

資料

遅発性筋肉痛および運動誘発性筋損傷研究における 予防・対処法に関する文献的知見

川岡臣昭*¹ 小野寺昇*² 詫間晋平*³

緒 言

筋肉痛は、身体活動に伴い生じる現象の一つである。Hough¹⁾とLinとYang²⁾は、筋肉痛は急性と遅発性の2種類があると考えている。前者は運動中や直後に生じ、運動を中止すると消失する急性の痛みであり、後者はDOMS(Delayed Onset Muscle Soreness:遅発性筋肉痛)を表していると考えられる。DOMSは、運動8~24時間後に発現し、24~72時間後にピークとなり、3~10日程度で消失することが示されている^{3,4)}。また、DOMSに最も関係が深いと考えられるEIMD(Exercise-Induced Muscle Damage:運動誘発性筋損傷)は、筋力の低下³⁻⁵⁾、可動域の減少³⁻⁷⁾、周径囲の増大^{3-5,7)}、CK(Creatine Kinase:クレアチンキナーゼ活性値)などに代表される筋タンパクの放出の増大³⁻⁵⁾、MRIにおけるT2緩和時間の延長³⁾、超音波画像法における横断画像での筋厚とエコー輝度の増加などを伴うことが報告されている³⁻⁵⁾。加えて、エクセントリックを主体とした運動は、筋の超微細構造の変形や乱れなどの筋損傷をもたらす⁸⁻¹²⁾ことも明らかにされている。

DOMSは、痛みを伴うことから生体防御としての警告信号であると考えられ、必ずしも避けなければならないとは断定できない。しかしながら、痛みは、日常生活活動や競技スポーツにおいてはパフォーマンスへ悪影響をもたらす可能性が高い¹³⁾。また、DOMSは、程度が激しければさらに傷害への発展にもなりうる可能性を持つことや運動参加への意欲低下²⁾も考えられ、予防や対処法の検討が必要なものと考えられる。これまで多くの研究がDOMSおよびEIMDの予防や対処法に取り組んでいるが、これらの結果や知見は混同されており、広範囲にわたり整理された文献は少ない。

それゆえ、本研究は、DOMS(主観的スケール)、

筋機能(筋力、可動域、および周径囲など)、血液中の筋損傷指標の観点から、予防および対処法に関するできるだけ多くの文献的知見の結果を検討することを目的とした。

方 法

1. 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。

2. 文献の分析

文献の客観的な分析研究は、メタアナリシスを行う方法が一般的であると考えられるが、本研究はメタアナリシスを行うことが不適切であると考えた。その要因は、運動種目(主働筋)、種類等が同様ではなく、予防や対処する様式も同様でないことが要因であった。同じ治療方法という観点からは同様であると判断できることも考えられるが、このことはメタアナリシスの本質を欠くことになると考えられる。さらに、DOMSは評価方法の一つとして捉えられているにすぎないことが多く、そのグラフやデータの提示がほとんどないこと、同じDOMSの評価でもそれぞれ手段や方法が異なることも要因の一つであった。

文献的知見

予防および対処法に使用された様式とその文献数を図1に示した。

*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-kawoaka@mail.tains.tohoku.ac.jp

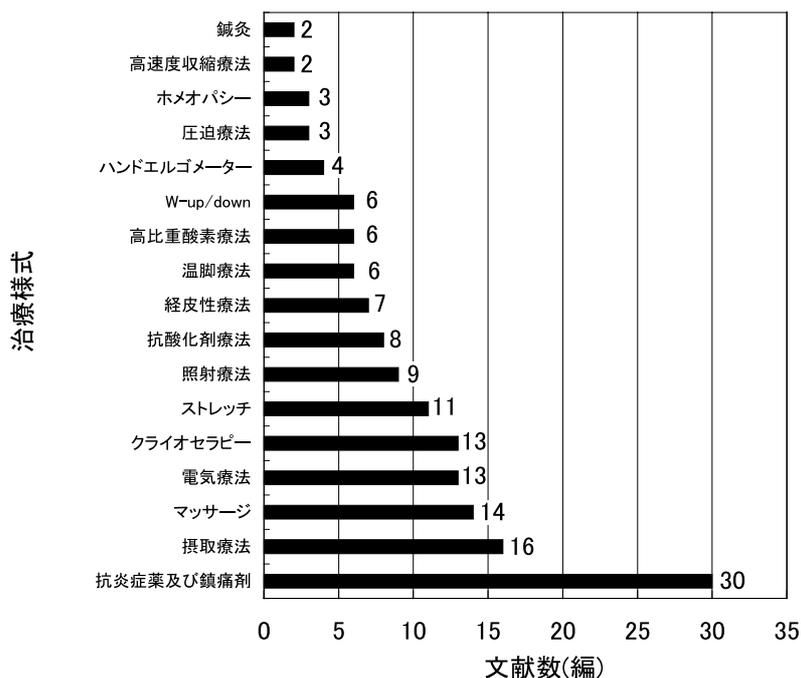


図1 予防および対処法に使用された様式とその文献数

1. 抗炎症薬及び鎮痛剤

予防法を検証した文献が1編, 対処法を検証した文献が11編, その両方が12編であった。使用された薬物の内訳は, イブプロフェンが9編, ナプロキセンが4編, フルルピプロフェン, アセトアミノフェン(パラセタモール), アスピリンが3編, ケトプロフェン, ジクロフェナクが2編, その他が5編であった(Ooxaprozin, デキサメタゾン, コデイン, ヒドロコドン酒石酸水素塩, プロメライン)。

1.1. イブプロフェン

DOMS に対する効果として, 運動4時間前群と運動24時間後群における合計1200mgのイブプロフェンの効果を検討した Hasson ら¹⁴⁾ は DOMS と圧痛に対して有意な効果を報告している。また, 運動後に摂取した合計2400mgのイブプロフェンの効果を検討した Tokmakidis ら¹⁵⁾ も有意な差を示した。DOMS に対する負の影響として, Grossman ら¹⁶⁾ は2400mg/日のイブプロフェンを1日に4回, 運動前から運動後まで5日間摂取した影響を検討し, Howell ら¹⁷⁾ は運動日の朝から6日間摂取した80mg 群と400mg 群のイブプロフェンの効果を検討し, 有意な効果を示さなかった。さらに, 運動5日前から運動後10日間にわたり1日2400mg 摂取したイブプロフェンの効果を報告した Pizza ら¹⁸⁾ および Donnelly ら¹⁹⁾ は運動30分前, 運動72時間後まで6時間ごとに摂取した合計8400mgのイブプロフェンの影響を検討し, 有意な差は示されなかった。筋機能に対して, Grossman ら¹⁶⁾ は可動域に対して,

Hasson ら¹⁴⁾ はアイソメトリック力とトルクに有意な効果を認めた。しかしながら, Grossman ら¹⁶⁾ や Tokmakidis ら¹⁵⁾ は可動域, 筋力, および周径圍などに対して有意な効果が示されなかった。血液中の筋損傷指標に対する効果として, Hasson ら¹⁴⁾ は CK に対して, Tokmakidis ら¹⁵⁾ は白血球に対して有意な効果を認めなかった。また, Pizza ら¹⁸⁾ は CK と好中球は治療群が有意に多いことを報告し, 同様に, Donnelly ら¹⁹⁾ は CK が運動後に治療群において有意に高いことを示した。

1.2. ナプロキセン

DOMS に対する効果として, 2編の有意な効果が報告されている。Lecomte ら²⁰⁾ は1日に2回摂取した500mgのナプロキセンの影響を検証し, Dudley ら²¹⁾ は運動直後から10日間摂取した660mg/日のナプロキセンナトリウムの効果を検討した。有意な効果を示していない文献として, 運動直後に摂取した660mg/日のナプロキセンの効果を検討した Baldwin ら²²⁾ および運動前に1回, 運動後は48時間まで12時間ごとに摂取したナプロキセンの影響を検討した Bourgeois ら²³⁾ の報告があった。筋機能に対して, Lecomte ら²⁰⁾ はトルク, Dudley ら²¹⁾ は1RMと横断面積, Baldwin ら²²⁾ は1RMとアイソメトリック筋力を指標として検討しているが有意な差は報告されていない。血液中の筋損傷指標(CK)に対し, Lecomte ら²⁰⁾ と Bourgeois ら²³⁾ が検討しているが有意な差は示されていない。

