

下腿三頭筋の遅発性筋痛が歩行動作に与える影響

坂野 裕 洋

日本福祉大学 健康科学部

Relationship between gait performance and delayed onset muscle soreness following eccentric contraction of triceps surae muscle

Yasuhiro Banno

Faculty of Health Sciences, Nihon Fukushi University

Abstract: This study investigated indicators of muscle damage and physical disability including gait function during delayed onset muscle soreness (DOMS) following eccentric contraction (ECC) of the triceps surae muscle to determine the relationship between DOMS and physical performance. Seven healthy male students were informed about the possible risks involved in this study, and each provided written, informed consent to participate. None of them had participated in a regular exercise program for at least 6 months before starting the study. All participants performed ECC of the left side triceps surae muscle. We measured MVC, ROM, calf circumference, muscle soreness, muscle thickness, plasma CK activity, Mb concentration, salivary chromogranin A concentration (sCgA), gait speed and other gait parameters immediately before and following, and 2 and 7 days after ECC. We found that MVC significantly decreased immediately after ECC, whereas muscle soreness, sCgA, and gait speed and ankle joint from toe off to mid stance significantly increased at 2 days after ECC. Other markers did not significantly change. DOMS following ECC of the triceps surae muscle induced not only increases in muscle soreness and sCgA but also impaired gait performance (i.e. decreases of gait speed, ROM of ankle/knee flexion and push-off) in human males.

【要旨】遅発性筋痛 (delayed onset muscle soreness: DOMS) は、遠心性収縮 (eccentric contraction: ECC) 運動の数時間後より、骨格筋の圧痛や伸張痛として発現し、運動1~3日後にピークとなり10日以内に消失する痛みである。筋損傷や痛みに関する研究において、DOMSは疼痛モデルとして用いられることが多く、DOMSによって引き起こされる機能障害である筋力低下や関節可動域制限などが評価指標として用いられている。しかし、このようなDOMSに由来する機能障害が動作能力に与える影響については報告がない。そこで、本研究では下腿三頭筋にDOMSを発現させ、足関節に起こる機能障害を確認するとともに、歩行動作に与える影響について検討した。対象は、健常若年男子7名とし、片脚立位にて下腿三頭筋のECC運動を行った。評価項目は、visual analogue scale (VAS) による筋痛の程度、下腿三頭筋の等尺性最大筋力、足関節可動域、下腿周径、腓腹筋筋厚、血中筋タンパク質、唾液中 chromogranin A (CgA) 濃度、10 m 歩行時間、動作解析装置による歩行立脚期中の足関節角度変化とし、ECC運動前と運動直後、2日後、7日後に測定した。VASはECC運動前と比べてECC運動2日後で有意な増加を認めた。下腿三頭筋の等尺性最大筋力はECC運動前と比べてECC運動直後に有意な低下を認めた。唾液中CgA濃度と10 m 歩行時間はECC運動前と比べてECC運動2日後に有意な増加を認めた。歩行立脚期中の足関節角度は、ECC運動前と比べてECC運動2日後に踵接地期や足趾離地期の底屈角度の減少、立脚中期から足趾離地期にかけての背屈角度の増加などの変化を認めた。その他の評価項目については変化を認めなかった。今回の結果から、本研究で行った下腿三頭筋のECC運動によって、ECC運動から2日後に足関節運動に伴う筋痛が出現し、

歩行に伴うストレスの増大を認めた。また、10 m 歩行時間の遅延、歩行立脚期中の底屈角度の減少や背屈角度の増加を認めた。これは、歩行の推進力を生み出す蹴り出し動作が、DOMS によって制限されていることを示すものと考えた。

Keywords: 下腿三頭筋, 遠心性収縮運動, 遅発性筋痛, 歩行動作

【はじめに】

遅発性筋痛 (delayed onset muscle soreness: DOMS) は、運動の数時間から 24 時間後より、骨格筋の圧痛や伸張痛として発現し、運動 1~3 日後にピークとなり、7~10 日以内に消失する痛みである¹⁾。DOMS は、日常生活の中で経験する痛みであり、臨床的な筋痛に近いことや、痛みの発現期間が短いため対象に加わる負荷が比較的軽度であること、ヒトと実験動物で共通のモデルを作成することができるため動物モデルで得られた結果をヒトに外挿し検証することが可能であること、誘発が容易で再現性が高いことなどから、筋性疼痛や筋損傷に関する研究において、病態モデルとして用いられる場合が多い²⁾。

