

運動習慣と加齢による遅発性筋痛の 発生パターンに関する磁気共鳴画像による検討

† 片山憲史

明治鍼灸大学 健康鍼灸医学教室

要旨：スポーツ後の遅発性筋痛（以下DOMS：delayed onset muscle soreness）はよく遭遇する症状であり、トレーニングなどの阻害因子となるので有効な対策が望まれている。しかし、DOMSの発生機序やその特性については、いまだ明らかではない。そこで運動習慣の有無および加齢によるDOMSの発生パターンについて客観的・定量的に検討するため、運動機能評価装置を用いて被験者にDOMSを起こし、MRIによる運動前後の緩和時間と自覚症状を経時的に測定した。

対象は20～48歳の被験者70名を運動習慣をもとに非運動群40名と運動群30名に分けた。DOMSを来す負荷として大腿四頭筋部の伸張性収縮運動を行った。MRIによる大腿部のT1、T2計算画像は安静時および負荷後より経時的に測定し、同時に動作時痛を6段階に評価した。

緩和時間は運動負荷直後より徐々に延長し、非運動群では48時間後に、運動群では24時間後にピークに達した（ $p<0.05$ ）。その際、画像は中間広筋部に選択的に高信号領域を示した。これらの変化は運動負荷後約120～168時間で安静時の値に戻った。また非運動群において緩和時間延長のピークの時間と年齢の関係は、正の相関（T1： $r=0.79$ 、T2： $r=0.81$ 、 $p<0.01$ ）が認められた。さらに緩和時間の変化と被験者の主観的な動作時痛の変化はよく一致した。

以上の結果より、これまで主観的にとらえられていたDOMSをMRIにて定量的に評価することが可能であった。また運動群は非運動群と比較し、DOMSの発生のピークと消退が早く、さらにDOMSは加齢により発生のピークが遅延することが明らかになった。

I. はじめに

近年、健康増進と関わってスポーツ愛好者が増加し、幼児期から高齢者まで幅広い年齢層でスポーツが愛好されている。しかし、過剰な練習や誤ったトレーニングによるスポーツ傷害が増加し、問題となってきている。それだけにコンディションの調整が、以前に増して重要視されるようになってきた。

このような背景で運動後の筋肉疲労や筋痛への対処あるいはコンディショニングにストレッチングをはじめとした様々な対処法が行われているが、鍼治療も有効な方法として用いられるようになってきた。特に運動後に生じる筋肉痛、すなわち遅発性筋痛（delayed onset muscle soreness：DOMS）に対しては一定の効果があることが報告されている^{1),2)}。

遅発性筋痛とは、スポーツ活動や不慣れた運動を行った後、1日または2日遅れて自覚する筋肉痛

をいう。遅発性筋痛はNewhamら³⁾によると骨格筋の伸張性収縮運動（遠心性収縮運動：eccentric exercise）によって起こりやすく、その機序として不慣れた伸張性収縮運動により筋組織の破壊が起こるとされ、動物実験ではArmstrongが1984年に⁴⁾、ヒトにおいてはFridenらが1983年に報告している⁵⁾。この遅発性筋痛は日常運動習慣のない者がスポーツ活動を行うと特に起こりやすく、また加齢により疼痛の発生のピークが遅延する現象をよく経験する。特にスポーツ選手においては、パフォーマンスの向上を得るために筋力増強の効率的なトレーニング様式のひとつとして伸張性収縮運動を行うが、その際の遅発性筋痛予防や筋疲労対策は重要な課題である。しかしながら遅発性筋痛を客観的・定量的に測定する方法は確立されていない。また、そのメカニズムについても充分には明らかにされてはいない。特にDOMSに対する鍼治療を含めた様々な対策をより効果的に行

平成16年10月1日受付、平成16年10月26日受理

Key Words：遅発性筋痛 Delayed onset muscle soreness：DOMS、伸張性収縮運動（遠心性収縮運動）Eccentric exercise、磁気共鳴画像（MRI）Magnetic resonance imaging：MRI、緩和時間 Relaxation time、加齢 aging

† 連絡先：〒629-0392 京都府船井郡日吉町保野田ヒノ谷6

Tel：0771-72-1181(内線326) Fax：0771-72-0394

明治鍼灸大学 健康鍼灸医学教室

e-mail:k_katayama@muom.meiji-u.ac.jp

う上で、DOMSの特性について運動習慣の有無と加齢による遅発性筋痛の発生パターンについて検討することは、重要である。

そこでDOMSの運動習慣の有無と加齢による遅発性筋痛の発生パターンについて客観的・定量的に検討するために、遅発性筋痛モデルを用いて検討した。遅発性筋痛のモデルとして、運動機能評価装置を使用して運動負荷定量下で被験者の大腿四頭筋に伸張性収縮運動による遅発性筋痛を起し、運動負荷前後のプロトン磁気共鳴画像法(1H-MRI:以下MRI)によるT1、T2緩和時間を経時的に測定し、自覚症状の変化と併せて分析した。

II. 対象と方法

1. 対象

健常成人男子70名(20~48歳、平均28歳、SD±7.3歳)の被験者を対象とした。その内、最近1年間以上継続的なスポーツ活動を行っていない日常運動習慣のない被験者を非運動群(40名:20~48歳、平均29歳、SD±7.6歳)とし、体育系のクラブやサークル活動または自己トレーニング等を週3回以上継続している被験者を運動群(30名:20~44歳、平均27歳、SD±6.6歳)とした。スポーツ活動の種目ではサッカー、バレーボール、バスケットボール、バドミントン、陸上競技等であり、その基礎練習としてはランニング、エアロバイク、ウエイトトレーニング等がよく行われていた。また非運動群、運動群ともに実験の1週間前から最終のMRI測定日まで日常生活以外の特別なトレーニングや運動、ストレッチ、温熱療法、解熱剤、消炎・鎮痛剤の服用、パップ剤の貼付、マッサージ等を行わないように指示した。さらに運動負荷を行った実験初日のみ入浴を禁止した。

