

資料

遅発性筋肉痛および運動に伴う筋損傷研究における文献的知見

— 被験者特性の違いに着目して —

川岡臣昭*¹ 小野寺昇*² 詫間晋平*³

緒 言

エクセントリックを主体とした筋運動や、高強度あるいは高頻度の激運動を行うと、運動 8~24 時間後に筋肉痛(遅発性筋肉痛, Delayed Onset Muscle Soreness: DOMS, 以下「筋肉痛」と記す)が起こる。痛みのピークは 2~3 日後であり, 5~7 日後には消失するとされる^{21,23)}。これらの運動は筋損傷(運動に伴う筋損傷, Exercise-Induced Muscle Damage: EIMD, 以下「筋損傷」と記す)を引き起こし, 筋力の低下, 関節可動域(Range of Motion: ROM)の減少, クレアチンキナーゼ(Creatine Kinase: CK)活性値の上昇, 磁気共鳴映像における T2 緩和時間の延長などがみられる^{9,17,19)}。これら筋損傷の指標は, 筋肉痛を評価する間接的指標とも考えられているが, 筋肉痛とこれらの指標は一致しないこともあり, 両者の関係には不明な点が多い¹⁸⁾。また, 加齢に伴う筋肉痛発現の遅延, 少年期における筋肉痛の実態, 筋肉痛発現の性差, トレーニング経験(運動習慣)の有無と筋肉痛の関係など, 数々の興味ある事柄についても明らかにされているとはいえない。

そこで本研究では, 筋肉痛と筋損傷の指標を記している文献を整理するとともに, 被験者特性の違いを年齢, 性, トレーニング経験の 3 つの観点から検討することを目的とした。

文献収集

文献は, 医学文献データベース「Medline」から「Delayed Onset Muscle Soreness」, 「DOMS」, 「Exercise-Induced Muscle Damage」, 「Eccentric AND Muscle Damage」をキーワードとして検索した。また各論文の参考文献をもとに文献収集を行った。その際, 英語表記であること, 外科的な制限の

ない 6 名以上の健常者を対象としていること, 運動による筋肉痛であることを条件にすると 289 編の原著論文が抽出された。

(A) 筋肉痛と筋損傷の指標

抽出された 289 編の文献をもとに, 筋肉痛と筋損傷の指標を検討した。最も掲載頻度が高かったのは主観的な筋肉痛(82%)であった。圧痛計(algometer や dolorimeter など)を使用した圧痛測定は 19%であった。次いで, アイソメトリックまたはトルクなどの筋力評価(63%)であった。CK 活性値は 58%であり, 関節可動域が 34%, 周径囲が 20%であった。7%以下の評価指標には, 筋・結合組織の構造(30 編), 筋電図(24 編), 磁気共鳴映像(23 編), Bモード超音波画像(14 編), 垂直とび(12 編), 反応時間(4 編), 筋スティッフネス(4 編)などがあつた。

以下に掲載頻度が高かった項目である, 筋肉痛, 筋力, CK 活性値, 関節可動域, 周径囲, 筋・結合組織の構造, 磁気共鳴映像, Bモード超音波画像について解説する。また, 筋肉痛・筋損傷を記載している図書¹⁴⁾も参考にして, 筋肉痛と筋損傷の関連をまとめた。

1. 筋肉痛

痛みの評価方法には, 100mm(あるいは 50mm)の直線の片方の端に「痛みなし」, もう一方の端に「最高の痛み」を示す VAS 法(Visual Analog Scale: 視覚アナログ尺度)に, 痛みの程度を数字や言葉を加える NRS 法(Numerical Rating Scale: 数値対応尺度), VRS 法(Verbal Rating Scale: 言語対応尺度)に似た方法が多く使用されていた(79%)。VAS 法の使用頻度は 43%であり, VRS 法が 7%, Talag のスケールが 3%, MPQ(McGill Pain Questionnaire) が 3%, Likert のスケールが 2%であった。

痛みの評価として最も多かった項目は触診痛(18%)であり, 次いで圧痛(16%), 動作時痛(12%), 屈曲

*1 総合学園ヒューマンアカデミー スポーツカレッジ スポーツトレーナー専攻

*2 川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科 *3 川崎医療短期大学 医療保育学科

(連絡先)川岡臣昭 〒980-6114 宮城県仙台市青葉区中央1-3-1 AER14F 総合学園ヒューマンアカデミー スポーツカレッジ

E-Mail: tommy-adams@mail.tains.tohoku.ac.jp

痛(6%), 伸展痛(3%)で順であった。触診痛の方法には、検者による手の圧迫や圧痛計が使用されていた。負荷運動には、アームカール、スクワット、歩行、日常生活動作などがあつた。痛みを評価する方法、項目ともに複数をを使用することが多かつた。なお、項目の詳細な記述がなかつた文献が35%もあつた。