DOMS の発生機序については未解明の点も多いが、筋線維や結合組織の微細構造を損傷させる遠心性収縮 (eccentric contraction: ECC) 運動に伴って特異的に生じる³⁾ことから、骨格筋の損傷、およびそれに伴う炎症反応が原因の 1 つと考えられている⁴⁾。そのため、DOMS モデルを用いた筋性疼痛や筋損傷に関する研究では、直接的な損傷指標として、筋線維や結合組織の組織学的変化^{5,6)}、炎症反応によって産生される化学伝達物質の生化学的変化⁷⁾、筋線維の損傷によってリンパを介して血液中に流出する筋タンパク質⁸⁾などが用いられている。一方、間接的な損傷指標として、炎症反応に伴う腫脹や筋力低下、関節可動域 (range of motion: ROM) 制限などの機能障害⁹⁾が用いられている。しかし、このような DOMS に由来する機能障害が実際の身体動作にどのように反映しているかについて検討した報告は少ない。

また、DOMS モデルを用いたヒトを対象とした研究では、上腕二頭筋などの上肢筋に対して DOMS を作成するモデルが一般的であり、下腿三頭筋などの下肢筋に DOMS を作成するモデルは希である。しかしながら、下肢筋は立位姿勢の保持や立位動作において重要な役割を担っており、その機能障害は起居移動動作に大きな影響を及ぼすことが考えられる。事実、リハビリテーションを受ける患者の多くは、下肢の筋や骨関節の機能障害

によって、歩行動作などの制限を受ける。そのため、下肢筋に対して DOMS を作成し、その病態と機能障害について検証することは、このような患者の病態把握や治療介入効果に関する基礎的研究を進める上でも有益と考える。そこで、本研究では下腿三頭筋に ECC 運動を行うことで DOMS を発現させ、足関節に起こる機能障害とともに歩行動作に与える影響について検討した。

【方法】

1. 対象

過去 6 ヶ月間に日常規則的なレジスタンストレーニングを行っていない健康な男子大学生 7 名 (平均年齢 19.4 ± 0.8 歳, 平均身長 172.2 ± 4.5 cm, 平均体重 61.7 ± 5.4 kg) が実験の対象として本研究に参加した。下腿三頭筋に ECC 運動を行う介入側は、実験開始前に無作為に振り分けた (右側 4 名, 左側 3 名)。また、実験期間中は各種栄養サプリメントや抗炎症薬など一切の薬品摂取を禁止し、スポーツ活動などの運動も制限した。

なお、本実験では実験内容やこれらの留意事項について、対象者へ事前に口頭および文書で説明し確認を得た上で、全員から実験参加の同意書を得るとともに、日本福祉大学「人を対象とする研究」倫理委員会の承認を受けて実施した。

2. ECC 運動方法

本実験では、下腿三頭筋に DOMS を発現させるため、対象者に以下の方法¹⁰⁾で下腿三頭筋の ECC 運動を行わせた。すなわち、片脚立位にて階段の段端に中足趾間関節が位置するように足趾を段上に置き、自重が下腿三頭筋に加わるように直立姿勢をとり、メトロノームに併せて足関節中間位 (底背屈 0 °) から 5 秒間かけてゆっくりと最大背屈位 (背屈 20 °) まで踵を下げ、その後 1 秒で足関節中間位 (底背屈 0 °) まで踵の位置を戻す運動を 3 分間 (計 30 回) 行った。なお、本運動を 1 セットとし、3 分間の休憩を挟みながら 5 セット (150 回) 実施した。

3. 測定項目および方法

本実験では、ECC 運動前と運動直後、2 日後、7 日後に、筋損傷の有無や程度を評価する目的で血中筋タンパク質、下腿三頭筋の DOMS による腫脹や筋痛の程度を評価する目的で下腿周径と腓腹筋筋厚、および主観的な筋痛の程度、下腿三頭筋の DOMS に伴う機能障害の程度を評価する目的で等尺性最大筋力と足関節 ROM、下腿三頭筋の DOMS が歩行動作に与える身体または精神的な影響を評価する目的で 10 m 歩行時間と歩行立脚期中の足関節角度変化、および唾液中 chromogranin A (CgA) 濃度について、以下の方法で測定を行った。なお、各評価項目の測定は順不同とした。

1) 血中筋タンパク質

肘正中皮静脈より採血した血液を遠心分離 (4, 3000 rpm × 15 分) し血清を作成した。その後、血清を試料としてラテックス凝集法により血漿 creatine kinase (CK) と血漿 myoglobin (Mb) の活性を測定した。

2) 下腿周径

安静背臥位にて、腓骨頭と腓骨外果を結ぶ直線を引き、腓骨頭より 5, 7, 9, 11, 13, 15 cm の周径をメジャーにて測定し、6 箇所の平均値を算出した。

