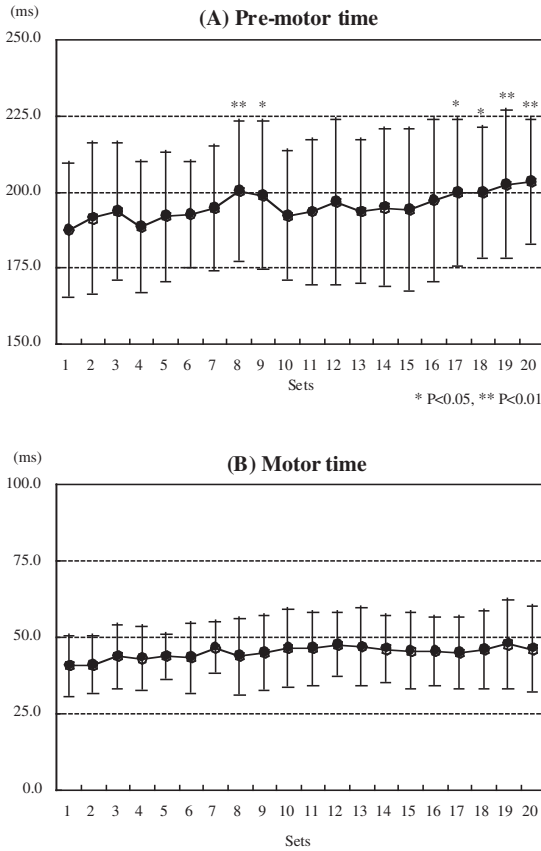


図5 疲労が pre-motor time と motor time に及ぼす影響
は初期値と各セットにおける値間の有意差を示す ($p<0.05$, ** $p<0.01$)
Fig. 5 Effects of fatigue on pre-motor time and motor time. Asterisks (*) show significant differences between the set and initial value (* $p<0.05$, ** $p<0.01$).

は有意であった。また、疲労課題の終盤に当たる17セット以降にも有意な遅延が生じ、なかでも20セット目に最大となる16 msのPMTの遅延が認められた。

次に、疲労課題の進行に伴うMTの変化を図5Bに示す。PMTが疲労課題の進行に伴って徐々に延長したのに対し、MTはわずかばかりの時間の延長傾向を示したものの、有意ではなかった。

これらの結果を整理するために、図6に、疲労進行に伴う反応時間の遅延に対するPMTとMTの貢献度を示した。セットを重ねて疲労が進行するに従い、反応時間全体が遅延している。その遅延に対し、MTと比較して、PMTの遅延する割合が大きいくことがわかる。

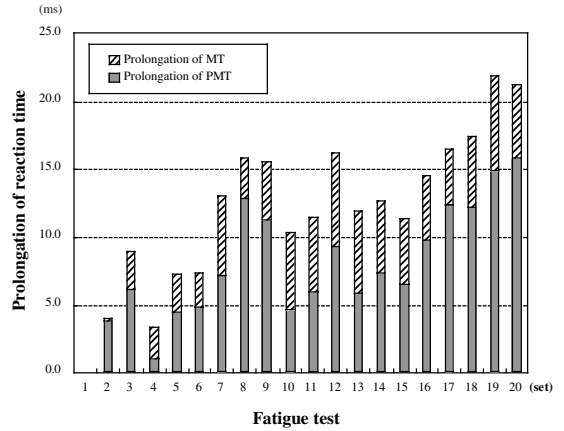


図6 反応時間の総延長に対するPMTとMTの比率
Fig. 6 The ratio of PMT and MT to the total prolongation of reaction time.

IV. 考察

A. 筋疲労がRTに及ぼす影響

本研究では、等速性負荷装置を用いて、角速度60 deg/s、40% MVCの動的収縮による疲労課題を行わせた。疲労課題は1分(約30回)×20セットであった。この疲労課題の各セット終了後に、被験者に5段階の主観的疲労度を尋ねた。この主観的疲労度は、疲労課題のセット数の増加とともに大きくなり、20セット終了後には全ての被験者において、「非常に疲れた」のレベルに達していた(図3A)。

また、疲労課題の前後にMVCを比較した結果、疲労課題終了後のMVCは、疲労課題前と比較して有意に低下した(図3B)。この結果は先行研究^{5,6)}と同様であり、本実験のプロトコルにより、十分に疲労が進行したことを意味している。この主観的疲労度とMVCの両者の観点から、本実験のプロトコルにより、疲労困憊とまではいえないものの、十分に疲労していたと考えられる。したがって疲労課題は十分に妥当であったといえる。