2. 筋力

1984年に Friden ら⁸⁾ が最初に用いた。最も多かつたのはアイソメトリック測定(33%)であり、次いでトルク測定(23%)、アイソメトリックでのトルク測定(7%)の順であつた。

3. CK 活性値

1983年に Schwane ら³⁰⁾ が最初に用いた。CK は骨格筋に多く存在し、激しい運動後や筋損傷の際に血液中に逸脱する酵素である。運動後の CK 活性値は上昇するが、そのピークは3~4日後であるとする文献が多かつた^{10,12)}。

4. 関節可動域

1984年に Yackzan ら³⁷⁾ が最初に用いた。立位あるいは仰臥位の安静状態で測定した文献は25%であつた。姿勢の記述がなく、関節角度で示した文献が22%、屈曲時という表現が19%、伸展時が9%であつた。また、運動前の関節角度から運動後の最大屈曲時の関節角度を引いた可動域を用いた文献^{17,23)} は7%であつた。

5. 周径囲

1985年に Howell ら⁹⁾ が最初に用いた。テープメジャーを使用し、筋腹を1箇所、あるいは同筋の近位、遠位を含めた数箇所を測定する方法がほとんどであつた。周径囲のピークは、運動4日後とする文献^{16,21)} が多かつた。

6. 筋・結合組織の構造

筋をバイオプシーする侵襲的な方法である。光学顕微鏡や電子顕微鏡で観察することで筋損傷の状態が把握できる。筋原線維のZ膜の乱れや横紋構造の破壊を特徴とする損傷は、運動直後に小さな範囲で観察され、それが運動48時間後までに広範囲になるという文献^{8,32)} がみられた。

7. 磁気共鳴映像

非侵襲的に筋損傷を捉える方法に磁気共鳴映像法(MRI)がある。筋損傷が生じたと考えられる筋では、MRIにおいてT₂緩和時間(時間が長いほど筋の炎症は大きい。炎症部分はT₂強調画像では白く映る。)の延長^{21,22)} が認められている。

8. Bモード超音波画像

Bモード超音波画像法によって、非侵襲的に筋厚やエコー輝度をみることができ、超音波画像においては、エコー輝度の増加^{20,21)} が顕著に認められている。

9. 筋肉痛と筋損傷の関連

野坂¹⁴⁾ は、上腕エクセントリック運動に伴う圧迫時、屈曲時、伸展時の筋肉痛を比較したところ、いずれの方法でも運動2日後に痛みがピークとなるが、そのピーク値はそれぞれ異なっており、圧迫時、屈曲時、伸展時の筋肉痛は異なった側面を持っているとしている。つまり、筋肉痛も一様ではないといえる。

筋損傷の直接的指標は、筋バイオプシーにより筋・結合組織の構造をみることであるが、これらの筋微細構造の破壊は一部のみであり、必ずしも筋肉痛がある時にみられるとは限らないとされる¹⁴⁾。

筋損傷の間接的指標としては、筋力低下^{20,21)}、CK活性値の上昇^{30,34)}、関節可動域の減少(筋スティッフネスの増加^{3,13)}、周径囲の増加(筋の腫張^{17,19)}などが用いられている。Warren ら³⁵⁾ は、筋力(アイソメトリック筋力)の長期間の低下は筋損傷量を最も反映すると述べている。CK活性値の上昇量については個人差がみられ、筋損傷量の指標としては限界があり¹⁵⁾、有用ではない¹²⁾とする報告もみられるが、CK活性ピーク値は筋力の低下度や回復度、周径囲の増加量と高い相関関係にある¹⁴⁾といわれている。ところで、筋肉痛の1つである伸展痛においては、そのピーク値は筋損傷の変化量(筋力低下度、関節可動域の減少度、周径囲の増加量)及びCK活性ピーク値と弱い相関関係にあるものの、圧痛や屈曲痛のピーク値との間には有意な相関関係は認められない¹⁴⁾とされる。つまり、筋肉痛の中でも、少なくとも圧痛と屈曲痛は、筋損傷の程度を的確に反映しているとはいえない。

その他の筋損傷の間接的指標に、MRIのT₂緩和時間の延長^{21,22)}やBモード超音波画像によるエコー輝度の増加^{20,21)}がある。これは筋損傷それ自体というより、損傷に伴う炎症反応(腫張など)である可能性が高いとされる²⁸⁾。MRIのT₂緩和時間の変化量については、そのピークは7日後であり、それは1ヵ月経っても運動前の状態に戻っていない。したがって、2日後(または2~3日後)にピークとなり、7日後にはほぼ消失する筋肉痛とは明らかに異質の指標といえる¹⁴⁾。