なお、本研究は明治鍼灸大学研究委員会(現研究倫理委員会)の承認を得、ヘルシンキ宣言の基本精神を遵守し、すべての被験者には研究の主旨と内容、特に予測される危険性と被験者の自由意志にて研究から随時離脱できる旨等について十分に説明し、同意を得た後、実験を開始した。

2. MRI法による画像と緩和期間の測定

装置は臨床用1.5テスラのMRI/S(Gyrosan S-15, Phillips社製)を用いた。MRIによる測定は

以下のパラメーターを用いた。スピンエコー法(spin echo:以下SE)は、TR 766 msec/TE 30, 60, 90, 120 msec、インバージョンリカバリー法(inversion recovery:以下IR)は、TR 2266/TI 350/TE 30 msecのパルス系列を使用し、256×256のマトリックスにて測定領域を45cmとした。測定用コイルは体幹部用のbody coilを用い、膝関節裂隙部より15cm近位における両側の大腿横断面のSE像、IR像、T1・T2計算画像を得た。

3. 運動負荷の方法

運動負荷は運動機能評価・訓練装置(Myoret RZ-450, 川崎重工製)を用いて行った。被験者は椅子に坐り、大腿部をベルトで固定した後、膝関節屈曲80度から伸展-20度までの60度の可動域において、120度/秒の角速度で左側の膝関節伸展運動(大腿四頭筋部の伸張性収縮運動:遅発性筋痛を来しやすいとされている運動様式)を行った³⁾。伸張性収縮運動を運動負荷前にあらかじめ各被験者の大腿四頭筋のピークトルクを測定し、装置の負荷に抗しながら各々のピークトルクの80%の負荷にて3秒ごとに1回、合計100回の膝関節伸展の伸張性収縮運動を1セットとし、各々のセット間に約2分間の休息をとり、8セットを連続して行わせた(図1)。

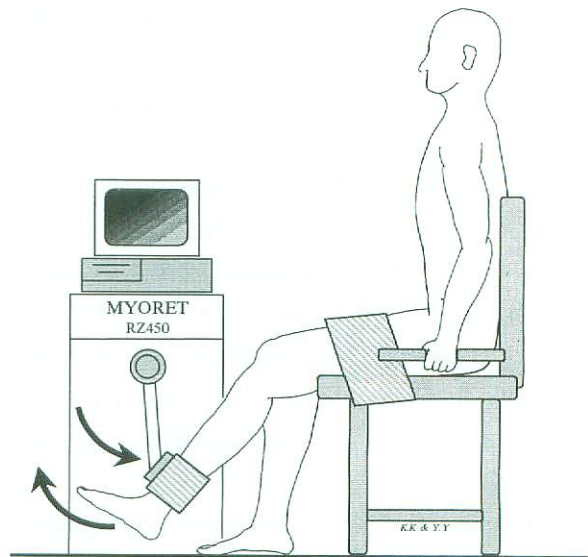


図1 運動機能評価・訓練装置を用いた運動負荷の方法

DOMSの発生は、運動機能評価・訓練装置を用いて行った。被験者は椅子に坐り、大腿部をベルトで固定した後、膝関節屈曲80度から伸展-20度までの60度の可動域において、120度/秒の角速度で左側の膝関節の伸展運動(大腿四頭筋部の伸張性収縮運動)を行った。

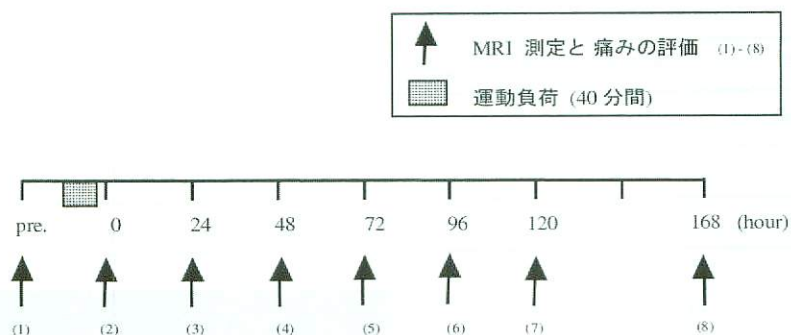


図2 MRI測定と痛みの評価時期

運動負荷直前に安静時の測定を行い、合計40分間の運動負荷直後から24時間ごとに経時的に合計8回（0、24、48、72、96、120、168時間後）のMRI測定を行った。またMRI測定と同時にDOMSに対する痛みの評価も行った。

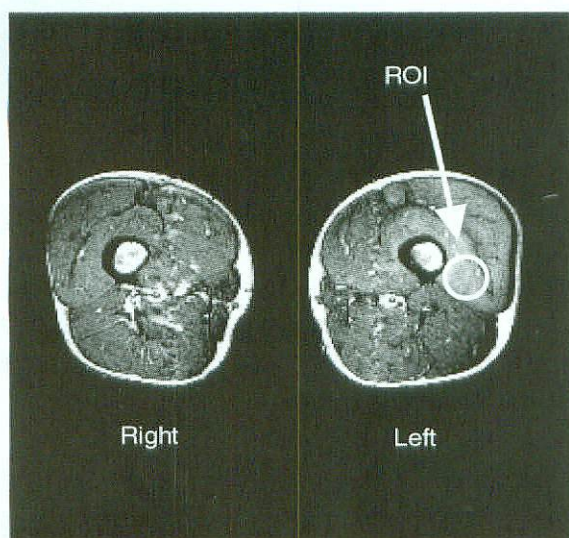


図3 MRIによる測定部位と画像の変化

膝関節裂隙部から15cm近位における運動負荷48時間後の両側大腿横断面のIR像を示す。各時期の緩和時間値は、図のホワイトサークルに示すように中間広筋部のROI (region of interest: 関心領域) から算出した。