1.3 .フルルピロフェン

DOMS に対する有意な効果は報告されていない。運動12時間前に塗布したフルルピロフェンの影響を報告した Semark ら²⁴⁾ は DOMS と圧痛に対して有意な効果を示していない。Howell ら²⁵⁾ は運動日の朝から運動後14日間摂取した100mgの影響を検討し、Kuipers ら²⁶⁾ は運動1日前から運動3日後まで摂取した50mg/日のフルルピロフェンの効果を検証した。筋機能に対して、Semark ら²⁴⁾ が示した MVC (最大随意収縮) 以外の指標に対して (腫れ、スティッフネス、および周径囲) は、有意な差は報告されていない。血液中の筋損傷指標 (CK) に対しても、Semark ら²⁴⁾ は有意な差を認めなかった。

1.4 .アスピリン

Francis と Hoobler²⁷⁾ は、運動約4時間前から運動後48時間まで摂取した影響を検討した結果、DOMS と筋機能 (筋力と可動域) は有意な差を認めなかった。

1.5 .ケトプロフェンおよびジクロフェナク

ケトプロフェンが DOMS におよぼす影響に対して、Cannavino ら²⁸⁾ は運動直後に塗布した影響、Sayers ら²⁹⁾ は運動36時間後に摂取した25mgの影響を検討し、有意な差を報告した。筋機能 (最大アイソメトリック筋力) についても Sayers ら²⁹⁾ は有意な差を報告している。ジクロフェナクに関して、O'Grady ら³⁰⁾ は運動14日前から運動後13日間摂取した75mgのジクロフェナクの影響を検討した結果、DOMS は有意な効果を示したが、血液中の筋損傷指標に対する効果 (CK) は示されなかった。また、運動90分前、運動72時間後まで8時間間隔で摂取した合計500mgのジクロフェナクの影響を検討した Donnelly ら²⁷⁾ は、コントロール群を設定していないためにその有用性は評価できなかった。

1.6 .その他

Hasson ら³¹⁾ は、運動24時間後に20分間実施したデキサメタゾンイオン療法を検討した。その結果、運動24時間後の圧痛は有意な効果は認められたが、筋機能 (アイソメトリック MVC とトルク) は認めなかった。Gulick ら³²⁾ は運動直後から1日1200mgの Oxaprozin を3日間摂取した効果を検討した結果、DOMS と筋機能に対する効果 (周径囲、量、アイソメトリック筋力、仕事量、およびトルクなど) は、有意な差を示さなかった。

1.7 .複数をういた文献

VanHeest ら³³⁾ は、運動48時間後、72、96、120時間後に摂取したイブプロフェンと Vicoprofen[®] の効果を報告した。その結果、DOMS は Vicoprofen 群で有意に低値を示した。運動48時間前から運動後

3日間摂取した3.0g/日のアスピリンあるいはアセトアミノフェンの効果を検討した Smith ら³⁴⁾ は、DOMS と血液中の筋損傷指標 (CK) が有意な差を認めなかったことを示した。Stone ら³⁵⁾ は、運動直後から4日間連続で1日に3回摂取した400mgのイブプロフェンあるいは300mgのプロメラインの影響を検討し、DOMS と筋機能に (可動域とトルク) が有意な効果は認めなかった。900mgのアスピリン、60mgのコデイン、1000mgパラセタモルの影響を検討した Barlas ら³⁶⁾ は、DOMS・圧痛と筋機能 (屈曲・伸展・安静時可動域) は有意な差を認めなかった。運動6時間後に摂取した4000mg/日のアセトアミノフェンと1200mg/日のイブプロフェンの影響を検討した Peterson ら³⁷⁾ は、血液中の筋損傷指標 (好中球とマクロファージ) が有意な差を示さなかった。

2 .抗酸化剤

予防法が3編、予防と対処法の両方が4編であった。

2.1 .ビタミン C

一過性の療法として、Thompson³⁸⁾ は運動2時間前に1g摂取した時の影響を調査した結果、DOMS、筋機能 (筋力)、および血液中の筋損傷指標 (CK、AST (アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ)、および MDA (マロンジアルデヒド)) は有意な効果は認めなかった。運動前3日間と運動後4日間摂取した1日3gのビタミンC (アスコルビン酸) の影響を検討した Kaminski と Boal³⁹⁾ は、DOMS (安静、伸展、および運動痛) が有意な効果は認めた。また、筋機能と血液中の筋損傷指標での検討はされていない。

2.2 .ビタミン E

短期間の摂取療法として、Francis と Hoobler⁴⁰⁾ は、運動2日前から運動48時間後まで摂取した600IU/日のビタミンEの効果を検討した結果、DOMS と筋機能 (伸展可動域とトルク) は有意な差を示さなかった。長期間にわたる影響を検討した文献として、Loomer⁴¹⁾ は運動14日前から運動3日後まで摂取したビタミンE (400IU (268mg)/日の100% d- α -トコフェロール) の影響を調査した。また、Avery⁴²⁾ は運動3週間前から運動後10日間まで摂取した1200IU/日のビタミンEの影響、Beaton⁴³⁾ は運動30日前から摂取したビタミンE (1200IU/日の100% d- α -トコフェロール) の効果を検討した。その結果、DOMS に対する効果は一様ではなかった。筋機能に対しては、トルク、アイソメトリック筋力、および可動域における有意な効果を示さなかった。血液中の筋損傷指標 (CK) は一様な結果が示されておらず、治療群が有意に高かつ

たという報告もある⁴²⁾。また、MDA に対する効果は認められなかった。

加えて、Dawson ら⁴⁴⁾ は、運動 4 週間前から摂取した 500IU/日のビタミン C と E の効果を検証し、血液中の筋損傷指標 (CK, Mb (ミオグロビン) および、MDA) が有意な差を示さなかったことを報告している。

3. その他の摂取による検討

エストロゲンは 4 編であり、炭水化物摂取が 3 編であった。また、L-カルニチン、カフェイン、クレアチン、エタノール (アルコール)、花粉エキスを検証した文献が確認された。

3.1. エストロゲン

以下に 4 編の概略を示した。DOMS に対する効果として、Thompson ら⁴⁵⁾ は 6 ヶ月間少なくとも 30mg のエチニルエストラジオールを摂取している経口避妊薬常用と非常用群における 50 分のステップ運動に伴う影響を検討し、有意な効果を示している。興味深い文献として、Dobridge と Hackney⁴⁶⁾ は 6 週間前後離された 2 期間のダウンヒルランニングを実施した閉経後の女性におけるホルモン代替治療の有無の効果を調査した。その結果、DOMS のピークは、治療群が有意に大きいことを報告している。同様に、Carter⁴⁷⁾ および Savage と Clarkson⁴⁸⁾ ともに有意な効果を確認していないが、Thompson ら⁴⁵⁾ は有意な差が示されたことを報告している。筋機能に対して、筋力、周径、および可動域のいずれにおいても有意な効果は報告されていない。血液中の筋損傷指標 (CK) に対する効果として、Carter ら⁴⁷⁾ と Dobridge と Hackney⁴⁶⁾ は有意な効果を示しているのに対し、Savage と Clarkson⁴⁸⁾ と Thompson ら⁴⁵⁾ は示していない。

3.2. 炭水化物摂取

以下に 3 編の概略を示した。すべての指標に対して有意な差は示されていなかった。DOMS に関して、Wojcik ら⁴⁹⁾ はエクセントリック運動直後と 2 時間後に高タンパク (95%炭水化物) あるいは高炭水化物とタンパク (炭水化物 70%, タンパク 25%) を含んだ飲料摂取の効果を検証した。また、Nelson ら⁵⁰⁾ は筋グリコーゲン枯渇運動後に高炭水化物食 (80%炭水化物, 10%脂肪, 10%タンパク) を摂取し、その後エクセントリック運動を実施した時の効果について検討し、有意な差を示さなかった。筋機能に対して、前述の Wojcik ら⁴⁹⁾ はトルク、Nelson ら⁵⁰⁾ は周径、筋力、および可動域に対して有意な効果を示さなかった。血液中の筋損傷指標に関して、Wojcik ら⁴⁹⁾ は CK と IL-6、エクセントリック運動前に 2 時間の安静あるいは自転車運動あるいは自

転車運動と 7.5mL/kg の炭水化物電解質飲料を摂取したときの違いについて検討した Fielding ら⁵¹⁾ は CK と好中球に対して有意な効果を確認できなかった。