これらのことから、筋肉痛の原因が筋損傷であつたとしても、筋肉痛の程度が筋損傷の程度を反映するものではないといえる。

(B) 被験者特性の違いによる筋肉痛と筋損傷

抽出された289編の文献をもとに、被験者特性の違いを年齢、性、トレーニング経験の3つの観点から筋肉痛と筋損傷について整理した。表1はこれらの中から、有用な知見が得られている文献をリストアップし、筋肉痛や筋損傷指標の記載状況を示したものである。

1. 年齢の違い

年齢の違いによる筋肉痛と筋損傷を表2に示した。18歳以下の少年を対象とした文献は3編^{7,31,36)}であり、成年と比較した文献は2編であった。以下にこの2編の概要を示す。Soaresら³¹⁾は少年と成年男性を対象に、最大筋力の80%負荷でベンチプレス疲労困憊まで5セット繰り返す実験を行った。筋を触診しない動作時と触診した時の筋肉痛は両者

とも増大したが、それは少年の方が軽めであった。CK活性値は少年がほとんど上昇しなかったのに対し、成年は著しく上昇し、1週間経っても運動前の値に戻っていなかった。また、Webberら³⁶⁾は少年と成年を対象に最大心拍数の80~85%強度で30分のダウンヒルランニングを行わせている。筋肉痛は、24時間後に両者とも有意に増大したが、年齢による差はみられなかった。CK活性値は両者ともに24時

表1 引用文献と筋肉痛・筋損傷の記載項目

	文 献	筋肉痛	筋力	CK活性値	関節可動域	周径閉	筋・結合組織の構造	磁気共鳴映像	その他
年 齢	Soaresら ³¹⁾	○	○	○					
	Webberら ³⁶⁾	○		○					
	Rothら ²⁷⁾		○				○		
	Rothら ²⁸⁾		○				○		
	DedrickとClarkson ⁵⁾	○	○						反応時間
	ClarksonとDedrick ²⁾	○		○	○				
	Manfrediら ¹²⁾			○			○		
性	Ploutz-Snyderら ²⁴⁾		○					○	
	MacIntyreら ¹¹⁾	○	○					○	
	Stupkaら ³³⁾			○			○		好中球数
	Danneckerら ⁴⁾	○							
	Rinardら ²⁶⁾	○	○		○				
トレ ニ ン グ	SayersとClarkson ²⁹⁾		○						
	Poudevigneら ²⁵⁾	○							
	Staronら ³²⁾			○			○		
	Vincent HKと Vincent KR ³⁴⁾	○	○	○	○	○			
	Dolezalら ⁶⁾	○		○					

表2 年齢の違いによる筋肉痛と筋損傷

著者	被験者	負荷方法	筋肉痛の程度	筋損傷の程度
Soaresら (1996)	少年10名 (12.1±0.2歳) 成年男性10名 (28.3±3.5歳)	ベンチプレス (上肢筋群) 最大筋力の80%、疲労困憊まで、 5セット	両者とも痛み (安静時、触診時) が増大。48、72時間後に少年は 軽め (共にp<0.05, vs. 成人)。	筋力: 少年は低下せず。成年は48、 72時間後に低下 (共にp<0.05, vs. 前) CK: 成年は72時間後、1週間後に 高値 (共にp<0.05, vs. 前)、 少年はほとんど上昇せず。
Webberら (1989)	少年16名 (男性9名、女性7名) (10.4±1.2歳) 成年15名 (男性8名、女性7名) (27.2±2.3歳)	ダウンヒルランニング (下肢筋群) 最大心拍数の80~85%、30分、 斜度-10%	両者とも24時間後に痛みが増 大 (p<0.01, vs. 前)。24時間後 の痛みは少年が軽め。	CKは両者とも24時間後に上昇。 上昇量は24時間後に少年が低値 (p<0.01, vs. 成年)。
Rothら (1999)	非鍛練成年男性7名 (25±3歳) 非鍛練高齢男性8名 (69±3歳)	レッグエクステンション (大腿四頭 筋) 1日に55回 (5~20RM負荷回 数×5セット) 3回/週、9週間	未測定	筋線維損傷率は両者とも9週間後に 増加 (p<0.05, vs. 前)。 ただし、両者間には差はなし。
Rothら (2000)	非鍛練成年女性7名 (26±1歳) 非鍛練高齢女性6名 (69±3歳)	レッグエクステンション (大腿四頭 筋) 1日に55回 (5~20RM負荷回 数×5セット) 3回/週、9週間	未測定	筋線維損傷率は高齢者が9週間後に 増加 (p<0.01, vs. 前)。 ただし、成年には変化なし。
Clarksonと Dedrick (1988)	女性10名 (23.6±3.3歳) 女性10名 (67.4±5.3歳)	アームカール (上腕屈筋群) MISの115%の負荷でEMAを24 回 (肘関節角度45°→150°を3秒 負荷、12秒間休息) (同運動を7日の間隔で再度実施)	痛み (伸展痛) のピーク: 成年は 1日後、高齢者は2日後。 ただし、両者間に差なし。	弛緩時肘関節角度: 2日後は高齢 者が低値 (p<0.05, vs. 成年)。 屈曲時肘関節角度、CK活性値は 両者間に差なし。
Dedrickと Clarkson (1990)	同上	同上	伸展痛は両者間に差なし。 (同上)	前腕筋力は高齢者が2日後まで低下、 5日後でも未回復 (p<0.05, vs. 前)。 成年は3日後に回復 (p<0.05, vs. 前)。 手の反応時間と動作時間は両者間に 差なし。
Manfrediら (1991)	非鍛練成年男性5名 (20~30歳) 非鍛練高齢男性5名 (59~63歳)	自転車エルゴメータ運動 (下肢筋 群) MCSの90、80、70%の負荷で EMAを同順に各15分、合計45分 (セット間5分)	未測定	CKは両者とも5日後まで漸次上昇。 ただし、両者間に傾向差はなし。 筋線維損傷率は高齢者 (90%) が成年 (5~50%) より高い。
Ploutz-Snyderら (2001)	非鍛練成年女性6名 (23±4歳) 非鍛練高齢女性6名 (66±5歳)	レッグエクステンション (大腿四頭 筋) MCS及びMESの75%を100 回 (10回×10セット)	未測定	筋力 (MCS, MES) 低下率、T ₂ 緩 和時間延長: 24時間後は高齢者が大 きい (共にp<0.05, vs. 成年)。