3) 腓腹筋筋厚

膝伸展の腹臥位にて、腓腹筋の内側頭起始部とアキレス腱への移行部を結ぶ直線を引き、この直線の中心にある腓腹筋筋腹の縦断画像を超音波診断システム (Xario™, 東芝メディカルシステムズ) にて撮影した。その後、デジタル画像編集ソフト (Photoshop CS5, Adobe) を用いて、撮影画像に 5 mm 間隔で表示されている 6 箇所のマーカーと腓腹筋長軸が交わる部位の筋厚を測定し平均値を算出した。

4) 主観的な筋痛の程度

膝伸展の背臥位にて、自動および他動的に足関節を最大底屈および最大背屈させた時の下腿三頭筋に感じる筋痛の程度を測定した。測定は、100 mm の直線の片方を「痛み無し」、もう一方の端を「最大の痛み」とし、筋痛の強度を示す visual analogue scale (VAS) を用いて行った。

5) 等尺性最大筋力

膝伸展の腹臥位にて、筋機能測定装置 (PRIMUS RS, BTe TECHNOLOGIESTM) を用い、足関節中

間位 (底背屈 0°) における下腿三頭筋の等尺性最大筋力を測定した。1 回の収縮時間は 5 秒間とし、60 秒間の休息を挟みながら計 4 回の測定を行った。得られた各回のトルク曲線より最大値を採用し、初回測定値を除いた 3 回の平均値を算出した。

6) ROM

膝伸展の腹臥位にて、足関節の底屈および背屈の自動 ROM (Active Range Of Motion: AROM) を測定した。なお、可動域測定については、ゴニオメータを用いて、日本整形外科学会および日本リハビリテーション医学会により決定された「関節可動域表示ならびに測定法」に基づいて行った。

7) 10 m 歩行時間

助走路 5 m (前後 2.5 m) を含む 15 m の歩行路を、快適速度にて歩行し、その時の中間 10 m に要した歩行時間をストップウォッチで測定した。測定は 4 回実施し、初回測定値を除いた 3 回の平均値を算出した。

8) 歩行立脚期中の足関節角度変化

介入側の腓骨頭、腓骨外果、第 5 中足骨頭にマーカーを貼付し、快適速度による歩行を行った。その際、介入側下肢を外側よりデジタルビデオカメラで撮影した後、二次元動作解析ソフト (FORM FINDER, INC) にフレームレート 30 Hz で取り込み、介入側における踵接地期 (0%) から足趾離地期 (100%) の足関節角度を計測し、立脚期の足関節角度変化について Microsoft Excel 2016 の Solver 機能を用いてカーブフィッティングを行った。

9) 唾液中 CgA 濃度

ECC 運動前に決定した快適歩行速度で ECC 運動後に 5 分間のトレッドミル歩行を行い、歩行の直前と直後にサリベットコットン (SARSTEDT®) を 1 分間舌下に挿入し唾液を採取した。その後、唾液を試料として唾液中 CgA 濃度を酵素免疫測定法によって測定し albumin で補正した。

4. 統計処理

得られた測定結果について、血中筋タンパク質、下腿周径、腓腹筋筋厚、主観的な筋痛の程度、ROM、10 m 歩行時間、歩行立脚期中の足関節角度変化の解析には実測値を用い、等尺性最大筋力の解析は、個々の対象者によって発揮筋力が異なることから、ECC 運動直後、2 日後、7 日後の値を ECC 運動前の値で補正し、唾液中

CgA 濃度は、自律神経系によってその分泌が調節されているため日間変動が生じることから、歩行後の値を歩行前の値で補正した。

なお、統計処理には、統計処理ソフト (KyPlot5.0, Kyens Lab) を用い、有意水準は 5 %未満とした。各評価項目の ECC 運動前と運動直後、2 日後、7 日後における有意差を一元配置分散分析によって判定し、有意差を認められた場合は Scheffe 検定を用いて多重比較を行った。なお、本文および図表に示した値は全て平均値 ± 標準偏差で示した。

【結果】

1) 血中筋タンパク質

血中筋タンパク質として、血漿 CK 活性と血漿 Mb 活性を測定した。血漿 CK 活性は ECC 運動前 147.2 ± 35.8 IU/L、運動直後 155.8 ± 36.0 IU/L、2 日後 132.9 ± 40.2 IU/L、7 日後 147.7 ± 63.2 IU/L、血漿 Mb 活性は、ECC 運動前 55.9 ± 23.6 ng/mL、運動直後 60.6 ± 14.0 ng/mL、2 日後 46.6 ± 26.0 ng/mL、7 日後 43.6 ± 11.1 ng/mL であり、血漿 CK 活性および血漿 Mb 活性とも