3.3. その他

DOMS に関して、2 編の有意な効果が報告されている。Motl ら⁵²⁾ は 10mg × 体重のカフェインを運動 1 時間前に摂取したときの影響について検討し、筋肉痛 (運動 5-30 分後まで) は有意な効果を確認した。また、ステップ運動の 3 週間に 3g/日の L-カルニチンを摂取した影響について検討した Giamberardino ら⁵³⁾ は圧痛が有意な効果を確認したことを報告している。有意な効果を示していない 5 編の文献は以下の通りである。Lenn ら⁵⁴⁾ は、最大負荷を用いた 50 回のアームカール運動に伴うオメガ 3 脂肪酸 (1.8g/日)、大豆 (120mg・日) を運動 30 日前から運動前日まで摂取した影響を検討した。Clarkson と Reichsman⁵⁵⁾ は、アームカール運動の 35 分前に摂取した 80 proof のボッカについて検証し、Miller ら⁵⁶⁾ は運動 1 日前から 4 日間の間、プロテアーゼタブレットを 1 日 4 回摂取した効果を検証した。Rawson ら⁵⁷⁾ はエクセントリック運動 5 日前から 1 日に 20g のクレアチンを 1 日に 4 回摂取した影響を検証し、Phillips ら⁵⁸⁾ は運動 7 日前から運動 7 日後まで摂取したサプリメント (トコフェロール、フラボノイド、およびドコサヘキサエン) の効果を検証した。筋機能に対して、前述の Phillips ら⁵⁸⁾ が示した可動域に対する効果に対してのみ有意な差が認められている。それ以外の Lenn ら⁵⁴⁾ や Clarkson と Reichsman⁵⁵⁾ などが示したトルク、筋力、周径、および可動域に対して有意な差は示されていない。血液中の筋損傷指標に対して、Giamberardino ら⁵³⁾ は CK に認めた。しかしながら、Clarkson と Reichsman⁵⁵⁾、Reust ら⁵⁹⁾、Rawson ら⁵⁷⁾、および Phillips ら⁵⁸⁾ は有意な効果が示されなかった。また、LDH (乳酸脱水素酵素) に対しても Rawson ら⁵⁷⁾ と Phillips ら⁵⁸⁾ は有意な効果を確認していない。興味深いことに、Phillips ら⁵⁸⁾ の報告は、IL-6 と CRP (C-反応性タンパク) に対しては有意な差を示している。CK と LDH 以外に、Lenn ら⁵⁴⁾ は MDA に対して有意な効果を示さなかったことを報告している。

なお、Santos ら⁶⁰⁾ は運動 5 日前から摂取した 60g の炭水化物 (両群) と 20g クレアチン/日 (治療群) の効果を検討し、クレアチン群において LDH および TNF- α が有意に低かったことを報告した。また、Krotkiewski ら⁶¹⁾ は 4 週間の間、1 日に 3 回花粉エキスを摂取した時の効果を報告しているが、群間における統計処理の記述がなく評価できなかった。

4. 電気刺激及び電気製品関係

全ての文献は、対処法の文献であった。この治療様式は、Denegarらを中心に1990年前後に検討されていた

4.1. 電気刺激

DOMSに対する効果として、DenegarとPerrin⁶²⁾は運動48時間後に90pps(パルス率)、90 μ 秒(パルス時間)で20分間の電気刺激による治療の効果を検討した結果、有意な効果を認めた。また、Minderら⁶³⁾は運動後に30分間、日常的に5日連続実施したパルス時間125 μ 、周波数4kHz、周波数10–20Hzあるいは80–100Hzの干渉治療の影響を検討し有意な差を認めた。圧通に対しては運動24時間後に20分間実施したデキサメタゾンイオン療法を検討したHassonら³¹⁾が有意な効果を報告している。負の影響として、Denegarら⁶⁴⁾は100 μ A、0.3パルス/秒、20分間の電気刺激による治療を運動後に実施した影響を検証し、運動24、48、72時間後に実施した30分間、125ppsの電気刺激の効果を報告したButterfieldら⁶⁵⁾および運動後から3日間実施された1回20分、200 μ 秒、4Hzあるいは110Hzの電気刺激の影響を検証したCraigら⁶⁶⁾の報告も有意な効果が示されていない。さらに、Allenら⁶⁷⁾は運動24、48、72時間後に実施した10分間(200 μ A、30Hz)+10分間(100 μ A、0.3Hz)の電気刺激の効果を検証し、DenegarとHuff⁶⁸⁾は運動48時間後に実施した1群(80パルス/秒、90 μ s、700ボルト)と2群(2パルス/秒、200 μ s)の電気刺激の効果を調査し、60rpm、400kg・m/分負荷で運動直後と24時間後に実施した0.3Hz、30 μ Aの電気刺激の影響を検討したWeberら⁶⁹⁾も有意な差が示されていない。筋機能に対して、DenegarとPerrin⁶²⁾は伸展可動域が有意な効果を示している。しかしながら、他の8編に対して筋力(トルク)、可動域などに対して有意な効果は報告されていない。血液中の筋損傷指標に対する効果は検討されていなかった。

4.2. 電気製品関係

DOMSに対して、有意な効果はZhangら⁷⁰⁾が運動後から5日間大腿に巻いた電気磁器Farablocの影響を検討した結果、認められた。しかしながら、Lambertら⁷¹⁾は運動12–48時間後までおよび48–96時間後までに実施したAcustat[®]電気筋膜療法の影響を調査し、NussbaumとGabison⁷²⁾は100 μ 秒(パルス時間)、160 μ amp振幅、3000Hz周波数、15分間のReboxを運動直後から毎日3日間治療した効果を検証した結果、有意な効果を示さなかった。筋機能に対して、Lambertら⁷¹⁾は可動域に対して有意な効果を示しているが、筋力および周径圍・

Zhangら⁷⁰⁾も同様に筋力に対して差を認めていない。血液中の筋損傷指標について、Lambertら⁷¹⁾とZhangら⁷⁰⁾は、CK、MDA、およびMbに対して有意な差を示した。

4.3. 運動中の電気刺激に対する効果

Franklinら⁷³⁾は、アイソメトリック運動中に電気刺激を導入し、運動–休息比率を10、30、50秒間の3群で比較検討した。その結果、DOMSは有意な効果を認めなかったが、CKは30と50秒間群が10秒間群に比較して有意な差を示した。Childら⁷⁴⁾は、運動中に20Hzあるいは100Hzの電気刺激が及ぼす影響を検討し、DOMS、アイソメトリック筋力低下度、およびCKが100Hz群において有意に高いことを示した。Moreauら⁷⁵⁾は70Hz、40 μ 秒パルス時間での電気刺激を1回6秒で30回の運動中に実施したときの影響を検証した結果、DOMSは電気刺激群がコンセントリック運動群に比較して有意に高かった。また、CKとLDHは有意な差を示さなかった。また、Schmitzら⁷⁶⁾は30分間、10あるいは100bps(周波数)の干渉電流による治療を運動48時間後に実施した効果を検討したが、その有用性はコントロール群がないために評価することができなかった。

5. ストレッチ

予防法を検証した文献が4編、対処法を検証した文献が5編、その両者が1編であった。静的ストレッチによる検討が多数であり、受動的ストレッチ、パリスティックストレッチ、およびPNF(Proprioceptive Neuromuscular Facilitation: 固有受容性神経筋促進法)はそれぞれ1編ずつの報告であった。

DOMSに対する効果はRodenburgら⁷⁷⁾が示したウォームアップ直後とエクセントリック運動前に1回20秒を6回繰り返した(およそ10分間)の上腕二頭筋を中心とした静的ストレッチの影響を検討し、伸展DOMSに有意な効果を認めた1編のみであった。筋機能(筋力、可動域、および周径圍など)と血液中の筋損傷指標(CK)に対する効果についても有意な効果は報告されていない^{32,78–82)}。スポーツ現場で頻繁に利用されるストレッチが、DOMSやEIMDに対する効果を示した文献が少ないのは興味深く、さらなる検討が期待される。

興味深い文献として、静的ストレッチとパリスティックストレッチがDOMSにおよぼす影響を検討したSmithら⁸³⁾の報告がある。5分間のウォームアップ後、3セット17種類(90分)の静的ストレッチとパリスティックストレッチが実施された結果、静的ストレッチが有意にDOMSを発現することが示された。

6. マッサージ

1編を除き、対処法を検証した文献であった(1編は両方の検討)。アイスマッサージなどの他の治療様式と組み合わせたものを含めると14編が報告されている(これらの文献はこの項では記載の対象外とした)。これらを除いた9編を分析の対象とした。治療様式はそれぞれ文献で異なるが、揉捏法や軽擦法を中心とした構成がほとんどであった。

DOMSに関して、比較的有意な効果を示した文献が多く報告されている。Smithら⁸⁴⁾およびHilbertら⁸⁵⁾は、運動2時間後に揉捏法と軽擦法を中心とし、TiidusとShoemaker⁸⁶⁾は運動3日前、運動後、その後2日間(計4回)実施した時の影響を検討した。また、BaleとJames⁸⁷⁾らも運動後に17分間のマッサージを実施した影響を検証し、有意な効果を報告している。さらに、Farrら⁸⁸⁾とRodenburgら⁷⁷⁾はいずれも運動後に揉捏法と軽擦法を中心とした効果を検討し、DOMSにおいては有意な効果が示されたが、圧痛に対しては示されなかった。前述のSmithら⁸⁴⁾が示したCKに対する効果を除き、全ての文献において筋機能(筋力、伸展可動域など)と血液中の筋損傷指標(CK)に対する顕著な効果は報告されていない。