CK: CK活性値

MIS: Maximum Isometric Strength (最大等尺性筋力)

MCS: Maximum Concentric Strength (最大短縮性筋力)

RM: Repetition Maximam (例: 10RMとは10回繰り返すことができる重量)

MES: Maximum Eccentric Strength (最大伸張性筋力)

EMA: Eccentric Muscle Action (伸張性筋運動)

間後に上昇したが、その上昇量は少年が成年に比し有意に低かった。

概ね60歳以上の高齢者を対象とした文献は7編^{1,2,5,12,24,27,28})であり、成年と比較した文献は6編であった。以下にこの6編の概要を示す。Rothら²⁷⁾は非鍛練な成年と高齢の男性を対象に、レッグエクステンションを1日に55回(5~20RM 負荷回数×5セット)、それを週に3回、9週間実施させ、バイオプシーにて筋微細構造を観察している。両者とも9週間後にはトレーニング前より筋線維損傷率は有意に増加したが、両者間には差は認められなかった。一方、女性を対象にした同計画実験²⁸⁾では9週間後、高齢者に筋線維損傷率の有意な増加が認められたが、成年には変化がみられなかった。DedrickとClarkson⁵⁾(ClarksonとDedrick²⁾)は成年と高齢の女性を対象に、アームカールを用いて最大アイソメトリック筋力の115%負荷でエクセントリック運動(24回)を行わせた。弛緩時肘関節角度は成年が1日後までに低下し、その後は徐々に回復(増加)する傾向にあったのに対し、高齢者は2日後でも有意に低下したままであった²⁾。また、前腕屈筋力は成年が運動直後は低下したものの、その後は増加し3日後には運動前の値まで回復したのに対し、高齢者は2日後まで低下し続け5日経っても元の状態に回復していなかった⁵⁾。伸展痛^{2,5)}、屈

曲肘関節角度²⁾、CK 活性値²⁾の変化は両者間に差を認めなかったが、伸展痛については有意ではないものの、成年の痛みのピークが1日後であるのに対し、高齢者は2日後であった。また、両者ともに2回目の運動では筋肉痛の程度は軽く抑えられていた。手の反応時間と動作時間には両者間に差はみられなかったが、両者とも4日後に遅くなっていた⁵⁾。Manfrediら¹²⁾は非鍛練な成年と高齢の男性を対象に、自転車エルゴメータを用いて最大コンセントリック筋力の90,80,70%負荷でエクセントリック運動を45分(同順に各15分)を行わせた。CK 活性値は両者ともに5日後まで漸次上昇したが、両者間に傾向差はみられなかった。バイオプシーによる外側広筋損傷率は成年が5~50%であったのに対し、高齢者は90%以上もあり、高齢者で大きいことが明らかとなった。Ploutz-Snyderら²⁴⁾は非鍛練な成年と高齢の女性を対象に、コンセントリックおよびエクセントリックの最大筋力の75%負荷でレッグエクステンションを100回(10回×10セット)を行わせた。高齢者は成年に比し、最大筋力(コンセントリックとエクセントリック)低下率が有意に高く、T₂緩和時間が延長する(筋損傷が大きい)ことを認めている。