に、ECC 運動前と比べて ECC 運動直後、2 日後、7 日後に有意な変化を示さなかった。

2) 下腿周径

下腿周径は、ECC 運動前 33.9 ± 1.9 cm、運動直後 34.6 ± 2.0 cm、2 日後 34.7 ± 1.6 cm、7 日後 34.6 ± 1.9 cm であり、ECC 運動前と比べて ECC 運動直後、2 日後、7 日後に有意な変化を示さなかった。

3) 腓腹筋筋厚

腓腹筋筋厚は、ECC 運動前 1.2 ± 0.3 cm、運動直後 1.5 ± 0.3 cm、2 日後 1.3 ± 0.4 cm、7 日後 1.1 ± 0.4 cm であり、ECC 運動前と比べて ECC 運動直後、2 日後、7 日後に有意な変化を示さなかった。

4) 主観的な筋痛の程度 (図 1)

足関節を自動および他動的に最大底屈および最大背屈させた時の下腿三頭筋に感じる筋痛を VAS にて数値化した。自動運動による最大底屈では ECC 運動前 0.4 ± 1.1 mm、運動直後 6.1 ± 13.3 mm、2 日後 22.7 ± 18.6 mm、7 日後 1.7 ± 3.4 mm、最大背屈では ECC 運動前 0.9 ± 1.1 mm、運動直後 12.4 ± 24.4 mm、2 日後 30.4 ± 19.7 mm、7 日後 0.9 ± 1.1 mm であり、最大底屈および

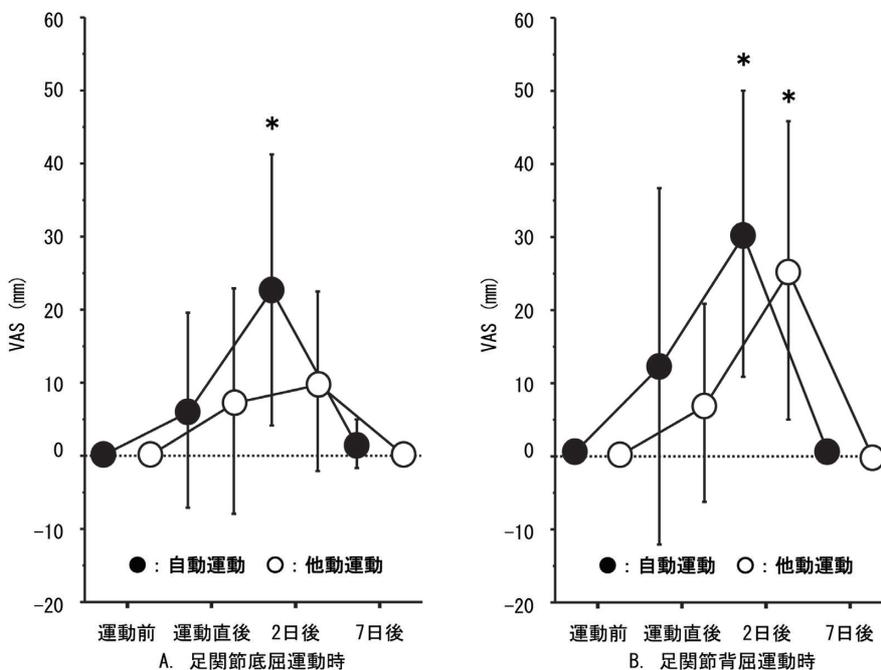


図 1. 主観的な筋痛 (VAS) の経時的変化

足関節を自動 (●) および他動的 (○) に最大底屈 (図左 A) および最大背屈 (図右 B) させた時の下腿三頭筋に感じる筋痛を visual analogue scale (VAS) で示す。自動運動では、最大底屈、底屈ともに、運動前と比べて運動 2 日後に有意な筋痛の増加を示した。一方、他動運動では最大背屈のみで、運動前と比べて運動 2 日後に有意な筋痛の増加を示した (* : p < 0.05, vs. 運動前)。なお、図中の値は平均値 ± 標準偏差を示す。

最大背屈ともに ECC 運動 2 日後が ECC 運動前と比べて有意に高値を示した。一方、他動運動による最大底屈では ECC 運動前 0.3 ± 0.8 mm, 運動直後 7.4 ± 15.4 mm, 2 日後 10.1 ± 12.3 mm, 7 日後 0.3 ± 0.8 mm, 最大背屈では ECC 運動前 0.3 ± 0.8 mm, 運動直後 7.3 ± 13.4 mm, 2 日後 25.4 ± 20.5 mm, 7 日後 0.0 ± 0.0 mm であり, 最大背屈のみ ECC 運動 2 日後が ECC 運動前と比べて有意に高値を示した。