7. 照射療法

予防法を検証した文献が2編、対処法を検証した文献が7編であった。それらの内訳は、超音波、レーザー/赤外線が主であった。この領域は、主にCraigらが検討していた。

7.1. 超音波

DOMSに対する効果はHassonら⁸⁹⁾が運動24時間後に実施した0.8W/cm強度、1:4パルス、1.0MHzの周波数の超音波を20分間照射することによる検討を行った報告のみであった。筋機能(筋力、安静・屈曲・伸展可動域、および周径囲)と血液中の筋損傷指標に対する効果(CK)は報告されなかった。

7.2. レーザー/赤外線

有意な効果が認められているのはGlasgowら⁹⁰⁾の検討のみであった。単色赤外線(1kHzパルス、平均パワー出力250mW、波幅840nm)で5分間の照射を運動1日後から4日連続(計4回)実施したときの効果について検討した結果、伸展DOMSおよび圧痛に対する有意な効果が示されていた。Craigら⁹¹⁾は運動後から毎日2日間(計3回)、12分間の平均放射暴露31.7J/cm²における2.5Hz、5Hz、20Hzの違いをレーザー/光線療法により比較検討し、Craigら⁹²⁾は4分間のレーザー/光線療法(73Hzパルス、11J/cm²、最大出力534mW、660-950nm)を運動

直後から7回それぞれの日に実施した効果を比較検討した。筋機能(安静・屈曲・伸展可動域)に対する効果は報告されておらず、血液中の筋損傷指標に対する検討はされていなかった。

8. 冷却療法(クライオセラピー)

予防法を検証した文献は1編、対処法を検証した文献は12編であった。治療様式としてはアイスパックが5編、アイスマッサージが4編、浸水が4編であった。

8.1. アイスマッサージ

1回のみ、運動直後に20分間のアイスマッサージの影響を検討したGulickら³²⁾はDOMSおよび筋機能(周径囲、アイソメトリック筋力、および仕事量など)が有意な効果を認めなかった。1回で運動後の時間の違いで治療の効果を検討した文献として、Yackzanら⁹³⁾は運動直後、24、48時間のいずれかに実施された15分のアイスマッサージの効果を検討した結果、DOMSおよび筋機能(可動域)が、有意な差を示さなかった。複数回の治療の効果を検討した論文として、HowatsonとSomeren⁹⁴⁾は15分間の治療を運動直後、24、48時間後に3回実施した250mlのカップを使用して比較検討している。また、Isabellら⁹⁵⁾は、運動直後、2、4、6、24、48、72、96時間後に実施した15分間のアイスマッサージの効果を検討した。その結果、DOMSと筋機能(周径囲、可動域、1RM、およびトルク)は、一樣な結果でなかった。また、血液中の筋損傷指標(CK)は運動72時間後に有意な効果を認めた。

8.2. アイスパック

1回の治療の効果として、Yanagisawaら⁹⁶⁾は運動直後にアイスパックで20分間の治療を実施したときの影響を検討し、DenegarとPerrin⁶²⁾は運動48時間後における20分間のプラスチックバッグの効果を検討した結果、DOMSに対して有意な効果を認めた。しかしながら、運動前に0℃のアイスバッグで15分間冷却したときの影響について検討したNosakaら⁹⁷⁾は有意な効果を示さなかった。筋機能(筋力、可動域、および周径囲)に対しては有意な効果を示した文献と示されなかった文献の両方が混在されており、血液中の筋損傷指標(CK)に対しては有意差は示されていなかった。

また、Sumidaら⁹⁸⁾は、 $1.7 \pm 2.8^{\circ}\text{C}$ 、 $22.8 \pm 2.8^{\circ}\text{C}$ 、 $43.3 \pm 2.8^{\circ}\text{C}$ の治療を運動48時間後に実施したときの影響を比較検討した。その結果、DOMSは温脚のみが運動30分後に有意な効果を示したことを報告している。Prentice⁹⁹⁾は、運動24時間後における20分間のアイスパックの影響を報告したが、有用性は筋電図のみの評価であることから評価できなかった。

8.3. 浸水

1回のみを治療を加えたFuら¹⁰⁰⁾は、運動直後に5分間4℃に浸水させた効果を検討した。その結果、超微細構造の損傷は治療群が大きいことを示した。動物実験からではあるが、スポーツ現場で頻繁に使用されるクライオセラピーが治療群で大きい結果は興味深い知見である。また、Yanagisawaら¹⁰¹⁾は運動直後のみの治療群とさらに24時間後にもう一回の治療を加えた2群において、15分間5℃の水に浸水をした影響を比較検討した。その結果、DOMSは運動48時間後に2つの治療群よりもコントロール群が有意に高く示した。筋機能(可動域)は有意な効果が認められたが、血液中の筋損傷指標(CKとLDH)は示されていない。複数回の治療を行った文献として、Paddon-JonesとQuigley¹⁰²⁾は運動直後から5±1℃の水に60分休憩で20分間、5回浸水した影響を検討し、EstonとPeters¹⁰³⁾は運動直後から12時間ごとに計7回15±1℃に浸水させた効果を比較検討した結果、DOMSと圧痛においては有意な効果が示されなかった。筋機能(アイソメトリック筋力と周径囲)は有意な差を認めなかったが、安静時可動域には認められた。血液中の筋損傷指標(CK)は有意な差が示されている。

9. 高比重酸素

6編の報告があり、全ての文献が対処法に関する検討であった。治療様式は統一された検討ではないが、いずれの文献も複数回実施されており、1回ごとの治療時間は60分あるいは100分間のいずれかであった。酸素濃度は100%としている文献が多く、95%での検討もあった。血液中の筋損傷指標(CKとMDA)に関して、全ての文献において有意な効果は示されていない。また、DOMSおよび筋機能(筋力、周径囲など)に対する効果は、Websterら¹⁰⁴⁾が示した報告以外は認められておらず、この治療様式における顕著な効果は報告されていない¹⁰⁵⁻¹⁰⁹⁾。

10. 経皮性治療

予防法を検証した文献が1編、対処法を検証した文献が5編であった。治療は、トリエタノールアミレサリチル酸塩、トトラミンサリチル酸塩、ケトプロフェンが使用されていた。ほとんどの文献は、1980年後半から90年前半までの範ちゅうであった。塗布の方法は、それぞれの文献により異なっており、統一されていない。

DOMSに関して、有意な効果を示した文献は比較的多く報告されている。Cannavinoら²⁸⁾は運動直後のケトプロフェン、HillとSumida¹¹⁰⁾は運動48時間後にメントールメチルサリチル酸塩とカプサイ

シンクリーム、Politinoら¹¹¹⁾は運動12時間後以内に10%トリエタノールアミレサリチル酸塩、HillとRichardson¹¹²⁾は1日に4回トトラミンサリチル酸塩クリームを塗布した影響を検証した。その結果、いずれの文献においても有意な差が示された。すべての文献において、筋機能(周径囲、可動域)と血液中の筋損傷指標(CK)は認められていなかった。

11. ウォームアップ/クールダウン

ウォームアップが4編、クールダウンが1編報告されている。受動的な方法としてジアテルミーが使用されており、能動的な方法としてステップ運動およびハンドエルゴメーター運動を用いて検討されていた。

11.1. 能動的ウォームアップ

Highら⁷⁹⁾はステップ運動前に10cm台で10分間のステップ運動を実施した影響を検討し、Rodenburgら⁷⁷⁾は上腕二頭筋のエクセントリック運動前に15分間の最大心拍における60%強度(41±3W)で運動の効果を検証した。その結果、DOMSにおいて、ピーク時に低値を示す傾向と伸展DOMSにおける有意な効果を認めただ、筋機能(筋力と伸展可動域)および血液中の筋損傷指標(CK)に対する有意な差は示されなかった。

11.2. 受動的ウォームアップ

Nosakaら⁹⁷⁾はエクセントリック運動前に100Wで10分のジアテルミーの効果を検証し、Symonsら¹¹³⁾は1MHz、1.5W/cm²で10分間の超音波照射の影響を比較検討した。その結果、DOMSは有意な効果が示されなかった。また、筋機能(可動域、周径囲、およびアイソメトリック筋力)と血液中の筋損傷指標(CK)に対しても有意な差を認めなかった。Evansら¹¹⁴⁾は、能動的(超音波による27.12MHz、10分間のジアテルミー)と活動的(コンセントリック筋活動を120°・秒で100回)ウォームアップの影響を比較検討した結果、DOMSおよび筋機能(筋力、可動域、および周径囲)に有意な効果を認めなかった。