2. 性の違い

性の違いによる筋肉痛と筋損傷を表3に示した。以下に6編^{4,11,25,26,29,33})の概要を示す。対象年齢

表3 性の違いによる筋肉痛と筋損傷

著者	被験者	負荷方法	筋肉痛の程度	筋損傷の程度
MacIntyreら (2000)	非鍛練男性12名(21-29歳) 非鍛練女性10名(19-33歳)	右大腿四頭筋 最大EMA, 300回, 膝角度35°→95°(速度:30°/秒)	男女とも直後~24時間後で痛みが増大(p<0.01, vs. 前)。ただし、性差はなし。	好中球集積に伴う筋炎症領域:2時間後、女性が大(p<0.05, vs. 男性)。筋トルク:直後~24時間後で低下(p<0.01, vs. 前)。ただし、性差はなし(体格補正後)。
Stupkaら (2000)	日頃、筋肉運動していない者 男性8名(22.8±2.4歳) 女性8名(22.1±2.0歳)	レッグプレス(大腿四頭筋): MCSの120%の負荷でEMAを12回,3セット レッグエクステンション(大腿四頭筋):EMAを12回,9セット	未測定	CKは男女とも24時間後、6日後に上昇。ただし、性差はなし。 好中球数:男性は2日後に増加(p<0.05, vs. 前)、女性は2日後に減少(p<0.05, vs. 前)。 筋線維の2日後の炎症度は男性が高い(p<0.05, vs. 女性)。
Danneckerら (2003)	非鍛練な男性32名と女性35名 (男女の合計:21±5.6歳)	アームカール(上腕屈筋群:非利き腕)MCSの80%負荷を10セット(150回)、あるいは疲労困憊まで	VAS法による48時間後の痛み:女性(p<0.01, vs. 男性)が軽め、圧痛計による48時間後の痛み:性差なし。	未測定
Rinardら (2000)	男性82名(24.7±5.1歳) 女性83名(24.8±4.9歳)	アームカール(上腕屈筋群)MISの負荷でEMAを70回(3秒負荷,12秒間休息)	痛み(動作時痛および触診痛)は男女とも32~48時間後にピーク。ただし、性差はなし。	筋力低下率:女性は直後で高値(p<0.01, vs. 男性)。 筋力回復率:女性は1~7日後で低値(p<0.01, vs. 男性)。 関節可動域:女性は3~7日後で低値(p<0.01, vs. 男性)。
SayersとClarkson (2001)	男性98名、女性94名 (男女の合計:25±0.4歳)	アームカール(上腕屈筋群:非利き腕)MISの負荷でEMAを50回(25回×2セット)	未測定	筋力は男女とも5.5日後(132時間後)に前値の67%程度にまで回復。 26日後には、ほとんどの者がほぼ前値に回復。ただし、性差はなし。
Poudevigneら (2002)	運動習慣を有する者 男性21名(21.9±2.6歳) 女性21名(20.8±1.0歳)	アームカール(上腕屈筋群)3通りの負荷(80%MCS負荷でEMA45回,100%MCS負荷でEMA36回,120%MCS負荷でEMA30回)	女性で軽い傾向あり(ただし、有意差はなし)	未測定

CK:CK活性値

MCS:Maximum Concentric Strength(最大短縮性筋力)

MIS:Maximum Isometric Strength(最大等尺性筋力)

EMA:Eccentric Muscle Action(伸張性筋運動)

の平均は6論文すべて20歳代であった。

MacIntyreら¹¹⁾は、大腿四頭筋(右脚)に対し最大負荷で300回のエクセントリック運動を実施させ、好中球(白血球の一種で、筋線維の炎症で高値を示すとされる)の蓄積領域(炎症組織領域、関心領域:ROI)を比較した。2時間後および4時間後に、トレーニング脚(右脚)は非トレーニング脚(左脚)に比べ男女とも有意に大きかった。また、この2時間後の値は女性が男性に比し有意に大きかった。筋肉痛は男女とも、直後~24時間後まで増大したが、その傾向に性差はみられなかった。筋トルク(コンセントリックおよびエクセントリック)は、男女とも運動後に低下したが、体格補正した値においては性差は認められなかった。Stupkaら³³⁾はレッグプレス(12回×3セット)とレッグエクステンション(12回×9セット)を用いたエクセントリック運動を行わせた。CK活性値は男女とも24時間後、6日後に上昇したが、その上昇量に性差はみられなかった。好中球数は男性が2日後に増加したのに対し、女性は反対に減少した。外側広筋の2日後の炎症度は、男性が女性より有意に高かった。Dannekerら⁴⁾は最大コンセントリック筋力の80%負荷でアームカール(エクセントリック運動)を10セット(150回)、または疲労困憊に至るまで運動させた。VAS法による48時間後の痛みは女性が男性より有意に軽かった。しかし、圧痛計による痛みには性差はみられなかった。Rinardら²⁶⁾は82名の男性と83名の女性を対象に、最大アイソメトリック筋力負荷でのアームカール(エクセントリック運動)を70回実施させた。動作時痛および触診痛は男女ともに32時間後にピークを示したが、性差は認められなかった。運動直後の最大アイソメトリック筋力は運動前より30~40%減少したが、その低下率は女性が男性に比