左が膝関節伸展のeccentricな負荷を行った側で、膝関節伸筋群である大腿四頭筋部を中心にhigh intensityが認められた。

4. MRIの測定時期と痛みの評価

運動負荷直前に安静時の測定を行い、合計40分間の前述の運動負荷直後から24時間ごとに経時的に合計8回（0、24、48、72、96、120、168時間後）のMRI測定を行った（図2）。各時期の緩和時間値は、図3に示すようにMRIのT1、T2計算画像における中間広筋部のROI (region of interest :

関心領域) から算出した。また、MRIから得られたこれらの情報以外に、遅発性筋痛の程度として、立位における膝関節屈伸運動（スクワット）を3回行わせ、MRI測定の各時期と同時に評価し、これを動作時痛の程度とした。痛みの評価として一般に工藤⁶⁾や Dundes⁷⁾の提言した5段階の評価が臨床評価の尺度として良く用いられるが、本研究においては、予備試験を行い、筋痛により膝関節屈伸運動が不能になった被験者もみられたので測定不可の項目を追加し、0から5までの6段階評価（0:zero; なし, 1:slight; 軽度, 2:moderate: 中等度, 3:severe:強い, 4:very severe:非常に強い, 5:not measurement:測定不可）にカテゴリー化したスコアを用い、画像の変化や緩和時間値との関係を検討した。

5. 結果の表記と統計解析の方法

すべての測定値は原則的に平均値±標準偏差 (mean±SD) で表記した。MRIから得たT1、T2緩和時間値、遅発性筋痛の痛みのスコアは、一元配置分散分析を行った後、多重比較検定としてBonferroni / Dunn 法にて検定を行い、運動負荷前の値と各測定時間値を比較した。非運動群と運動群間における緩和時間のピーク時間あるいは緩和時間のピーク値には2標本t検定を、非運動群と運動群間における年齢分布の差はMann-WhitneyのU検定を用いた。また、緩和時間値のピークにおける時間と年齢の関係および緩和時間

表1 MRI測定の実験者数

被験者の意志等により研究から離脱した12名を除き、最終的なMRI測定の実験者数は表に示すように非運動群31名、運動群27名の合計58名であった。また、年齢の分布は20歳代38名、30歳代12名、40歳代8名であった。

群	20歳代	30歳代	40歳代	合計
非運動群 (人)	18	8	5	n=31 (20-48 歳, mean=29歳, SD=7.8歳)
運動群 (人)	20	4	3	n=27 (20-44 歳, mean =27歳, SD=6.7歳)
合計 (人)	38	12	8	n=58 (20-48 歳, mean =28歳, SD=7.4歳)

値と痛みとの関係については、Pearsonの相関係数(r)を用いた。以上の統計学的手法より、危険率5%未満を有意差のあるものと判定した。なお、これらすべての統計学的解析には、コンピュータ統計解析用ソフト Stat View (ver. 4.5, Sas institute Japan) を用いた。

III. 結果

被験者の意志や測定経過中においてスポーツ活動を行ったり、感冒により解熱剤や消炎・鎮痛剤を服用したこと等により研究から離脱した12名を除き、最終的に表1に示すように非運動群31名(20~48歳、平均29歳、SD±7.8歳)、運動群27名(20~44歳、平均27歳、SD±6.7歳)の合計58名が検討対象となった。年齢差については両群間に有意な差がなかった。また、年齢の分布は20歳代38名(非運動群18名、運動群20名)、30歳代12名(非運動群8名、運動群4名)、40歳代8名(非運動群5名、運動群3名)であった。

1. 遅発性筋痛発生のパターン

(画像とT1, T2緩和時間, 遅発性筋痛の変化)

非運動群のIR画像の1例を示す(図4)。運動負荷直後に比較し48時間後では、大腿四頭筋部全体に高信号領域を示し、特にこの変化は矢印で示すように中間広筋部に顕著に現われた。しかし、この画像の変化は168時間後において消失した。

T1, T2計算画像からの緩和時間値、遅発性筋痛のスコアそれぞれの経時変化を示す(図5)。緩和時間値は、T1(図5 A)では非運動群の負荷直後(0時間)から96時間の間で、運動群の負荷後24時間から96時間の間で有意に延長し($p<0.001$)、T2(図5 B)では両群ともに負荷直後(0時間)から負荷後120時間の間で有意に延長した($p<0.001$, $p<0.005$)。T1では両群ともに負荷後1

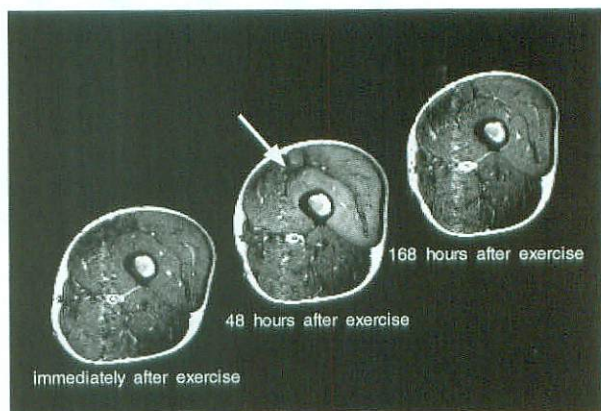


図4 MRIによる運動負荷前後の画像の変化

非運動群における運動負荷側(左側)のMRIを示す。左から、運動負荷直後、48時間後、さらに168時間(7日)後のIR像を示す。運動負荷直後に比較し48時間後では、大腿四頭筋部全体に高信号領域を示し、特にこの変化は矢印のように中間広筋部に顕著に現われた。この画像の変化は運動直後よりも48時間後の方がより大きく、運動負荷168時間後において消失した。