11.3. クールダウン

BaleとJames⁸⁷⁾は、17分間の120拍(60% $\dot{V}O_2$)の運動を実施した効果を検討した結果、DOMSは運動12時間後に治療群が有意に低いことを示し、乳酸の除去にも有用であることも報告した。

12. 温却療法

予防法を検証した文献が3編、対処法を検証した文献が3編であった。治療様式は、超音波あるいはジアテルミーが3編、ホットパックを使用した文献が2編、ウォータージェットによる保温が1編であった。

12.1. 超音波あるいはジアテルミー

前項11.2受動的ウォームアップと同様であった。

12.2. ホットパック

Sumida ら³⁵⁾ は $43.3 \pm 2.8^{\circ}\text{C}$, $1.7 \pm 2.8^{\circ}\text{C}$, $22.8 \pm 2.8^{\circ}\text{C}$ の治療を運動48時間後に実施したときの影響を比較検討した。DOMS は、温脚のみが運動30分後に有意な効果を示した。筋機能および血液中の筋損傷指標を用いた検討はされていなかった。Prentice⁹⁹⁾ は運動24時間後に20分間の治療の効果を検討したが、測定項目が筋電図のみであったため評価できなかった。

12.3. その他

Viitasalo ら¹¹⁵⁾ は、およそ運動2時間後の夕方に3日間連続20-30分間、 $36.7-37.2^{\circ}\text{C}$ のウォータージェットによるマッサージの効果を検証した結果、DOMS に対して効果は示されなかった。また、血液中の筋損傷指標(CK, LDH, Mb, およびクレアチニン)の放出の増加が報告されている。

13. ハンドエルゴメーター運動

予防法を検証した文献が1編、対処法を検証した文献が3編であった。ウォーミングアップとして、Rodenburg ら⁷⁷⁾ は上腕二頭筋のエクセントリック運動前に最大心拍数の60%強度(41W), 60-70rpm で15分間の効果を検証した。伸展 DOMS は有意な効果を認めしたが、筋機能(筋力と伸展可動域)と血液中の筋損傷指標(CK)は有意な差を示さなかった。対処法として、Gulick ら³²⁾ は運動直後に無負荷、 $360^{\circ}/\text{秒}$ で10分間の効果を検証し、Weber ら⁶⁹⁾ は60rpm, 400kg・m/分の負荷で運動直後と24時間後に実施した効果を報告している。その結果、DOMS と筋機能(筋力, 周径囲, および仕事量など)に対する効果は、示されなかった。興味深い文献として、運動直後に30W, 50rpm で20分間の運動の効果を検証した Yanagisawa ら⁹⁶⁾ の報告がある。冷却とハンドエルゴメーター運動の混合群が DOMS と筋機能(筋力)に有意な効果を認めたことを示した。治療様式を混合させることにより回復を早めようとする着眼点は、今後期待される方法である。

14. 圧迫

3編の報告があり、対処法の検討であった。Kraemer ら¹¹⁶⁾ は圧力10mmHgの圧迫袖を使用し、運動直後から24日間隔で5日間実施し、Kraemer ら¹¹⁷⁾ は前述と同様な方法で3日間実施した効果を報告している。DOMS はいずれも有意な効果を示していた。筋機能(周径囲, トルク, 筋力, および安静時可動域)と血液中の筋損傷指標(CK, コルチソール, およびLDH)に対しても有意な効果が報告されている。なお, Cheleboun ら¹¹⁸⁾ は, 60mmHg

の圧で20分間の様式で運動直後から5日間に実施した効果を報告しているが、DOMS および EIMD におけるコントロール群との比較がないために評価できなかった。この療法は、有用な手段としてなる可能性が考えられ、さらなる検討が期待される。

15. ホメオパシー

対処法が1編、予防法と対処法の両方の検討が2編であった。一過性の検討として、Gulick ら³²⁾ は運動直後に実施した4%のアルニカモンタナあるいは1回50gの舌下モンタナの効果を検討した。その結果、DOMS と筋機能(アイソメトリック筋力, トルク, 仕事量, 量, および周径囲など)は有意な差を示さなかった。また, Vicker ら¹¹⁹⁾ は運動24時間前から1日に3回, 1ヶ月間使用した影響を検討し, Vicker ら¹²⁰⁾ はレース前日の夕方から1日に2回摂取を9回使用したアルニカ30×の効果を検討した。その結果, DOMS (Likert スケール) に対して有意な効果を認めなかった。

16. 鍼灸

2編の報告があり、いずれも対処法を検討した文献であった。Barlas ら³⁶⁾ は運動後に20分間治療し, Lin と Yang²⁾ は運動直後, 24, 48時間後に20分間の治療を実施した際の効果を検討している。DOMS (圧痛) について, Lin と Yang²⁾ は運動72時間後に有意な効果を認めているが, Barlas ら³⁶⁾ は認めなかった。筋機能(屈曲・伸展・安静時可動域)と血液中の筋損傷指標(CK) に対しては有意な差が示されていなかった。

17. 高速度筋収縮

2編の報告があり、いずれも対処法であった。Hasson ら¹²¹⁾ は, DOMS と筋機能(MVC, ピークトルク, および総仕事)に有意な効果を認めた。しかしながら, Gulick ら³²⁾ は, DOMS と筋機能に対して有意な効果を認めていない。血液中の筋損傷指標を用いての検討はされていなかった。

ま と め

本研究は、DOMS と EIMD 研究における予防および対処法に関する結果を DOMS, 筋機能, および血液中の筋損傷指標の観点から文献的知見の検討を行った。DOMS と EIMD の対処および予防法はいずれも曖昧な結果であり、その要因は治療様式、運動様式、および評価方法等を含めた異なる実験プロトコールのためであると考えられた。それゆえ、今回の検討においては有用な方法が見出せなかった。

これらの結果から、いずれも顕著な効果を示した様式はないと考えるのが妥当である。また、今回の検討から DOMS および EIMD に対する効果、さら

に EIMD でも指標別で異なる反応を示し,それぞれは独立して考えることの必要性が再確認された。加えて, DOMS および EIMD の指標はそれぞれ異なる時間経過を示すことが多いため, 時間経過の観点からも分析を行う必要がある。

今後の検討課題として, それぞれの療法について詳細な議論が必要である。また, 治療様式, 運動様式, および評価方法等を含めた統一されたプロトコールにおいて, それぞれの詳細な検討やその例数を増やしていくことが必要なものと考えられる。

文 献

- 1) Hough T : Ergographic studies in muscular soreness . *American Journal of Physiology* , **7** , 76-92 , 1902 .
- 2) Lin J-G and Yang SH : Effects of acupuncture on exercise-induced muscle soreness and serum creatine kinase activity . *American Journal of Chinese Medicine* , **27**(3-4) , 299-305 , 1999 .
- 3) Nosaka K and Newton M : Is recovery from muscle damage retarded by a subsequent bout of eccentric exercise inducing larger decreases in force? *Journal of Science and Medicine in Sport* , **5**(3) , 204-218 , 2002 .
- 4) 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 .
- 5) 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 .
- 6) Dutto DJ and Braun WA : DOMS-Associated changes in ankle and knee joint dynamics during running . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **36**(4) , 560-566 , 2004 .
- 7) 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 .
- 8) Friden J , Kjorell U and Thornell LE : Delayed muscle soreness and cytoskeletal alterations : an immunocytological study in man . *International Journal of Sports Medicine* , **5**(1) , 15-18 , 1984 .
- 9) Friden J , Sjostrom M and Ekblom B : Myofibrillar damage following intense eccentric exercise in man . *International Journal of Sports Medicine* , **4** , 170-176 , 1983 .
- 10) 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 .
- 11) 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 .
- 12) 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 .
- 13) Cheung K , Hume P and Maxwell L : Delayed onset muscle soreness . *Sports Medicine* , **33**(2) , 145-164 , 2003 .
- 14) Hasson SM , Daniels JC , Divine JG , Niebuhr BR , Richmond S , Stein PG and Williams JH : effect of ibuprofen use on muscle soreness , damage , and performance : A preliminary investigation . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **25**(1) , 9-17 , 1993 .
- 15) Tokmakidis SP , Kokkinidis EA , Smilios I and Douda H : The effects of ibuprofen on delayed muscle soreness and muscular performance after eccentric exercise . *Journal of Strength and Conditioning Research* , **17**(1) , 53-59 , 2003 .
- 16) Grossman JM , Arnold BL , Perrin DH and Kahler DM : Effect of ibuprofen use on delayed onset muscle soreness of the elbow flexors . *Journal of Sport Rehabilitation* , **4** , 253-263 , 1995 .
- 17) Howell JN , Conatser RR , Chleboun GS , Karapondo DL and Chila AG : The effect of nonsteroidal anti-inflammatory drugs on recovery from exercise-induced muscle injury . 2 . ibuprofen . *Journal of Musculoskeletal Pain* , **6**(4) , 69-83 , 1998 .
- 18) Pizza FX , Cavender D , Stockard A , Baylies H and Beighle A : Anti-inflammatory doses of ibuprofen : Effect