し有意に高かった。また、その後の回復率も女性が有意に低いままであった。関節可動域は運動後に低下する傾向にあり、男性は2日後に、女性は3日後に最も低値を示した。その後は男女とも漸次回復したが、3~7日後では女性が男性より有意に低かった。SayersとClarkson²⁹⁾は、最大アイソメトリック筋力負荷でのアームカール(エクセントリック運動)を50回(25回×2セット)行わせた。最大アイソメトリック筋力は男女とも運動直後、36時間後に運動前の60%程度までは低下した。その後、5.5日後(132時間後)には67%程度にまで回復し、26日後にはほとんどの者が運動前値まで回復した。しかし、その傾向に性差はみられなかった。Poudevigneら²⁵⁾は、最大コンセントリック筋力の80%(45回)、100%(36回)、120%(30回)の3通りの負荷によるアームカール(エクセントリック運動)を行わせた。筋肉痛は120%負荷群でより強く現れた。また、すべての負荷法において女性が男性に比し軽い傾向がみられたが、有意な差ではなかった。

3. トレーニング経験の違い

トレーニング経験の違いによる筋肉痛と筋損傷を表4に示した。以下に3編^{6,32,34)}の概要を示す。

Staronら³²⁾は、鍛練者と非鍛練者の男女を対象に下肢のトレーニング(レッグプレス、スクワット、レッグエクステンション)を週2回、8週間実施させ、バイオプシーにて筋微細構造を観察した。鍛練者は非鍛練者に比し、筋線維損傷率が4倍程度高かった。しかし、CK活性値の変化には両者間に差はみられなかった。Vincent HKとVincent KR³⁴⁾は、鍛練者(少なくとも3年以上、定期的にスクワットやレッグプレスを行っている者)と非鍛練者(過去3年間はレジスタンストレーニングを行っていない者)を対象に、下肢筋群の運動(伸展動作と屈曲

表4 トレーニング経験の違いによる筋肉痛と筋損傷

著者	被験者	負荷方法	筋肉痛の程度	筋損傷の程度
Staronら (1992)	鍛練男性13名(23.5±3.2歳) 鍛練女性8名(20.6±1.5歳) 非鍛練男性7名(20.7±1.4歳) 非鍛練女性5名(20.6±1.6歳)	レッグプレス、スクワット、レッグエクステンション(大腿四頭筋) 3種目をすべて週2日(6~8回/日と10~12回/日)、8週間実施	未測定	筋線維損傷率は鍛練者が4倍高い。 CKは両者間に差なし。
Vincent HKと Vincent KR (1997)	鍛練男性10名(23.5±2.4歳) 非鍛練男性10名(18.2±1.3歳)	下肢筋群の運動8種類を2日間で実施。1日目:伸展運動(スクワット、レッグプレス、レッグエクステンション、ランジ) 2日目:屈曲運動(ライニングレッグカール、スタンディングレッグカール、スティブレッグデッドリフト)、カーフプレス。8種目すべて1セットは12RM負荷回数。鍛練者(合計28セット)、非鍛練者(合計26セット)	痛み(VAS法)は両者間に差なし。	CKは2~5日後に非鍛練者が高値(p<0.01, vs. 鍛練者) 関節可動域は両者とも1~2日後で低下。ただし、両者間に差なし。 周径測は両者とも大腿圍(中央部)、下腿圍が運動直後に増加。ただし、両者間に差なし。 筋力は両者とも運動後に低下した。ただし、両者間に差なし。
Dolezalら (2000)	鍛練男性9名(20.9±2.5歳) 非鍛練男性9名(20.6±1.8歳)	レッグプレス(大腿四頭筋) 6RM負荷回数×8セット	両者とも48時間後に痛みがピーク。48時間後の痛みは非鍛練者が強い(p<0.05, vs. 鍛練者)	CK:24時間後と48時間後に非鍛練者が高値(p<0.05, vs. 鍛練者)