5) 等尺性最大筋力 (図 2)

下腿三頭筋の等尺性最大筋力は, ECC 運動直後 $71.5 \pm 23.3\%$, 2 日後 $84.1 \pm 24.3\%$, 7 日後 $90.1 \pm 18.2\%$ であり, ECC 運動後が ECC 運動前と比べて有意に低値を示した。

6) AROM

膝伸展位における足関節の底屈 AROM は, ECC 運動前 36.3 ± 6.4 °, 運動直後 32.5 ± 8.0 °, 2 日後 38.1 ± 7.5 °, 7 日後 35.6 ± 7.3 °, 背屈 AROM は, ECC 運動前 9.4 ± 9.8 °, 運動直後 10.6 ± 12.1 °, 2 日後 8.8 ± 7.4 °, 7 日後 10.6 ± 7.3 ° であり, 底屈および背屈ともに, ECC 運動前と比べて ECC 運動直後, 2 日後, 7 日後に有意な変化を示さなかった。

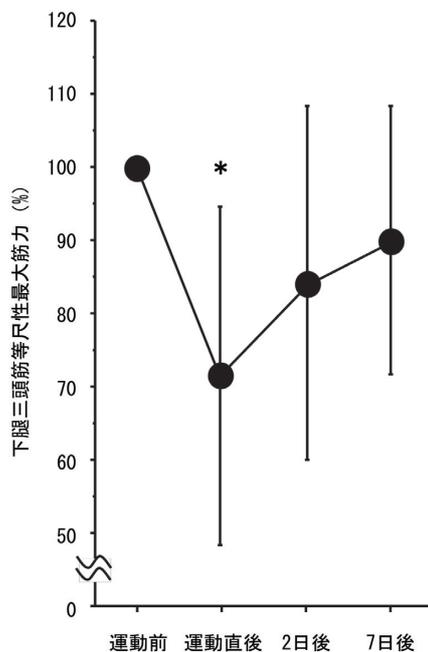


図 2. 等尺性最大筋力の経時的変化

下腿三頭筋の等尺性最大筋力を運動前 (100%) の変化率で示す。下腿三頭筋の等尺性最大筋力は, 運動直後に運動前と比べて有意な低下を示した (* : $p < 0.05$, vs. 運動前)。なお, 図中の値は平均値 ± 標準偏差を示す。

7) 10 m 歩行時間 (図 3)

10 m 歩行時間は, ECC 運動前 8.7 ± 0.3 sec, 運動直後 9.3 ± 0.6 sec, 2 日後 9.4 ± 0.7 sec, 7 日後 9.3 ± 0.7 sec であり, ECC 運動 2 日後が ECC 運動前と比べて有意に高値を示した。

8) 歩行立脚期中の足関節角度変化 (図 4)

歩行の立脚期における足関節角度は, ECC 運動前と比べて, 踵接地期において, ECC 運動直後, 2 日後, 7 日後に底屈角度の減少, 立脚中期から足趾離地期にかけて, ECC 運動直後, 2 日後, 7 日後に背屈角度の増加, 足趾離地期において, ECC 運動直後, 2 日後に底屈角度の減少を認めた。また, ECC 運動直後, 2 日後, 7 日後では, 運動前と比べて踵接地期から立脚中期までの時間が短縮し, 早期に底屈位より背屈位に移行していた。特に ECC 運動 2 日後では, 上述した変化が著明であり, 足趾離地期まで背屈位を維持していた。

9) 唾液中 CgA 濃度 (図 5)

唾液中 CgA 濃度は, ECC 運動前 $96.5 \pm 15.5\%$, 運動直後 $94.1 \pm 16.2\%$, 2 日後 $133.5 \pm 37.7\%$, 7 日後 $100.3 \pm 17.6\%$ であり, ECC 運動 2 日後が ECC 運動前と比べて有意に高値を示した。

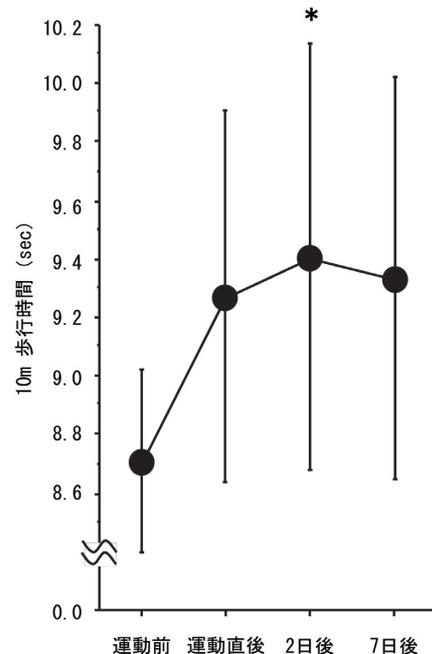


図 3. 10 m 歩行時間の経時的変化

10 m 歩行時間の経時的な変化を示す。10 m 歩行時間は運動直後より延長し, 運動 2 日後に有意な歩行時間の遅延を示した (* : $p < 0.05$, vs. 運動前)。