20時間で、T2では両群ともに負荷後168時間で安静時の値に戻った。また、非運動群では負荷後48時間後(T1=924.0 msec±33.7, T2=38.0 msec±2.5)にピークに達した。運動群では負荷後24時間後(T1=875.3 msec±18.3, T2=36.5 msec±1.8)から48時間後(T1=872.4 msec±21.2, T2=36.4 msec±2.0)にピークに達し、これらの24時間値と48時間値の間では有意な差がなかった。

遅発性筋痛の程度を動作時痛として現わしたグラフを図5 Cに示す。痛みはT1, T2値と同様に非運動群では負荷後48時間後(4.5±0.6)に、運動群では負荷後24時間(3.6±0.8)から48時間後(4.1±0.7)にピークに達し、この24時間値と48時間値の間では有意な差がなかった。非運動群と運動群間の分散分析を行った結果、T1値、T2値、痛みのスコアすべてにおいて、有意な差を認めた($p<0.001$)。

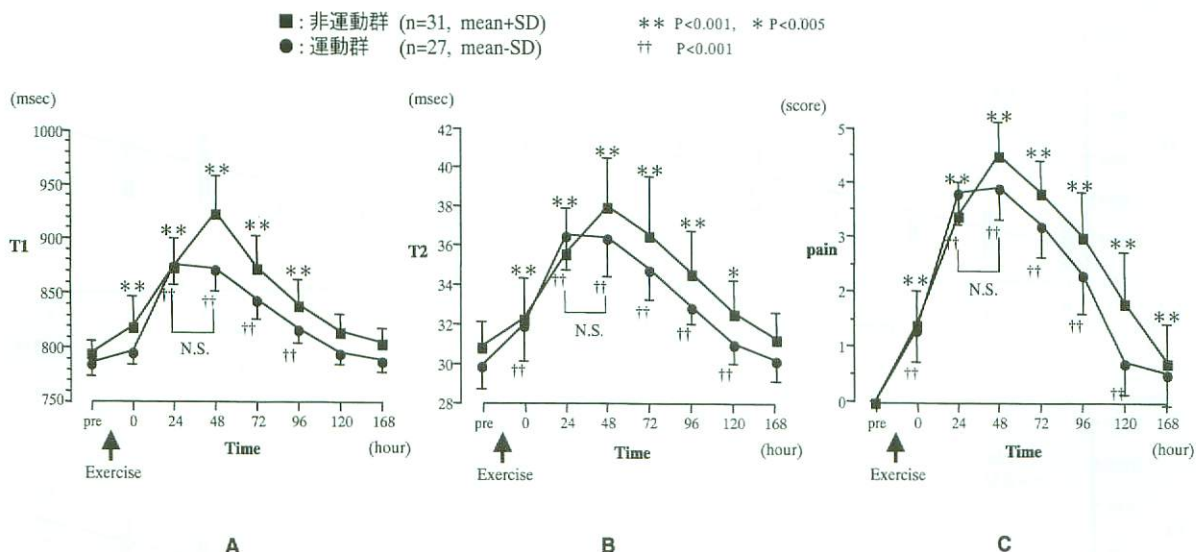


図5 非運動群と運動群におけるT1・T2値、筋痛スコアの経時変化

緩和時間値は、T1 (A) では非運動群の負荷直後 (0時間) から96時間の間で、運動群の負荷後24時間から96時間の間で有意に延長し、T2 (B) では両群ともに負荷直後から負荷後120時間の間で有意に延長した。T1では両群ともに負荷後120時間で、T2では両群ともに負荷後168時間で安静時の値に戻った。また、非運動群では負荷後48時間後にピークに達した。運動群では負荷後24時間後から48時間後にピークに達し、これらの24時間値と48時間値の間では有意な差がなかった。

遅発性筋痛の程度を動作時痛としてCに示す。痛みはT1、T2値と同様に非運動群では負荷後48時間後に、運動群では負荷後24時間から48時間後にピークに達し、この24時間値と48時間値の間では有意な差がなかった。非運動群と運動群間の分散分析を行った結果、T1値、T2値、痛みのスコアすべてにおいて、有意な差を認めた。

2. T1, T2緩和時間と遅発性筋痛との関係

緩和時間値と遅発性筋痛との回帰直線を図6に示す (A: 非運動群のT1値, B: 運動群のT1値, C: 非運動群のT2値, D: 運動群のT2値)。その結果、相関係数は、非運動群のT1値と痛みとは $r=0.81$ 、運動群のT1値と痛みとは $r=0.84$ 、非運動群のT2値と痛みとは $r=0.81$ 、運動群のT2値と痛みとは $r=0.88$ であり、緩和時間と痛みの間に高い正の相関を認めた。

3. T1, T2緩和時間と年齢との関係

T1緩和時間のピーク値と年齢との回帰直線を図7Aに、T2緩和時間のピーク値と年齢との回帰直線を図7Bに示す。非運動群ではT1 ($r=0.79$)、T2 ($r=0.81$) ともに正の高い相関を認めた。一方、運動群ではT1 ($r=0.52$)、T2 ($r=0.40$) ともに非運動群と比較し相関係数は低い値を示した。

IV. 考 察

1. 運動負荷による磁気共鳴画像の変化について

医学の分野において近年急速に発展してきた磁

気共鳴法は画像やスペクトルにより様々なかたちで臨床に実用化されている。特にMR画像は著しく向上し、日常臨床の画像診断法として広く活用されている。この磁気共鳴法を用いたヒトの骨格筋における研究はRossら⁸⁾が1981年に報告して以来、in vivo 磁気共鳴スペクトル法の発展により、主として筋疲労に関してはリン磁気共鳴スペクトル法を中心に数多く発表されている^{9), 10)}。

運動負荷により磁気共鳴画像が変化することは1988年にFlickensteinら¹¹⁾が、本那では1989年に阿武ら¹²⁾により最初に発表された。その際、変化した画像の高信号領域は、自由な水分子状態を描出し、結果として筋細胞外液の増加や浮腫を反映すると報告している。いずれも骨格筋の運動負荷による緩和時間の変化は負荷直後をピークとして、数十分オーダーで運動前の値に戻ることが述べられている。