動作) 8種類を2日間にわたり実施させた。動作時痛および関節可動域, 周径囲, 筋力には差はみられなかったが, CK 活性値は2~5日後に非鍛練者が鍛練者より有意に高値を示した。Dolezalら⁶⁾は, 鍛練者(レジスタンストレーニングを週に2回以上, 少なくとも2年以上継続)と非鍛練者に対し, 6RM 負荷回数によるレッグプレスで8セット行わせた。両者とも48時間後に痛みがピークとなったが, その痛みは非鍛練者が鍛練者に比し有意に強かった。CK 活性値は両者とも24時間後, 48時間後に上昇したが, それらの値は非鍛練者が鍛練者に比し有意に高値であった。

総 括

これまでに示した実験ではプロトコール(運動様式や測定項目など)が一樣ではない。そのため, 年齢, 性, トレーニング経験と, 筋肉痛, 筋損傷の関係を結論づけるには至らないが, 少年は成年より筋肉痛や筋損傷の程度が軽く, また高齢者は筋損傷の程度が大きい可能性が考えられた。また性の観点からは, 女性の筋肉痛が軽い可能性も否定できないが, 現時点では, 筋肉痛, 筋損傷とも男女の差はないとするのが妥当であろう。トレーニング経験については, 筋肉痛, 筋損傷ともに一定の見解はみられなかった。これには, トレーニング経験の定義の問題が関係していると思われた。今後さらなる研究が期待される。

文 献

- 1) Baldwin AC, Stevenson SW and Dudley GA: Nonsteroidal anti-inflammatory therapy after eccentric exercise in healthy older individuals. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, **56**(8), M510-513, 2001.
- 2) Clarkson PM and Dedrick ME: Exercise-induced muscle damage, repair, and adaptation in old and young subjects. *The Journals of Gerontology*, **43**(4), M91-96, 1988.
- 3) Cleak MJ and Eston RG: Muscle soreness, swelling, stiffness and strength loss after intense eccentric. *British Journal of Sports Medicine*, **26**(4), 267-272, 1992.
- 4) Dannecker EA, Koltyn KF, Riley JL^{3rd} and Robinson ME: Sex differences in delayed onset muscle soreness. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, **43**(1), 78-84, 2003.
- 5) Dedrick ME and Clarkson PM: The effects of eccentric exercise on motor performance in young and older women. *European Journal of Applied Physiology*, **60**(3), 183-186, 1990.
- 6) Dolezal BA, Potteiger JA, Jacobsen DJ and Benedict SH: Muscle damage and resting metabolic rate after acute resistance exercise with an eccentric load. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **32**(7), 1202-1207, 2000.
- 7) Duarte JA, Magalhaes JF, Monteiro L, Almeida-Dias A, Soares JM and Appell HJ: Exercise-induced signs of muscle overuse in children. *International Journal of Sports Medicine*, **20**, 103-108, 1999.
- 8) Friden J, Seger J and Ekblom B: Sublethal muscle fibre injuries after high-tension anaerobic exercise. *European Journal of Applied Physiology*, **57**, 360-368, 1988.
- 9) Howell JN, Chila AG, Ford G, David D and Gates T: An electromyographic study of elbow motion during postexercise muscle soreness. *Journal of Applied Physiology*, **58**(5), 1713-1718, 1985.
- 10) Lin J-G and Yang S-H: Effects of acupuncture on exercise-induced muscle soreness and serum creatine kinase activity. *American Journal of Chinese Medicine*, **27**(3-4), 299-305, 1999.
- 11) MacIntyre DL, Reid WD, Lyster DM and McKenzie DC: Different effects of strenuous eccentric exercise on the accumulation of neutrophils in muscle women and men. *European Journal of Applied Physiology*, **81**(1-2), 47-53, 2000.
- 12) Manfredi TG, Fielding RA, O'Reilly KP, Meredith CN, Lee HY and Evans WJ: Plasma creatine kinase activity and exercise-induced muscle damage in older men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **23**(9), 1028-1034, 1991.
- 13) McHugh MP, Connolly DA, Eston RG, Kremenec IJ, Nicholas SJ and Gleim GW: The role of passive muscle stiffness in symptoms of exercise-induced muscle damage. *American Journal of Sports Medicine*, **27**(5), 594-599, 1999.