- on neutrophils and exercise-induced muscle injury . *International Journal of Sports Medicine* , **20** , 98–102 , 1999 .
- 19) Donnelly AE , Maughan RJ and Whiting PH : Effects of ibuprofen on exercise-induced muscle soreness and indices of muscle damage . *British Journal of Sports Medicine* , **24** (3) , 191–195 , 1990 .
 - 20) Lecomte JM , Lacroix VJ and Montgomery DL : A randomized controlled trial of the effect of naproxen on delayed onset muscle soreness and muscle strength . *Clinical Journal of Sport Medicine* , **8** (2) , 82–87 , 1998 .
 - 21) Dudley GA , Czerkawski J , Meinrod A , Gills G , Baldwin A and Scarpone M : Efficacy of naproxen sodium for exercise-induced dysfunction muscle injury and soreness . *Clinical Journal of Sport Medicine* , **7** , 3–10 , 1997 .
 - 22) 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 .
 - 23) Bourgeois J , MacDougall D , MacDonald J and Tarnopolsky M : Naproxen does not alter indices of muscle damage in resistance-exercise trained men . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **31** (1) , 4–9 , 1999 .
 - 24) Semark A , Noakes TD , St Clair Gibson A and Lambert MI : The effect of prophylactic dose of flurbiprofen on muscle soreness and sprinting performance in trained subjects . *Journal of Sports Sciences* , **17** (3) , 197–203 , 1999 .
 - 25) Howell JN , Conatser RR , Chleboun GS , Karapondo DL and Chila AG : The effect of nonsteroidal anti-inflammatory drugs on recovery from exercise-induced muscle injury . 1 . Flurbiprofen . *Journal of Musculoskeletal Pain* , **6** (4) , 59–68 , 1998 .
 - 26) Kuipers H , Keizer HA , Verstappen FT and Costill DL : Influence of a prostaglandin-inhibiting drug on muscle soreness after eccentric work . *International Journal of Sports Medicine* , **6** , 336–339 , 1985 .
 - 27) Donnelly AE , McCormick K , Maughan RJ , Whiting PH and Clarkson PM : Effects of a non-steroidal anti-inflammatory drug on delayed onset muscle soreness and indices of damage . *British Journal of Sports Medicine* , **22** (1) , 35–38 , 1988 .
 - 28) Cannavino CR , Abrams J , Palinkas LA , Saglimbeni A and Bracker MD : Efficacy of transdermal ketoprofen for delayed onset muscle soreness . *Clinical Journal of Sport Medicine* , **13** (4) , 200–208 , 2003 .
 - 29) Sayers SP , Knight CA , Clarkson PM , Van Wegen EH and Kamen G : Effect of ketoprofen on muscle function and sEMG activity after eccentric exercise . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **33** (5) , 702–710 , 2001 .
 - 30) O'Grady M , Hackney AC , Schneider K , Bossen E , Steinberg K , Douglas JM , JR , Murray WJ and Watkins WD : Diclofenac sodium (voltaren) reduced exercise-induced injury in human skeletal muscle . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **32** (7) , 1191–1196 , 2000 .
 - 31) Hasson SM , Wible CL , Reich M , Barnes WS and Williams JH : Dexamethasone iontophoresis : Effect on delayed muscle soreness and muscle function . *Canadian Journal of Sport Sciences* , **17** (1) , 8–13 , 1992 .
 - 32) Gulick DT , Kimura IF , Sitler M , Paolone A and Kelly JD : Various treatment techniques on signs and symptoms of delayed onset muscle soreness . *Journal of Athletic Training* , **31** , 145–152 , 1996 .
 - 33) VanHeest JL , Stoppani J , Scheett TP , Collins V , Roti M , Anderson J , Allen GJ , Hoffman L , Kraemer WJ and Maresh CM : Effects of ibuprofen and vicoprofen on physical performance after exercise-induced muscle damage . *Journal of Sport Rehabilitation* , **11** , 224–234 , 2002 .
 - 34) Smith LL , George RT , Chenier TC , McCammon MR , Houmard JA , Israel RG , Hoppmann RA and Smith S : Do over-the-counter analgesics reduce delayed onset muscle soreness and serum creatine kinase values? *Sports Medicine . Training Rehabilitation* , **6** , 81–88 , 1995 .
 - 35) Stone NB , Merrick MA , Ingersoll CD and Edwards JE : Preliminary comparison of bromelain and ibuprofen for delayed onset muscle soreness management . *Clinical Journal of Sport Medicine* , **12** (6) , 373–378 , 2002 .
 - 36) Barlas P , Craig JA , Robinson J , Walsh DM , Baxter GD and Allen JM : Managing delayed-onset muscle soreness: lack of effect of selected oral systemic analgesics . *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* ,

- 81, 966-972, 2000 .
- 37) Peterson JM , Trapper TA , Mylona E , White F , Lambert CP , Evans WJ and Pizza FX : Ibuprofen and acetaminophen : Effect on muscle inflammation after eccentric exercise . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **35** (6) , 892-896 , 2003 .
- 38) Thompson D , Williams C , Kingsley M , Nicholas CW , Lakomy HK , McArdle F and Jackson MJ : Muscle soreness and damage parameters after prolonged intermittent shuttle-running following acute vitamin C supplementation . *International Journal of Sports Medicine* , **22** , 68-75 , 2001 .
- 39) Kaminski M and Boal R : Effect of ascorbic acid on delayed-onset muscle soreness . *Pain* , **50** , 317-321 , 1992 .
- 40) Francis KT and Hoobler T : Failure of vitamin E and delayed muscle soreness . *Alabama Medicine* , **55** (9) , 15-18 , 1986 .
- 41) Bloomer RJ , Goldfarb AH , McKenzie MJ , You T and Nguyen L : Effects of antioxidant therapy in women exposed to eccentric exercise . *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* , **14** , 377-388 , 2004 .
- 42) Avery NG , Kaiser JL , Sharman MJ , Scheett TP , Barnes DM , Gomez AL , Kraemer WJ and Volek JS : Effects of vitamin E supplementation on recovery from repeated bouts of resistance exercise . *Journal of Strength and Conditioning Research* , **17** (4) , 801-809 , 2003 .
- 43) Beaton LJ , Allan DA , Tarnopolsky MA , Tiidus PM and Phillips SM : Contraction-induced muscle damage is unaffected by vitamin E supplementation . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **34** (5) , 798-805 , 2002 .
- 44) Dawson B , Henry GJ , Goodman C , Gillam J , Beilby JR , Ching S , Fabian V , Dasig D , Morling P and Kakulus BA : Effect of vitamin C and E supplementation on biochemical and ultrastructural indices of muscle damage after a 21km run . *International Journal of Sports Medicine* , **23** , 10-15 , 2002 .
- 45) Thompson HS , Hyatt JP , De Souza MJ and Clarkson PM : The effects of oral contraceptives on delayed onset muscle soreness following exercise . *Contraception* , **56** , 59-65 , 1997 .
- 46) Dobridge JD and Hackney AC : The effects of estrogen on indices on skeletal muscle tissue damage after eccentric exercise in postmenopausal women . *Fiziologija cheloveka* , **30** (4) , 98-102 , 2004 .
- 47) Carter A , Dobridge J and Hackney AC : Influence of estrogen on markers of muscle tissue damage following eccentric exercise . *Fiziologija Cheloveka* , **27** (5) , 133-137 , 2001 .
- 48) Savage KJ and Clarkson PM : Oral contraceptive use and exercise-induced muscle damage and recovery . *Contraception* , **66** , 67-71 , 2002 .
- 49) Wojcik JR , Walber-Rankin J , Smith LL and Gwazdauskas FC : Comparison of carbohydrate and milk-based beverages on muscle damage and glycogen following exercise . *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* , **11** , 406-419 , 2001 .
- 50) Nelson MR , Conlee RK and Parcell AC : Inadequate carbohydrate intake following prolonged exercise does not increase muscle soreness after 15 minutes of downhill running . *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* , **14** , 171-184 , 2004 .
- 51) Fielding RA , Violan MA , Svetkey L , Abad LW , Manfredi TJ , Cosmas A and Bean J : Effects of prior exercise on eccentric exercise-induced neutrophilia and enzyme release . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **32** (2) , 359-364 , 2000 .
- 52) Motl RW , O'Connor PJ and Dishman RK : Effect of caffeine perceptions of leg muscle pain during moderate intensity cycling exercise . *The Journal of Pain* , **4** (6) , 316-321 , 2003 .
- 53) Giamberardino MA , Dragani L , Valente R , DiLisa F , Saggini R and Vecchiet L : Effects of prolonged L-carnitine administration on delayed muscle pain and CK release after eccentric effort . *International Journal of Sports Medicine* , **17** (5) , 320-324 , 1996 .
- 54) Lenn J , Uhl T , Mattacola C , Boissonneault G , Yates J , Ibrahim W and Bruckner G : The effects of fish oil and isoflavones on delayed onset muscle soreness . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **34** (10) , 1605-1613 , 2002 .