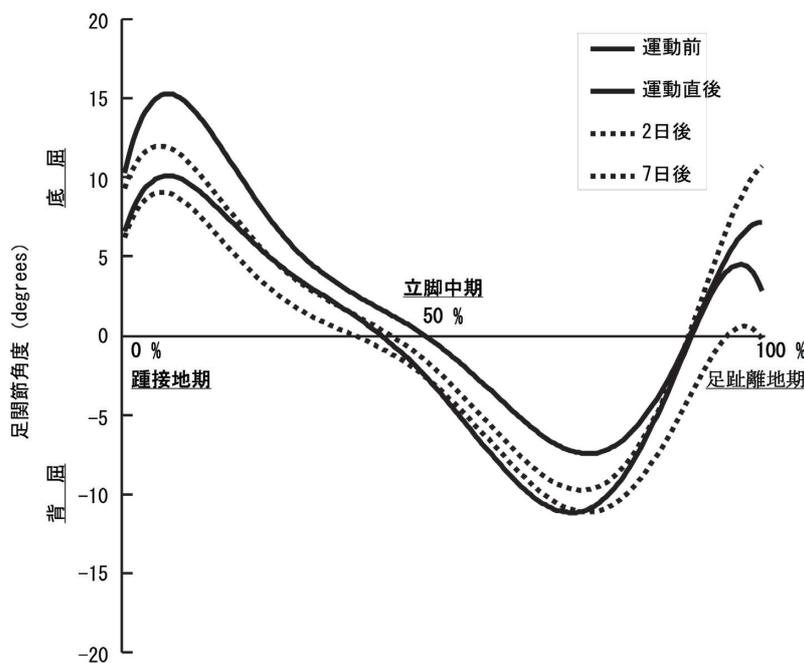


図 4. 歩行立脚期における足関節の経時的変化

歩行中の立脚期における足関節は、下腿三頭筋の遠心性収縮運動により踵接地期と足趾離地期の底屈角度が減少し、立脚中期から足趾離地期にかけての背屈角度が増加した。また、踵接地期から立脚中期までの時間が短縮し、早期に底屈位より背屈位に移行していた。特に運動2日後では、足趾離地期まで背屈位を維持していた。

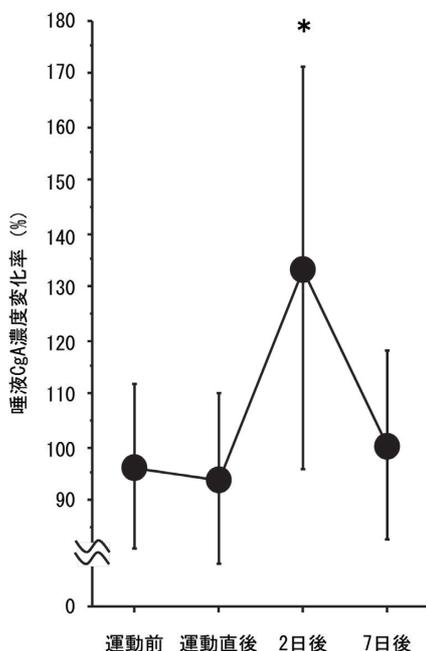


図 5. 唾液中 CgA 濃度の経時的変化

5分間のトレッドミル歩行前後に採取した唾液より、精神的ストレスの指標である chromogranin A (CgA) 濃度を測定し、歩行後の値を歩行前の値で補正した変化率を示す。5分間のトレッドミル歩行による CgA 濃度の変化率は、運動前と比べて運動2日後に有意な増加を示した (* : $p < 0.05$, vs.運動前)。なお、図中の値は平均値 ± 標準偏差を示す。

【考察】

本研究では、下腿三頭筋の ECC 運動により、運動2日後をピークとした足関節の自動底屈運動と自動および他動背屈運動に伴う下腿三頭筋の収縮痛と伸張痛の発生を認めた。DOMS は、ECC 運動に伴って特異的に発現し、ECC 運動から 1~3 日後にピークとなり、7~10 日以内に消失する骨格筋の圧痛や運動時痛（収縮痛、伸張痛）である¹⁾。このことから、本研究で行った ECC 運動によって下腿三頭筋に発現した筋痛は、DOMS であることが推察される。