本研究では、疲労が筋・神経機能に及ぼす影響を調べるための指標として、視覚刺激に対するRTを用いた。この視覚刺激に対するRTは、リ

ハビリテーションや理学療法の分野でよく用いられている。Kaneko et al.⁷⁾ は、一般成人男子と膝靭帯損傷治療後の成人男子の大腿四頭筋を対象として、光刺激に対する等尺性収縮から反応時間を計測し、平均の RT がおよそ 250 ms であると報告した。今回行った反応時間テストの各セットで得られた平均 RT は、約 230-250 ms とほぼ同等の値が得られた。これは、本研究で得られた RT が妥当な値であることを示している。また、RT は疲労課題の進行に伴い増大したが、RT の標準偏差は変化しなかった。したがって、セットが進んでも反応時間テストには集中して取り組み、各セットにおける RT の値にばらつきがみられなかった可能性が推察される。

この RT は、疲労進行に伴い徐々に遅延した (図 4 A)。これらは先行研究¹⁾ と同様であった。筋・神経系の疲労とは、ATP 等のエネルギーの枯渇、乳酸の蓄積、神経筋接合部における伝達不全にみられる末梢性の疲労と、中枢神経内のシナプス伝達、大脳機能低下に起因する中枢性疲労に大別される⁶⁾。本研究では、この筋疲労による反応時間の遅延について、PMT と MT を用いてさらに詳細に検討した。

B. 反応時間遅延の中枢性機構

PMT は疲労の進行に伴い有意に遅延した (図 5 A)。この PMT は、光刺激から筋活動電位が出現するまでの時間であり、認知・情報処理を含む中枢性の指標と考えることができる⁸⁾。したがって本疲労課題により、中枢性疲労が生じたと考えられる。

これまで、疲労に伴って PMT が遅延したという報告はほとんどなく、本研究によって得られた新しい知見である。ハード的な工夫としては、本実験の前に多点電極を用いた予備実験を繰り返し、大腿部において反応時間を算出するための筋電位導出に最適な部位を捜した。多点電極を用いることにより、神経支配帯の位置、筋線維の走行を同定することができた。この予備実験の結果に基づき、支配帯を避けて、かつ筋線維にできるだけ平行に

なるように配慮しながら電極を貼付した。さらに等速性負荷装置 Cybex の機械的な緩みを補正するための工夫を行った。具体的には、反応課題時にゴムバンドをアーム部分にかけ、常時 1 ~ 3 Nm 程度の力がアームにかかるようにした。これにより、反応時間を算出するための力の立ち上がりの時機を精度良く測定することができた。

また、ソフト的な面 (被験者の選択や試技のさせかた) に対しても十分に配慮した。まず本実験に先立ち、別の日に練習日を設け、被験者に十分に疲労課題および反応課題を練習させた。また、被験者は体育会のバスケットボール部に所属しており、疲労課題における負荷設定の基準となる MVC 時に、十分に筋力を発揮出来ていた。この MVC 時の筋力発揮能力と疲労課題の持久時間に関して、山田ら⁹⁾ は運動経験の多い群 (運動群) と運動経験の少ない群 (非運動群) の膝伸展動作を対象に Twitch Interpolation 用いて MVC 時の運動単位の動員度を推定し、非運動群ではこの動員度が低く、これが疲労課題の持久時間の延長に結びつくことを指摘している。

これらに加え、本実験の中強度・長時間の疲労課題の設定により、中枢性の疲労が出現した可能性が高い。先述したように RT の SD が変化しなかったこと、すなわち RT のばらつきが変わらなかったことは、疲労による集中力の低下なしに、純粋に中枢性の機能低下によって反応時間が低下したことを強く示唆している。

C. 反応時間遅延の末梢性機構

MT は筋疲労により変化を示さなかった (図 5 B)。この MT は、筋活動電位の出現時刻から、力の立ち上がりまでと定義される。この MT は EMD (electromechanical delay) と同義であり、筋線維膜、筋収縮機構を含めた末梢性の指標である⁴⁾。これまで疲労に伴う MT (EMD) の延長については、いくつか報告されている。Zhou et al.¹⁰⁾ は、サイクリングで 30 秒間のスプリント運動を 4 セット行った後に、等尺性の膝伸展収縮課題を行わせ、6.3 ms の EMD の延長を認めている。

Yeung et al.⁴⁾ は等尺性の膝伸展動作を対象として、5秒間の最大随意収縮を30セットを行った後に、光刺激に対する反応テストを行い、内側広筋でEMDが12.2 ms延長したことを報告している。Horita et al.¹¹⁾ は、角速度180 deg/s、最大努力で行う60秒間の等速性膝伸展動作による疲労後にEMDの有意な延長を認め、これらEMD延長の機構について、神経筋接合部の伝達速度の低下や乳酸の蓄積によって生じたと考察している。しかしながら本研究では、MTの延長はみられなかった。本研究では疲労課題の負荷がMVCの40%であり、これを比較的長時間繰り返すことによって疲労を誘発させたのに対し、先行研究では比較的高強度の負荷で短時間に疲労を誘発させている。このようなことから、先行研究と同様の筋内疲労機構が生じず、末梢性疲労がほとんど生じなかった可能性が推察される。