- 14) 野坂和則：筋肉痛のメカニズム。福永哲夫，筋の科学事典，朝倉書店，東京，445-471，2002。
- 15) Nosaka K and Clarkson PM：Variability in serum creatine kinase response after eccentric exercise of the elbow flexors. *International Journal of Sports Medicine*, **17**(2), 120-127, 1996。
- 16) Nosaka K and Kuramata T：Muscle soreness and serum enzyme activity following consecutive drop jumps. *Journal of Sports Science*, **9**, 213-220, 1991。
- 17) Nosaka K, Newton M and Sacco P：Responses of human elbow flexor muscles to electrically stimulated forced lengthening exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, **174**, 137-145, 2002。
- 18) Nosaka K, Newton M and Sacco P：Delayed-onset muscle soreness does not reflect the magnitude of eccentric exercise-induced muscle damage. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, **12**, 337-346, 2002。
- 19) Nosaka K and Newton M：Difference in the magnitude of muscle damage between maximal and submaximal eccentric loading. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **16**(2), 202-208, 2002。
- 20) Nosaka K, Newton M and Sacco P：Muscle damage and soreness after endurance exercise of the elbow flexors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **34**(6), 920-927, 2002。
- 21) Nosaka K and Sakamoto K：Effect of elbow angle on the magnitude of muscle damage to the elbow flexors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **33**(1), 22-29, 2001。
- 22) Nosaka K, Sakamoto K, Newton M and Sacco P：How long does the protective effect on eccentric exercise-induced muscle damage last? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **33**(9), 1490-1495, 2001。
- 23) Nosaka K, Sakamoto K, Newton M and Sacco P：Influence of pre-exercise muscle temperature on responses to eccentric exercise. *Journal of Athletic Training*, **39**(2), 132-137, 2004。
- 24) Ploutz-Snyder LL, Giamis EL, Formikell M and Rosenbaum AE：Resistance training reduces susceptibility to eccentric exercise-induced muscle dysfunction in older women. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological sciences and medical sciences*, **56**(8), B384-390, 2001。
- 25) Poudevigne MS, O'Connor PJ and Pasley JD：Lack of both sex difference of resting blood pressure on muscle pain intensity. *The Clinical Journal of Pain*, **18**(6), 386-393, 2002。
- 26) Rinard J, Clarkson PM, Smith LL and Grossman M：Response of males and females to high-force eccentric exercise. *Journal of Sports Science*, **18**(4), 229-236, 2000。
- 27) Roth SM, Martel GF, Ivey FM, Lemmer JT, Tracy BL, Hurlbut DE, Metter EJ, Hurley BF and Rogers MA：Ultrastructural muscle damage in young vs. older men after high-volume, heavy-resistance strength training. *Journal of Applied Physiology*, **86**(6), 1833-1840, 1999。
- 28) Roth SM, Martel GF, Ivey FM, Lemmer JT, Metter EJ, Hurley BF and Rogers MA：High-volume, heavy-resistance strength training and muscle damage in young and older women. *Journal of Applied Physiology*, **88**, 1112-1118, 2000。
- 29) Sayers SP and Clarkson PM：Force recovery after eccentric exercise in males and females. *European Journal of Applied Physiology*, **84**, 122-126, 2001。
- 30) Schwane JA, Johnson SR, Vandenakker CB and Armstrong RB：Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after downhill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **15**, 51-56, 1983。
- 31) Soares JMC, Mota P, Duarte JA and Appell HJ：Children are less susceptible to exercise-induced muscle damage than adults：A preliminary investigation. *Ped. Exercise Science*, **8**, 361-367, 1996。
- 32) Staron RS, Hikida RS, Murray TF, Nelson MM, Johnson P and Hagerman F：Assessment of skeletal muscle damage and in successive biopsies from strength-trained and untrained men and women. *European Journal of Applied Physiology*, **65**, 258-264, 1992。
- 33) Stupka N, Lowther S, Chorneyko K, Bourgeois JM, Hogben C and Tarnopolsky MA：Gender differences in muscle inflammation after eccentric exercise. *Journal of Applied Physiology*, **89**(6), 2325-2332, 2000。
- 34) Vincent HK and Vincent KR：The effect of training status on the serum creatine kinase response, soreness, and muscle function following resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine*, **18**(6), 431-437, 1997。

- 35) Warren GL , Lowe DA and Armstrong RB : Measurement tools used in the study of eccentric contraction-induced injury . *Sports Medicine* , **27** (1) , 43-59 , 1999 .
- 36) Webber LM , Byrnes WC , Rowland TW and Foster VL : Serum creatine kinase activity and delayed onset muscle soreness in prepubescent children : A preliminary study . *Ped . Exercise Science* , **1** , 351-359 , 1989 .
- 37) Yackzan L , Adams C and Francis KT : The effects of ice massage on delayed muscle soreness . *American Journal of Sports Medicine* , **12** (2) , 159-165 , 1984 .

(平成18年12月4日受理)

A Summary of The Characteristic Symptoms in Delayed Onset Muscle Soreness and Exercise-Induced Muscle Damage

Tomiaki KAWAOKA, Sho ONODERA and Shinpei TAKUMA

(Accepted Dec. 4, 2006)

Key words : delayed onset muscle soreness, exercise-induced muscle damage, subjects, measurement

Correspondence to : Tomiaki KAWAOKA Faculty of Sports Trainer, Human Academy
Sendai, 980-6114, Japan
E-Mail: tommy-adams@mail.tains.tohoku.ac.jp
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.16, No.2, 2006 365-372)