そこで著者らは予備研究として、前腕屈筋群に定量的運動負荷¹³⁾を与え、筋疲労を発生させ、運動負荷前後の³¹P-MRS (リン磁気共鳴スペクトル) とMRIの変化について検討した。その結果、

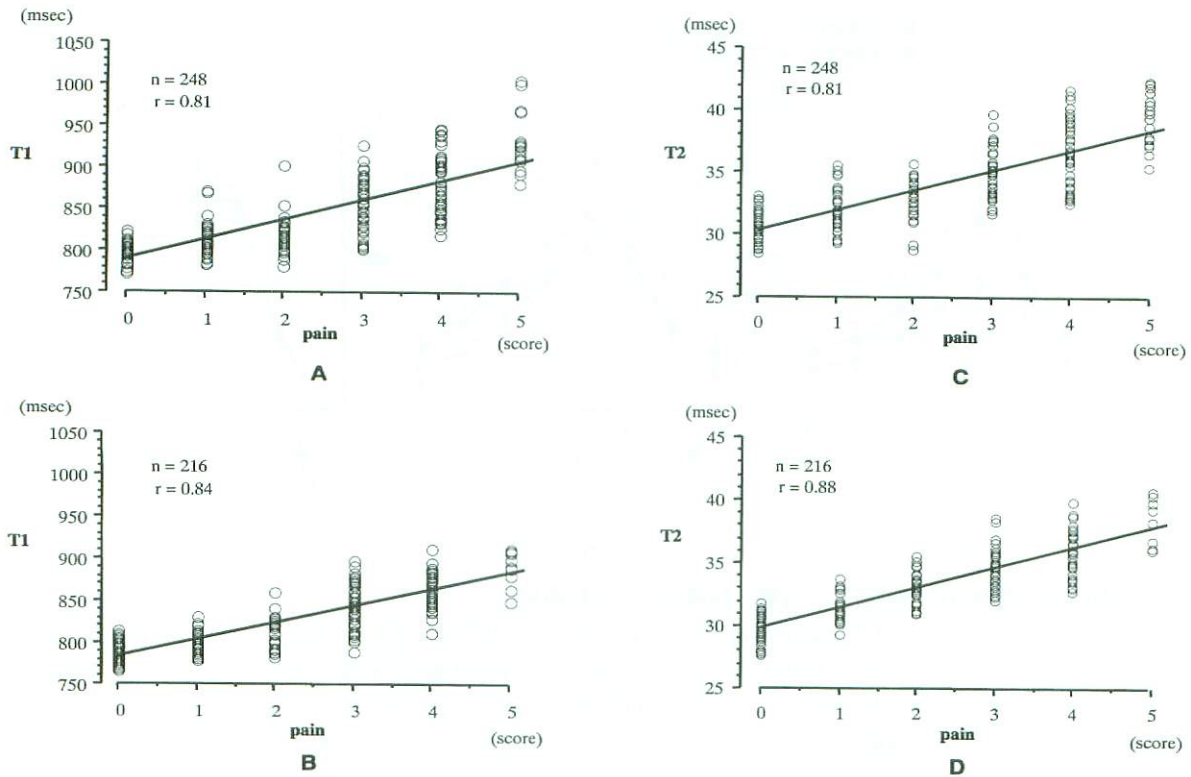


図6 T1, T2緩和時間と遅発性筋痛との関係

緩和時間値と遅発性筋痛との回帰直線を示す。その結果、相関係数から緩和時間値と痛みの高い正の相関を認めた。

A: 非運動群のT1値と痛み: $r=0.81$, B: 運動群のT1値と痛み: $r=0.84$

C: 非運動群のT2値と痛み: $r=0.81$, D: 運動群のT2値と痛み: $r=0.88$

約3分前後の比較的短時間で疲憊する嫌気性の等張性収縮負荷後の回復過程において、筋組織の水分子の状態変化が、リンエネルギー代謝の回復後も残存した^{14),15)}。その際、T1, T2緩和時間の延長は運動直後をピークとして約3時間で安静時レベルまで回復した。一方、運動機能評価訓練装置を用いた大腿四頭筋の伸張性収縮運動負荷や^{16),17)}、バドミントンによる伸張性収縮の負荷を2時間連続して行った後の前腕伸筋群では、運動直後から36時間後に緩和時間延長のピークを認めた¹⁾。

今回の結果では運動負荷による緩和時間と遅発性筋痛の変化は、IR画像では負荷直後に比較し、24時間から48時間経過後において大腿四頭筋部に明確な高信号領域を示し、168時間後に消失した(図4)。遅発性筋痛の変化も同様に24~48時間後に痛みがピークに達した(図5)。これらのことから、運動様式の違いにより緩和時間変化のパターンが異なる結果を示し、短時間における嫌気性の等張性収縮運動よりも長時間の伸張性収縮

運動の方が遅発性に筋痛を来しやすいことが明らかになった。

丹ら¹⁸⁾は脚伸展負荷装置を用いた大腿四頭筋の伸張性収縮運動で血清CPKは個人差が認められたものの、最大筋力の80%の運動負荷の方が30%に比較して著しく上昇し、遅発性筋痛の程度は80%での運動負荷後48時間後および72時間後において有意に上昇したと述べている。本研究ではこの報告を参考にピークトルクの80%の負荷で行った。また、筋の断裂や挫傷を起こさないように被験者への安全性を考慮し、膝関節の角度は屈曲80度から伸展-20度までの60度の範囲に設定し、負荷装置の角速度はすべての被験者が十分に反応可能な120度/秒で膝関節伸展運動による大腿四頭筋部の伸張性収縮を行った。