本実験において、中程度の負荷・長時間の疲労課題により筋疲労が生じ、RTが遅延した。このRTの遅延のばらつきが疲労に伴って変わらなかったことは、被験者が全疲労課題・反応テストに集中して取り組み、RTの遅延が純粋に筋・神経機能の低下により生じたことを強く示唆している。RTのうちわけをみると、MTには変化がみられず、PMTが遅延した。これまで、疲労による反応時間の遅れは主として筋自体に依存するという考え方が主流であった。今回、プロトコルや被験者を含む実験条件を整えることにより、従来みられなかったPMTの遅延、すなわち脳内情報処理過程を含む中枢機能の低下を実験室レベルではあるが、検出することができた。これらの結果は、球技スポーツの終盤にみられる反応時間の遅れとも密接な関係があると思われる。したがって、今後、現場により近いかたちで検証していきたいと考える。

V. まとめ

本研究では、実際の試合の場面を想定した、中程度・長時間の動的収縮による局所的な筋疲労が反応時間の遅延に及ぼす影響とその機構について、中枢性要因と末梢性の要因に焦点を当てて検討した。被験者はT大学男子バスケットボール部に所属する健康な男子学生12名（年齢18～23歳）であった。被験肢は右脚とし、膝伸展動作を対象とした。疲労課題に先立ち、等速性負荷装置（Cybex）を用いて、等尺性の膝伸展最大随意収縮力（MVC）を計測した。疲労課題は、そのMVCを基準に40%強度、角速度60 deg/sで、1分間（約30回）×20セットの動的膝伸展屈曲運動を行わせた。疲労課題の各セット終了直後に、主観的疲労度を5段階で尋ねた。また、疲労課題の各セット終了後、1分の休憩の間に光刺激に対する反応時間テストを行った。被験者はランダムな間隔の5回の光刺激に対して、等尺性膝伸展動作をできるだけ素早く、強く行った。その間に、右脚の外側広筋近位、外側広筋遠位、大腿直筋、内側広筋より表面筋電図を記録し、Reaction time (RT)、Pre-motor time (PMT)、Motor time (MT) を算出した。また、全疲労課題終了後に、再度、MVCを計測した。

結果は以下の通りである。

- 1) 疲労課題により主観的疲労度は増大し、MVCは有意に低下した。
- 2) 疲労によりRTは有意に遅延したが、RTの標準偏差、すなわちバラツキは変化しなかった。
- 3) 4箇所から導出した筋電図より算出したPMTとMTは、4箇所において疲労進行に伴ってほぼ同様の変化を示した。
- 4) RTを構成するPMTとMTのうち、PMTは有意に延長したが、MTは変化を示さなかった。

これらの結果から、中強度・長時間の動的疲労課題による筋・神経系のRTの遅延は、主として

中枢性要因により生じた可能性が推察された。

参考文献

- 1) De Luca, C. J. The use of surface electromyography in biomechanics. *J. Appl. Biomechanics.*, 13: 135-163, 1997.
- 2) Solomonow, M., Moritani, T. and Maton, B. Standards for recording EMG data. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 6: III, 1995.
- 3) Paasuke, M., Ereline, J. and Gapeyeva, H. Neuromuscular fatigue during repeated exhaustive submaximal static contractions of knee extensor muscles in endurance-trained and untrained men. *Acta Physiol. Scand.*, 166: 319-326, 1999.
- 4) Yeung, S. S., Au, A. L. and Chow, C. C. Effects of fatigue on the temporal neuromuscular control of vastus medialis muscle in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 80: 379-385, 1999.
- 5) Hayes, K. C. Effects of fatiguing isometric exercise upon achilles tendon reflex and plantar flexion reaction time components in man. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 34: 69-79, 1975.
- 6) Bigland-Ritchie, B., Furbush, F. and Woods, J. J. Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions: central and peripheral factors. *J. Appl. Physiol.*, 61: 421-9, 1986.
- 7) Kaneko, F., Onari, K., Kawaguchi, K., Tsukisawa, K. and Roy, S. H. Electromechanical delay after ACL reconstruction: An innovative method for investigating central and peripheral contributions. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 32: 158-165, 2002.
- 8) 対馬栄輝, 尾田敦. 筋反応時間および力立ち上がり時間と等運動性筋力との関係. *総合リハ.*, 25: 73-77, 1997.
- 9) 山田洋, 木塚朝博, 増田正, 木竜徹, 岡田守彦. Twitch interpolation technique を応用した筋の随意的動員度と疲労耐性に関する研究. *体力科学.*, 49: 315-328, 2000.
- 10) Zhou, S., McKenna, M. J., Lawson, D. L., Morrison, W. E. and Fairweather, I. Effects of fatigue and sprint training on electromechanical delay of knee extensor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* 72: 410-416, 1996.
- 11) Horita, T. and Ishiko, T. Relationships between muscle lactate accumulation and surface EMG activities during isokinetic contractions in man. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 56: 18-23, 1987.