- 55) Clarkson PM and Reichsman F : The effect of ethanol on exercise-induced muscle damage . *Journal of Studies on Alcohol* , **51** (1) , 19-23 , 1990 .
- 56) Miller PC ,Bailey SP ,Barnes ME ,Derr SJ and Hall EE : The effects of protease supplementation on skeletal muscle function and DOMS following downhill running . *Journal of Sports Sciences* , **22** (4) ,365-372 ,2004 .
- 57) Rawson ES ,Gunn B and Clarkson PM : The effects of creatine supplementation on exercise-induced muscle damage . *Journal of Strength and Conditioning Research* , **15** (2) , 178-184 , 2001 .
- 58) Phillips T ,Childs AC ,Dreon DM ,Phinney S and Leeuwenburgh C : A dietary supplement attenuates IL-6 and CRP after eccentric exercise in untrained males . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **35** (12) , 2032-2037 , 2003 .
- 59) Reust CS , Curry SC and Guidry JR : Lovastatin use and muscle damage in healthy volunteers undergoing eccentric muscle exercise . *The Western Journal of Medicine* , **154** (2) , 198-200 , 1991 .
- 60) Santos RV , Bassit RA , Caperuto EC and Costa Rosa LF : The effect of creatine supplementation upon inflammatory and muscle soreness markers after a 30km race . *Life Sciences* , **75** , 1917-1924 , 2004 .
- 61) Krotkiewski M ,Brzezinska Z ,Liu B ,Grimby G and Palm S : Prevention of muscle soreness by pretreatment with antioxidants . *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* , **4** , 191-199 , 1994 .
- 62) Denegar CR and Perrin DH : Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation , cold , and a combination treatment on pain , decreased range of motion , and strength loss associated with delayed onset muscle soreness . *Journal of Athletic Training* , **27** (3) , 200-206 , 1992 .
- 63) Minder PM , Noble JG , Alves-Guerreiro J , Hill ID , Lowe AS , Walsh DM and Baxter GD : Interferential therapy : lack of effect upon experimentally induced delayed onset muscle soreness . *Clinical Physiology and Functional Imaging* , **22** (5) , 339-347 , 2002 .
- 64) Denegar CR , Yoho AP , Borowicz AJ and Bifulco N : The effects of low-volt , microamperage stimulation on delayed onset muscle soreness . *Journal of Sport Rehabilitation* , **1** , 95-102 , 1992 .
- 65) Butterfield DL ,Draper DO ,Ricard MD ,Myrer JW ,Schulthies SS and Durrant E : The effects of high-volt pulsed current electrical stimulation on delayed-onset muscle soreness . *Journal of Athletic Training* , **32** (1) , 15-20 , 1997 .
- 66) Craig JA ,Cunningham MB ,Walsh DM ,Baxter GD and Allen JM : Lack of effect of transcutaneous electrical nerve stimulation upon experimentally induced delayed onset muscle soreness in humans . *Pain* , **67** , 285-289 , 1996 .
- 67) Allen JD ,Mattacola CG and Perrin DH : Effect of microcurrent stimulation on delayed-onset muscle soreness : A double-blind comparison . *Journal of Athletic Training* , **34** (4) , 334-337 , 1999 .
- 68) Denegar CR and Huff CB : High and low frequency tens in the treatment of induced musculoskeletal pain : A comparison study . *Journal of Athletic Training* , **23** , 235-237 , 1988 .
- 69) Weber MD ,Servedio FJ and Woodall WR : The effects of three modalities on delayed onset muscle soreness . *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* , **20** (5) , 236-242 , 1994 .
- 70) Zhang J ,Clemet D and Taunton J : The efficacy of Farabloc , an electromagnetic shield , in attenuating delayed-onset muscle soreness . *Clinical Journal of Sport Medicine* , **10** (1) , 15-21 , 2000 .
- 71) Lambert MI ,Marcus P ,Burgess T and Noakes TD : Electro-membrane microcurrent therapy reduces signs and symptoms of muscle damage . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **34** (4) , 602-607 , 2002 .
- 72) Nussbaum EL and Gabison S : Rebox effect on exercise-induced acute inflammation in human muscle . *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* , **79** , 1258-1263 , 1998 .
- 73) Franklin ME ,Currier DP ,Smith ST ,Mitts KK ,Werrell LM and Chenier TC : Effect of varying the ratio of electrically induced muscle contraction time to rest time on serum creatine kinase and perceived soreness . *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* , **13** (6) , 310-315 , 1991 .
- 74) Child RB , Brown SJ , Day SH , Saxton JM and Donnelly AE : Manipulation of knee extensor force using percutaneous electrical myostimulation during eccentric actions : Effects on indices of muscle damage in humans . *International Journal of Sports Medicine* , **19** , 468-473 , 1998 .
- 75) Moreau D ,Dubots P ,Boggio V ,Guilland JC and Cometti G : Effects of electromyostimulation and strength

- training on muscle soreness ,muscle damage and sympathetic activation . *Journal of Sports Science* , **13** (2) , 95-100 , 1995 .
- 76) Schmitz RJ ,Martin DE ,Perrin DH ,Iranmanesh A and Rogol D :Effect of interferential current on perceived pain and serum cortisol associated with delayed onset muscle soreness . *Journal of Sport Rehabilitation* , **6** , 30-37 , 1997 .
- 77) Rodenburg JB ,Steenbeek D ,Schiereck P and Bar PR :Warm-up ,stretching ,and massage diminish harmful effects of eccentric exercise . *International Journal of Sports Medicine* , **15** , 414-419 , 1994 .
- 78) Buroker KC and Schwane JA : Does postexercise static stretching alleviate delayed muscle soreness? *Physician Sportsmedicine* , **17** (6) , 65-83 , 1989 .
- 79) High DM ,Howley ET and Franks BD : The effects of static stretching and warm-up on prevention of delayed-onset muscle soreness . *Research Quarterly* , **60** (4) , 357-361 , 1989 .
- 80) Johansson PH ,Lindstrom L ,Sundelin G and Lindstrom B :The effects of preexercise stretching on muscular soreness ,tenderness and force loss following heavy eccentric exercise . *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* , **9** (4) , 219-225 , 1999 .
- 81) Lund H , Vestergaard-Poulsen P , Kanstrup IL and Sejrsen P : The effect of passive stretching on delayed onset muscle soreness , and other detrimental effects following eccentric exercise . *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* , **8** (4) , 216-221 , 1998 .
- 82) Wessel J and Wan A : Effect of stretching on the intensity of delayed-onset muscle soreness . *Clinical Journal of Sport Medicine* , **4** (2) , 83-87 , 1994 .
- 83) Smith LL , Brunetz MH , Chenier TC , McCammon MR , Houmard JA , Franklin ME and Israel RG : The effects of static and ballistic stretching on delayed onset muscle soreness and creatine kinase . *Research Quarterly for Exercise and Sport* , **64** (1) , 103-107 , 1993 .
- 84) Smith LL , Keating MN , Holbert D , Spratt DJ , McCammon MR , Smith SS and Israel RG : The effects of athletic massage on delayed onset muscle soreness , creatine kinase , and neutrophil count : a preliminary report . *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* , **19** (2) , 93-99 , 1994 .
- 85) Hilbert JE , Sforzo GA and Swensen T : The effects of massage on delayed onset muscle soreness . *British Journal of Sports Medicine* , **37** (1) , 72-75 , 2003 .
- 86) Tiidus PM and Shoemaker JK : Effleurage massage ,muscle blood flow and long-term post-exercise strength recovery . *International Journal of Sports Medicine* , **16** (7) , 478-483 , 1995 .
- 87) Bale P and James H : Massage , warmdown and rest as recuperative measures after short term intense exercise . *Physiotherapy Sport* , **13** , 4-7 , 1991 .
- 88) Farr T , Nottle C , Nosaka K and Sacco P : The effects of therapeutic massage on delayed onset muscle soreness and muscle function following downhill walking . *Journal of Science and Medicine in Sport* , **5** (4) , 297-306 , 2002 .
- 89) Hasson S , Mundorf R , Barnes W , Williams J and Fujii M : Effect of pulsed ultrasound versus placebo on muscle soreness perception and muscular performance . *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine* , **22** , 199-205 , 1990 .
- 90) Glasgow PD , Hill ID , McKevitt A-M , Lowe AS and Baxter D : Low intensity monochromatic infrared therapy : A preliminary study of the effects of a novel treatment unit upon experimental muscle soreness . *Lasers in Surgery and Medicine* , **28** (1) , 33-39 , 2001 .
- 91) Craig JA , Barlas P , Baxter GD , Walsh DM and Allen JM : Delayed-onset muscle soreness : Lack of effect of combined phototherapy/low-intensity laser therapy at low pulse repetition rates . *Journal of Clinical Laser Medicine and Surgery* , **14** (6) , 375-380 , 1996 .
- 92) Craig JA , Barron J , Walsh DM and Baxter GD : Lack of effect of combined low intensity laser therapy/phototherapy on delayed onset muscle soreness in humans . *Lasers in Surgery and Medicine* , **24** (3) , 223-230 , 1999 .
- 93) 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 .