遅発性筋痛の評価には、熱感や腫脹、圧痛、動作時痛などの項目を測定する主観的な評価を行うのが一般的であるが、Smith¹⁹⁾や川喜田²⁰⁾は遅発性筋痛の感覚は筋収縮中に感覚神経の自由神経終

末が刺激され自覚するもので、静止・安静時には自覚し難いと述べている。そこで本研究において遅発性筋痛の程度として、立位における膝関節屈伸運動行わせ、動作時の痛みを6段階にカテゴリー化し、緩和時間と遅発性筋痛との関係を検討したところ非運動群、運動群の両群において、T1、T2のそれぞれに高い正の相関を認めた(図6)。この結果からT1、T2緩和時間値の変化と遅発性筋痛による被験者の主観的な動作時痛の変化のパターンは、非常に類似することが明らかになった。すなわち、これまで痛みは主観的な評価が中心であったが、遅発性筋痛における痛みの程度をMR画像や緩和時間値として視覚化し、客観的・定量的に評価することが可能であり、遅発性筋痛の程度を検討する上で、MRIは有効な手段の1つと成り得ると考える。従って遅発性筋痛に対する鍼治療の効果もT1、T2緩和時間値の変化から客観的に評価できると考える。

2. 運動習慣の有無と加齢による遅発性筋痛の発生パターンについて

緩和時間のピーク値と遅発性筋痛の程度(図6)は、高い相関(0.81~0.88)を示し、緩和時間のピーク値と年齢(図7)においても高い相関(0.79~0.81:非運動群)関係であった。これら2つの関係から、遅発性筋痛の程度は加齢に依存して強くなると考えた。特に非運動群では20歳代の青年

期より30歳代や40歳代の中年期の方が緩和時間のピーク値が上昇した。

一方、運動群では緩和時間のピーク値と年齢との相関は低く、日常、継続した運動を行うことで筋肥大や筋柔軟性を獲得し、運動負荷に対する耐性が強くなり、遅発性筋痛の予防や抑制に有効であることが推測できた。また、運動群は非運動群と比較し、遅発性筋痛の発生のピーク値が低く(図5-C)、この結果、減少率には差がないが、消退時期が短縮すると考えられた。

これらの機序について考察すると、骨格筋の伸張性収縮運動により筋線維の微小損傷をきたし、その修復過程において白血球が炎症部位へ遊走する。好中球は、遊離される分解酵素の1つであるブラジキニン等の発痛物質を産生し、さらに好中球やマクロファージは、プロスタグランジンE2(PGE2)やサイトカインを産生・放出して、発痛増強(痛覚過敏)に関与する。また、痛覚受容器の分布密度が高い筋膜におけるポリモーダル受容器等で感作がみられる。しかしながら加齢とともに筋周囲の微小血管分布密度が減少し、血液循環不全から白血球の集まりが低下する結果、発痛物質等の産生が遅延し、痛みの自覚も遅くなると考えた。

3. 遅発性筋痛の機序・病態について

遅発性筋痛の機序や病態の詳細については未だ

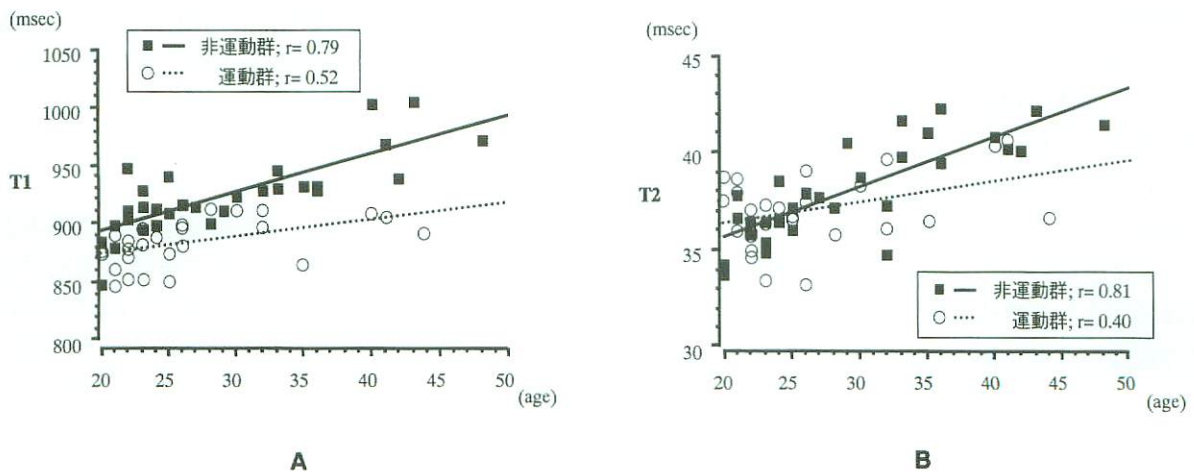


図7 T1, T2緩和時間と年齢との関係

緩和時間のピーク値と年齢との回帰直線を示す(T1:A, T2:B)。非運動群ではT1($r=0.79$)、T2($r=0.81$)ともに正の高い相関を認めたが、運動群ではT1($r=0.52$)、T2($r=0.40$)ともに非運動群と比較し相関係数は低い値を示した。

充分には明らかにされていないが、最近では、後述するように筋のZ帯における微細構造や筋細胞膜、および筋を取り巻く結合組織の微小損傷や炎症が言われている。Newhamら²¹⁾は運動負荷直後にわずかな範囲の筋線維の破壊がおり、Z帯の破壊がある場合には2~3日後に広範囲に広がり、回復するのに約10日間を要すると述べている。Fridenら⁵⁾やJonesら²²⁾は、遅筋線維より速筋線維に影響を及ぼすことを光学顕微鏡における横断面像で確認し、その回復は正常の状態までに10日間以上を要すると報告している。また、Clarksonら²³⁾は、遅発性筋痛にともない、血清クレアチンキナーゼ (CPK) 値が運動負荷から1日以降に有意に上昇したと述べている。また、日根野²⁴⁾は上腕屈筋群の伸張性収縮運動により負荷後、特に骨格筋の損傷を示す血清CPK-MMアイソザイム値が上昇し、さらに腫脹、熱感も有意に上昇したと述べている。