一方、Armstrong ら¹¹⁾は、DOMS の発現している骨格筋において、筋線維の断裂や横紋の乱れ、Z 帯の破壊などの形態学的変化や単核細胞の集積などの炎症像を確認しており、ECC 活動中に骨格筋へ加わる強い機械的張力により、筋線維やそれに直列する結合組織が損傷を受け、炎症反応が引き起こされた結果、炎症徴候である痛みが生じる可能性を 1984 年に報告している。これ以降、多くの DOMS 研究では、筋損傷やそれに伴う炎症反応を反映する直接的、または間接的な指標が示されている。しかしながら、本研究では ECC 運動から2日後の DOMS 発現時において、骨格筋の損傷により血液中に逸脱する酵素である血漿 CK 活性や血漿 Mb 活性、

炎症反応に伴う骨格筋の浮腫を反映する下腿周径や腓腹筋筋厚、足関節の機能障害を反映する等尺性最大筋力や AROM などの測定項目に、ECC 運動前と比べて有意な変化を認めなかった。Nosaka ら¹²⁾は、本研究と同様に筋損傷がほとんど認められない場合においても、顕著な DOMS の発生を認めたと報告しており、筋損傷や炎症反応と DOMS は必ずしも相関しないとしている。また、動物実験においても、DOMS の発現を認める腓腹筋を対象に組織学的に検索した結果、筋損傷像やマクロファージの集積といった炎症像を認めないとした報告がある¹³⁾。その他にも、非ステロイド性抗炎症薬による鎮痛効果が DOMS では認められないとした報告¹⁴⁾や炎症や組織破壊が起こると血清中に増加する C 反応性タンパク質 (C-reactive protein: CRP) が DOMS では増加しないとした報告¹⁵⁾もあることから、DOMS の発現には骨格筋や結合組織の損傷、およびそれに伴う炎症反応が必須でないことが考えられる。以上のことから、本研究で行った下腿三頭筋に対する ECC 運動は、下腿三頭筋に筋損傷や炎症反応を伴わずに DOMS を発現させたことが推察された。

また、本実験では下腿三頭筋の DOMS が歩行動作に与える影響を確認するために、10 m 歩行時間、歩行立脚期中の足関節角度変化、唾液中 CgA 濃度について検討した。10 m 歩行時間は、ECC 運動前と比べて ECC 運動から 2 日後で遅延し、歩行立脚期中の足関節は踵接地期や足趾離地期の底屈角度の減少、立脚中期から足趾離地期にかけての背屈角度や背屈時間の増加を認めた。これは、歩行立脚期中の足関節を背屈位で固定することで、歩行時に発生する床反力を減少させ、下腿三頭筋に加わる張力を軽減し、DOMS の増悪を防いでいるためと考えられる。さらに、足関節の背屈位固定に伴い、歩行の推進力を生み出す蹴り出し動作が制限されてしまうため、歩行速度が低下して 10 m 歩行時間が遅延したと考えられる。しかしながら、統計学的な有意差は認めないものの、DOMS が消失している ECC 運動から 7 日後においても、10 m 歩行時間は遅延傾向であり、歩行立脚期中の足関節角度変化も ECC 運動から 2 日後と類似した傾向を認めた。このことから、ECC 運動後に生じる歩行速度の低下や蹴り出し動作の制限は、DOMS による運動時痛とは別の原因によって生じている可能性も推察される。そのため、今後は ECC 運動に伴う筋機能の変化やその経過について、筋電図や筋機能測定装置な

どを用いて、質的に検討する必要があると考える。

また、本研究では 5 分間のトレッドミル歩行前後に採取した唾液より CgA 濃度を測定し、トレッドミル歩行後の値を歩行前の値で補正した変化率を用いて検討した。その結果、ECC 運動から 2 日後のトレッドミル歩行において、唾液中 CgA 濃度の増加を認めた。CgA は、副腎髄質のクロマフィン顆粒内から分離された酸性の糖タンパク質であり、副腎髄質や下垂体をはじめ、多くの内分泌器官や神経系の分泌顆粒内に存在しており、catecholamine とともに血中へ共放出されることが知られている。一方、唾液中に分泌される CgA は不安や恐怖、緊張などの精神的ストレスに伴う交感神経-副腎髄質系 (SAM system) の賦活を反映するマーカーとして研究されており、精神的ストレス負荷時には cortisol より先行して上昇し、負荷後は早期に減少すること、および身体的ストレスに対しては反応性が乏しいことが報告されている¹⁶⁾。一方、痛みとは「実質的あるいは潜在的な組織損傷に結びつく、あるいはそのような損傷を表す言葉を使って表現される不快な感覚・情動体験」と国際疼痛学会において 1994 年に定義されており、痛みには「感覚 - 識別」「意欲 - 情動」「認知 - 評価」といった側面があることが知られている。このことから、ECC 運動から 2 日後の歩行動作では、下腿三頭筋に伸張または収縮が生じる荷重や蹴り出し動作などにより、筋痛や不快感を生じることが推察され、歩行動作に伴うそれらの精神心理的变化がストレスとなり、SAM system を賦活した結果、唾液中の CgA 濃度が上昇した可能性が推察される。