- 94) Howatson G and Van Someren KA : Ice massage .—Effects on exercise-induced muscle damage— . *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* , **43** (4) , 500–505 , 2003 .
- 95) Isabell WK ,Durrant E ,Myrer W and Anderson S : The effects of ice massage ,ice massage with exercise ,and exercise on the prevention and treatment of delayed onset muscle soreness . *Journal of Athletic Training* , **27** (3) , 208–217 , 1992 .
- 96) Yanagisawa O ,Miyanaga Y ,Shiraki H ,Shimojo H ,Mukai N ,Niitsu M and Itai Y : The effects of various therapeutic measures on shoulder strength and muscle soreness after baseball pitching . *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* , **43** (2) , 189–201 , 2003 .
- 97) 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 .
- 98) Sumida KD ,Greenberg MB and Hill JM : Hot gel packs and reduction of delayed-onset muscle soreness 30 minutes after treatment . *Journal of Sport Rehabilitation* , **12** (3) , 221–228 , 2003 .
- 99) Prentice WE : An electromyographic analysis of the effectiveness of heat or cold and stretching for inducing relaxation in injured muscle . *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* , **3** , 133–140 , 1982 .
- 100) Fu FH ,Cen HW and Eston RG : The effects of cryotherapy on muscle damage in rats subjected to endurance training . *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports* , **7** , 358–362 , 1997 .
- 101) Yanagisawa O ,Niitsu M ,Yoshioka H ,Goto K ,Kudo H and Itai Y : The use of magnetic resonance imaging to evaluate the effects of cooling on skeletal muscle after strenuous exercise . *European Journal of Applied Physiology* , **89** , 53–62 , 2003 .
- 102) Paddon-Jones DJ and Quigley BM : Effect of cryotherapy on muscle soreness and strength following eccentric exercise . *International Journal of Sports Medicine* , **18** , 588–593 , 1997 .
- 103) Eston R and Peters D : Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage . *Journal of Sports Science* , **17** (3) , 231–238 , 1999 .
- 104) Webster AL ,Syrotuik DG ,Bell GJ ,Jones RL and Hanstock CC : Effects of hyperbaric oxygen on recovery from exercise-induced muscle damage in humans . *Clinical Journal of Sport Medicine* , **12** (3) , 139–150 , 2002 .
- 105) Babul S ,Rhodes EC ,Taunton JE and Lepawsky M : Effects of intermittent exposure to hyperbaric oxygen for the treatment of an acute soft tissue injury . *Clinical Journal of Sport Medicine* , **13** (3) , 138–147 , 2003 .
- 106) Germain G ,Delaney J ,Moore G ,Lee P ,Lacroix V and Montgomery D : Effect of hyperbaric oxygen therapy on exercise-induced muscle soreness . *Undersea & Hyperbaric Med* , **30** (2) , 135–145 , 2003 .
- 107) Harrison BC ,Robinson D ,Davison BJ ,Foley B ,Seda E and Bynes WC : Treatment of exercise-induced muscle injury via hyperbaric oxygen therapy . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **33** (1) , 36–42 , 2001 .
- 108) Mekjavic IB ,Exner JA ,Tesch PA and Eiken O : Hyperbaric oxygen therapy does not affect recovery from delayed onset muscle soreness . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **32** (3) , 558–563 , 2000 .
- 109) Staples JR ,Clement DB ,Taunton JE and McKenzie DC : Effects of hyperbaric oxygen on a human model of injury . *American Journal of Sports Medicine* , **27** (5) , 600–605 , 1999 .
- 110) Hill JM and Sumida KD : Acute effect of 2 topical counterirritant creams on pain induced by delayed-onset muscle soreness . *Journal of Sport Rehabilitation* , **11** , 202–208 , 2002 .
- 111) Politino V ,Smith SL and Waggoner WC : A clinical study of topical 10% triethanolamine salicylate cream for relief of postexercise muscle pain . *Journal of Athletic Training* , **20** , 29–31 , 1985 .
- 112) Hill DW and Richardson JD : Effectiveness of 10% trolamine salicylate cream on muscular soreness induced by a reproducible program of weight training . *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* , **11** , 19–23 , 1989 .
- 113) Symons TB ,Clasey JL ,Gater DR and Yates JW : Effects of deep heat as a preventative mechanism on delayed onset muscle soreness . *Journal of Strength and Conditioning Research* , **18** (1) , 155–161 , 2004 .
- 114) Evans RK ,Knight KL ,Draper DO and Parcell AC : Effects of warm-up before eccentric exercise on indirect markers of muscle damage . *Medicine and Science in Sports and Exercise* , **34** (12) , 1892–1899 , 2002 .

- 115) Viitasalo JT , Niemela K , Kaappola R , Korjus T , Levola M , Mononen HV , Rusko HK and Takara TE : Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise . *European Journal of Applied Physiology* , **71** , 431-438 , 1995 .
- 116) Kraemer WJ , Bush JA , Wickham RB , Denegar CR , Gomez AL , Gotshalk LA , Duncan ND , Volek JS , Putukian M and Sebastianelli WJ : Influence of compression therapy on symptoms following soft tissue injury from maximal eccentric exercise . *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* , **31**(6) , 282-290 , 2001 .
- 117) Kraemer WJ , Bush JA , Wickham RB , Denegar CR , Gomez AL , Gotshalk LA , Duncan ND , Volek JS , Newton RS , Putukian M and Sebastianelli WJ : Influence of compression therapy on symptoms following soft tissue injury from maximal eccentric exercise . *Journal of Sport Rehabilitation* , **10**(1) , 11-23 , 2001 .
- 118) Chleboun GS , Howell JN , Baker HL , Ballard TN , Graham JL , Hallman HL , Perkins LE , Schauss JH and Conatser RR : Intermittent pneumatic compression effect on eccentric exercise-induced swelling , stiffness , and strength loss . *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* , **76** , 744-749 , 1995 .
- 119) Vicker AJ , Fisher P , Smith C , Wyllie SE and Lewith GT : Homoeopathy for delayed onset muscle soreness : A randomized double blind placebo controlled trial . *British Journal of Sports Medicine* , **31**(4) , 304-307 , 1997 .
- 120) Vicker AJ , Fisher P , Smith C , Wyllie SE and Rees R : Homeopathic Arnica 30 × is ineffective for muscle soreness after long-distance running : A randomized , double-blind , placebo-controlled trial . *The Clinical Journal of Pain* , **14** , 227-231 , 1998 .
- 121) Hasson S , Barnes W , Hunter M and Williams J : Therapeutic effect of high speed voluntary muscle contractions on muscle soreness and muscle performance . *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* , **10** , 499-507 , 1989 .

(平成19年 5月15日受理)

Literature and Document Analyses on Various Preventive and Treatment Techniques of Delayed Onset Muscle Soreness and Exercise-induced Muscle Damage

Tomiaki KAWAOKA, Sho ONODERA and Shinpei TAKUMA

(Accepted May 15, 2007)

Key words : delayed onset muscle soreness, exercise-induced muscle damage, preventive and treatment techniques

Correspondence to : Tomiaki KAWAOKA Faculty of Sports Trainer, Human Academy
Sendai, 980-6114, Japan
E-Mail: tommy-adams-kawaoka@mail.tains.tohoku.ac.jp
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.17, No.1, 2007 247-262)