これらのことから、今回の遅発性筋痛を来すようなMRIの変化は (図5)、伸張性収縮運動による微小な筋損傷と炎症反応が発生要因と考えられた。また、負荷後120時間から168時間において正常な状態に回復したことは、病態学的な時間経過ともよく一致し、筋損傷や炎症説を支持する結果であった。

4. 本手法の応用について

非運動群ではDOMSの程度と年齢の間には高い相関を認め、加齢とともに痛みの程度が強くなったが、運動群ではDOMSの発生のピークと消退が早く、筋痛の程度も非運動群と比較して有意に低い値を示した。このことから日常、継続した運動を行うことがDOMSの予防に有効であることが推測できた。MRIは臨床診断のみならず、スポーツ医学をはじめとする幅広い分野に非侵襲的な評価法として期待できる。今後、治療効果の評価の観点から東洋医学分野への応用として鍼治療の効果について検討を進めたいと考えている。松熊ら²⁵⁾は、運動前に鍼施術を行うとオキシヘモグロビンの減少が抑制され、結果としてDOMSの²⁶⁾ 予防効果が期待できると述べている。また著者らは、レース前の長距離走者に円皮鍼を施術するとレース中の筋痛や筋疲労が緩和する効果を確認している。もちろん、ストレッチングやアイ

シング、ビタミン剤の効果の検討についても本手法を用いて客観的・定量的に検討できることから、この方面での研究が進展するものと思われる。さらに鍼治療とストレッチングやアイシング等、各種の遅発性筋痛対策との比較あるいはそれらの併用による効果についても検討を進めたい。

V. 結 語

膝伸展の伸張性収縮運動により大腿四頭筋部に遅発性筋痛を起こし、T1、T2緩和時間測定と立位膝関節屈伸時の疼痛の評価を行った。その結果、以下の事項が明らかになった。

1. 緩和時間の変化は非運動群では48時間後に、運動群では24時間から48時間後にピークに達し、MR画像では大腿四頭筋部のうち、特に中間広筋部に選択的に高信号領域を示した。
2. T1、T2計算画像からの緩和時間値の変化と被験者の筋痛の程度との間では、非運動群 ($r=0.81$)、運動群 ($r=0.88$) とともに高い正の相関が認められ、これまで主観的にとらえられていた遅発性筋痛をMRIによる緩和時間値にて定量的に評価することが可能であった。
3. 非運動群では遅発性筋痛の程度と年齢の間には高い相関を認め (T1: $r=0.79$, T2: $r=0.81$)、加齢により痛みの程度が強くなった。
4. 運動群では非運動群と比較し、遅発性筋痛の発生のピークと消退が早く、また、筋痛の程度も非運動群と比較して有意に ($p<0.001$) 低く、日常、継続した運動を行うことが遅発性筋痛の予防に有効であることが推測できた。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始御懇意な御指導と御校閲を賜りました明治鍼灸大学健康鍼灸医学教室の矢野 忠教授に深謝いたします。論文作成に際し、多大な御助言と御指導を賜りました同整形外科教室の勝見泰和教授ならびに同大学院の平澤泰介教授に深謝いたします。また、MRI測定等に関して懇切丁寧な御指導と研究の機会を与えて頂きました同生理学教室の西川弘恭教授、同脳神経外科学教室の田中忠蔵教授に感謝いたします。最後に長時間の運動負荷と多数のMRI測定に御協力頂いた被験者の方々に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 片山憲史, 越智秀樹, 池内隆治ら : 磁気共鳴法による遅発性筋痛の解析と鍼灸効作用の検討. 関西臨床スポーツ医・科学研究会誌, 4 : 71-73, 1994.
- 2) 寺田和史, 向井直樹, 宮本俊和ら : エキセントリック運動により生じた遅発性筋痛に対する鍼刺激の効果. 体力科学, 50(5) : 538-592, 2001.
- 3) Newham DJ, Mills KR, Quigley BM, et al : Pain and fatigue after concentric and eccentric muscle contractions. Clin Sci, 64(1) : 55-62, 1983.
- 4) Armstrong RB. Mechanisms of exercise induced delayed onset muscular soreness. Med Sci Sports Exercise, 16(6) : 529-538, 1984.
- 5) Friden J, Sjostrom M, Ekblom B : Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man. Int J Sport Med, 4(3) : 170-176, 1983.
- 6) 工藤義雄 : 臨床評価尺度作成上の問題点. 日本医事新報, 2612 : 28-34, 1974.
- 7) Dundes JW : Clinical evaluation of mild analgesics. Br J Clin Pharmacol, 10 : 329-334, 1980.
- 8) Ross BD, Radda GK, Gadian DG, et al : Examination of a case of suspected McArdles syndrome by ³¹P nuclear magnetic resonance. New Engl J Med, 304(22) : 1338-1342, 1981.
- 9) Shenton DW Jr, Heppenstall RB, Chance B, et al : Electrical stimulation of human muscle studied using ³¹P-nuclear magnetic resonance spectroscopy. J O R, 4(2) : 204-211, 1986.
- 10) Argov Z, Maris J, Damico L, et al : Continuous graded steady-state muscle work in rats studied by in vivo ³¹P-NMR. A P S, 63(4) : 1428-1433, 1987.
- 11) Fleckenstein JL, Canby RC, Parkey RW, et al : Acute effects of exercise on MR imaging of skeletal muscle in normal volunteers. A J R, 151(2) : 231-237, 1988.
- 12) 阿武 泉, 久野譜也, 新津 守 : 運動負荷による骨格筋 MR imaging の変化. 日磁医誌抄録集 : 363, 1989.
- 13) 片山憲史, 樋口敏宏, 田中忠蔵ら : ³¹P-MRSによるヒト骨格筋エネルギー代謝の観察. 日磁医誌, 9(3) : 161-168, 1989.
- 14) 片山憲史, 樋口敏宏, 田中忠蔵ら : MRI/Sを用いた鍼灸の科学的評価への試み. 全日本鍼灸学会雑誌, 40(3) : 271-283, 1990.
- 15) 片山憲史, 田中忠蔵, 池内隆治ら : 運動負荷における³¹P-MRSと¹H-MRIの関係. 全日本鍼灸学会雑誌, 41(2) : 254-257, 1991.
- 16) 片山憲史, 越智秀樹, 池内隆治ら : ヒト遅発性筋痛モデルの開発と¹H-MRIによる検討. 関西臨床スポーツ医・科学研究会誌, 2 : 75-77, 1992.
- 17) 片山憲史, 田中忠蔵, 西川弘恭ら : 筋疲労. 体力科学, 43 : 309-317, 1994.
- 18) 丹 信介, 杉浦崇夫, 皆川孝志 : 運動後の遅発性筋痛と血清CRPとの関係について. 体力科学, 38(6) : 263, 1989.
- 19) Smith LL : Acute inflammation : The underlying mechanism in delayed onset muscle soreness? Med Sci Sports and exerc, 23(5) : 542-551, 1991.
- 20) 川喜田健司 : 筋痛のメカニズム. 神経進歩, 42(3) : 475-482, 1998.
- 21) Newham DJ. : The consequences of eccentric contractions and their relationship to delayed onset muscle pain. Eur J Physiol, 57(3) : 353-359, 1986.
- 22) Jones DA, Newham DJ, Round JM, Tolfree SE. Experimental human muscle damage. J Physiol, 375 : 435-448, 1986.
- 23) Clarkson M, Nosaka K, Braun B : Muscle function after exercise-induced muscle damage and rapid adaptation. Med Sci Sports and Exerc, 24(5) : 512-520, 1992.
- 24) 日根野英則 : 上腕屈筋群における遅発性筋痛の血清生化学的検討. 明治鍼灸医学, 14 : 99-107, 1994.
- 25) 松熊秀明, 中村辰三 : 近赤外線分光法 (NIRS) による前腕部運動負荷時のヘモグロビン動態と鍼刺激. Health Sciences, 19(3) : 194-212, 2003.
- 26) 片山憲史, 井上基浩, 池内隆治ら : 長距離走者における筋痛・筋疲労に対する円皮鍼の影響. 関西臨床スポーツ医・科学研究会誌, 10 : 5-7, 2000.