【まとめ】

今回、下腿三頭筋の ECC 運動によって DOMS が発現し、歩行動作に伴う精神的ストレスの増大を認めた。また、歩行時間の遅延や立脚中期から足趾離地期における足関節背屈角度の増大を認めた。これは下腿三頭筋の DOMS により、歩行の推進力を生み出す蹴り出し動作が制限されたものと考えられる。また、本研究で行った下腿三頭筋の ECC 運動では、下腿三頭筋に筋損傷や炎症反応を認めなかったことから、DOMS の発現やそれに伴う動作能力の低下には、骨格筋や結合組織の損傷、およびそれに伴う炎症反応が必須でないことが考えられる。本研究では、被験者を日常規則的な運動習慣を持たない 19 歳から 21 歳の男子大学生を対象に実験を行った。

そのため、年齢や性別、運動習慣の違いによって、結果が異なる可能性が高い。さらには、不活動などにより神経系に可逆的变化を生じている場合や筋萎縮によって骨格筋が脆弱化している場合、もしくはそれらが合併しているような場合については、今後の詳細な検討が必要と考える。

【文献】

- 1) Connolly DA, Sayers SP, et al.: Treatment and prevention of delayed onset muscle soreness. *J Strength Cond Res* 17 (1): 197-208, 2003.
- 2) Torres R, Ribeiro F, et al.: Evidence of the physiotherapeutic interventions used currently after exercise-induced muscle damage: systematic review and meta-analysis. *Phys Ther Sport* 13 (2): 101-114, 2012.
- 3) Proske U, Morgan DL.: Muscle damage from eccentric exercise: mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol* 537 (2): 333-345, 2001.
- 4) MacIntyre DL, Reid WD, et al.: Delayed onset muscle soreness the inflammatory response to muscle injury and its clinical implications. *Sports Med* 20 (1): 24-40, 1995.
- 5) Fridén J, Lieber RL.: Eccentric exercise-induced injuries to contractile and cytoskeletal muscle fibre component. *Acta Physiol Scand* 171 (3): 321-326, 2001.
- 6) Warren GL, Lowe DA, et al.: Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury. *Sports Med* 27 (1): 43-59, 1999.
- 7) Pyne DB.: Exercise-induced muscle damage and inflammation: a review. *Aust J Sci Med Sport* 26: 49-58, 1994.
- 8) Soricter S, Puschendorf B, et al.: Skeletal muscle injury induced by eccentric muscle action: muscle proteins as markers of muscle fiber injury. *Exerc Immunol Rev* 5: 5-21, 1999.
- 9) Nosaka K, Muthalib M, et al: Attenuation of muscle damage by preconditioning with muscle hyperthermia 1-day prior to eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol* 99: 183-192, 2007.
- 10) 村上恵津子, 松原貴子, 他.: 振動刺激が遅発性筋痛に及ぼす影響. *理学療法学* 33 : 91, 2006.
- 11) Armstrong RB.: Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Med Sci Sports Exerc* 16 (6): 529-538, 1984.
- 12) Nosaka K, Clarkson PM.: Variability in serum creatine kinase response after eccentric exercise of the elbow flexors. *Int J Sports Med* 17 (2): 120-127, 1996.
- 13) Fujii Y, Ozaki N, et al.: TRP channels and ASICs mediate mechanical hyperalgesia in models of inflammatory muscle pain and delayed onset muscle soreness. *Pain* 30; 140 (2): 292-304, 2008.
- 14) Pizza FX, Cavender D, et al.: Anti-inflammatory dose of ibuprofen: effect on neutrophils and exercise induced muscle injury. *Int J Sports Med* 20 (2): 98-102, 1999.
- 15) Nosaka K, Clarkson PM.: Change in indicators of inflammation after eccentric exercise of the elbow flexors. *Med Sci Sports Exerc* 28 (8): 953-961, 1996.
- 16) 中根英雄 : 新規精神的ストレス指標としての唾液中クロモグラニン A. *豊田中央研究所 R&D レビュー* 34 (3) : 17-22, 1999.