Correlation Between the Pattern of Developing Delayed Onset Muscle Soreness and Exercise Habit or Aging on Magnetic Resonance Imaging

†KATAYAMA Kenji

*Department of Health Promoting Acupuncture and Moxibustion,
Meiji University of Oriental Medicine*

Abstract

Purpose : Delayed onset muscle soreness (DOMS) is frequently experienced after exercise. However, the etiology of DOMS has not yet been sufficiently clarified. Therefore, using motor function evaluation apparatus, we experimentally induced DOMS in subjects under an exercise load and measured the relaxation time on magnetic resonance imaging (MRI) at various time points before and after exercise. The present study investigated the correlation between the pattern of developing DOMS and age and the presence or absence of exercise habits. Changes in the relaxation time and subjective symptoms were used as indices for this evaluation.

Methods : Healthy adult subjects were classified into non-athletic and athletic groups based on their daily exercise habits. The non-athletic group consisted of 31 subjects, and the athletic group consisted of 27 subjects. Among these, 38 subjects were in their twenties, 12 were in their thirties and 8 were in their forties. MRI measurement site was established 15 cm proximal from fissural region of the knee joint, and computed SE, IR, T1 and T2 transversal MR images of the femoral region were obtained using a body coil. After performing MRI at rest, an eccentric exercise was performed using the quadriceps muscle of the thigh, since it is a site predisposed to the induction of DOMS. Using motor function evaluation apparatus, the peak torque of the exercise was previously determined in the respective subjects. Subsequently, using 80% of the peak torque of the exercise, 8 sets (100 times for 1 set) of exercise were performed. MR images were obtained at the baseline and serially after loading exercise (before exercise, immediately after starting exercise : 0, 24, 48, 72, 96, 120 and 168 hours after loading exercise). Simultaneously, pain on exertion (during flexion of the knee joints in the upright position) was evaluated and classified into 6 stages.

Results : The relaxation time gradually started to prolong immediately after starting exercise and reached a peak 48 hours after loading exercise in the non-athletic group and 24 hours after loading exercise in the athletic group ($p < 0.001$). High intensity areas were selectively observed on inversion recovery images obtained from the region of the quadriceps muscle of the thigh at the peak relaxation time, especially in the region of the intermediate great muscle. These changes were normalized to the resting levels between approximately 120 and 168 hours after loading exercise. Moreover, there was a positive correlation between the peak prolonged relaxation time and age (non-athletic group, T1 : $r = 0.79$, T2 : $r = 0.81$). Furthermore, changes in relaxation time were in good agreement with the development of subjective pain on exertion (non-athletic group ; T1 : $r = 0.81$, T2 : $r = 0.81$, athletic group ; T1 : $r = 0.84$, T2 : $r = 0.88$).

Conclusion : Previously, DOMS has been subjectively evaluated. In the present study, however, DOMS was quantitatively evaluated by MRI. These results indicated that the peak of developing DOMS and its subsidence appeared earlier in the athletic group than in the non-athletic group. Furthermore, it was clarified that the peak of developing DOMS was prolonged with aging.

Received on October 1, 2004 : Accepted on October 26, 2004

† To whom correspondence should be addressed.

Meiji University of Oriental Medicine, Hiyoshi-cho, Funaigun, Kyoto 629-0392, Japan