

Key Words【伸張性運動：eccentric exercise、疲労：fatigue、筋痛：muscle soreness、疼痛：pain、筋力：strength】

# 積極的回復方策が運動誘発性筋損傷に伴う症状の管理にもたらす効果:系統的レビュー

## Effect of Active Recovery Protocols on the Management of Symptoms Related to Exercise-Induced Muscle Damage: A Systematic Review

Rony Fares,<sup>1,2</sup> M.Sc. Germán Vicente-Rodríguez,<sup>1,2,3,4</sup> Ph.D. Hugo Olmedillas,<sup>5,6</sup> Ph.D.<sup>1</sup>GENUD (Growth, Exercise, Nutrition and Development) Research Group, Universidad de Zaragoza, Spain<sup>2</sup> Faculty of Health and Sport Sciences (FCSD), Department of Psychiatry and Nursing, Universidad de Zaragoza, Huesca, Spain<sup>3</sup>Centro de Investigación Biomédica en Red de Fisiopatología de la Obesidad y Nutrición (CIBERObn), Spain<sup>4</sup>Instituto Agroalimentario de Aragón (IA2)<sup>5</sup>Department of Functional Biology; University of Oviedo, Spain<sup>6</sup>Health Research Institute of the Principality of Asturias (ISPA), Oviedo, Spain

### 要約

積極的回復は、遅発性筋痛を緩和し、運動誘発性筋損傷(EIMD)から回復するための効率的な方法である。この系統的レビューの主な目的は、EIMD後の様々な積極的回復方策を特定し、比較することである。6つのデータベースを検索し、適格性を有する研究17件を採用した。その結果、単独の筋群の筋活動、アクアエクササイズ、ヨガ、およびジョギングとランニングの併用など、1つまたは複数の回復方策実施後に、筋痛の緩和、筋力低下の予防、柔軟性の改善、および炎症の軽減が認められた。より適切な方策として、トレーニングの厳密なピリオダイゼーションとエクササイズに用いる負荷の調整を通じ、EIMDをもたらす症状の予防に焦点を当てる必要がある。

### はじめに

エクササイズは、全身の健康状態とパフォーマンスレベルのいずれにも、多数の利点と効果をもたらす。エクササイズの効果を高めるためには、傷害の発生を予防し、傷害発生時には回復を早める方法として、特定の注意事項や要件を順守することが推奨される。慣れないエクササイズの実施後に生じる運動誘発性筋損傷(EIMD)のうち、最も一般的で報告例の多いもののひとつが、遅発性筋痛(DOMS)と呼ばれる現象である。DOMSは、骨格筋に感じる痛みと定義され、通常は筋力の低下を伴う(6)。この痛みの強さは、運動後24時間以内に増大し、24~72時間にピークに達し、運動後5~7日までに減少および消失する特徴を有する(47)。DOMSを引き起こすメカニズムはいまだ解明されていないが、多くの仮説や理論では、筋痙攣(50)、結合組織と筋の損傷(22)、酵素の流出(18)、低酸素と虚血(13)、および炎症(15)といっ

た現象に起因すると考えられている。

生理学的な観点からは、疾患のない筋において、伸張性運動による損傷は、筋内の炎症を引き起こす(38)。この反応は、協調的かつ動的なプロセスであり、適応的なリモデリングと恒常性の回復をもたらす(39)。このような反応を遮断または低減すると、筋の再生や迅速な回復が妨げられる(9)。ほとんどの種類の組織損傷に伴う炎症の結果として、特に、血清中のC反応性タンパク質(CRP)やクレアチンキナーゼ(CK)といった急性期反応物質の変化が、循環白血球数の増加とともに観察される(16)。その結果、プロスタグランジンとロイコトリエンの合成が起こり、前者は痛みの感覚に関与し、また後者は血管の透過性を高めて好中球を損傷部位に引き寄せ、フリーラジカルを生成し、筋に腫脹を引き起こし、細胞膜の損傷を悪化させる役割を果たす(10,11)。

DOMSの重症度は、EIMDの持続時

間と強度に影響され、主に強度が決定因子となるが(8)、筋活動の種類(等尺性、短縮性、伸張性、またはその両方)も筋痛に影響を及ぼす要因である(23)。等尺性筋活動と伸張性筋活動は、短縮性筋活動と比較して、より強い主観的筋痛を引き起こし、また、伸張性は等尺性よりも強い筋痛を引き起こすことが明らかになっている(7)。さらに伸張性筋活動は、安静時や他の種類の筋活動と比較して、筋力の30～36%低下(37)、可動域(ROM)の5～7%減少(5)、および筋スティフネスの増大を数日間引き起こしたが、血漿CK濃度に有意差はみられなかった(7,14,33,34)。また、ダウンヒルランニングと平坦な場所でのランニングが筋痛と血漿CK濃度に及ぼす影響を比較したところ、ダウンヒルランニング後に両変数が有意に増大することが明らかになっている(44)。さらに、高強度インターバルトレーニングの様々なプロトコルを検証した研究によると、短時間のスプリントはより長時間のインターバルと比較して、筋損傷と筋痛の程度が高かった(55)。

本レビューでは、DOMSやその他の関連症状に対処することを目的に、様々な積極的回復方策を調査した。対象は、被験者自身が動作や活動を実施する方法のみとする。いくつかの研究が、血中乳酸除去の促進と筋パフォーマンスの向上(24)、随意的等尺性筋活動の向上(30)、総合的な回復の促進、および下肢のおもだるさの軽減(26)などの生理学的効果を期待できることから、積極的回復を消極的回復よりも高く評価している。最後の2つの結果は、上述した生理学的効果だけでなく、知覚および心理面にもたらす利点からも、積極的回復の使用を支持するものである(26)。しかし、いくつかの積極的回復方策は、エクササイズの種類、継続時間、および様式の選択に関して、議論の分かれる結果を示している

(18,36,41,46,48,51)。我々の知る限り、EIMD後のパフォーマンスを向上させるための積極的回復方策について、専門的かつ詳細な分析を実施したレビューはほかに存在しない。本レビューは、利点をまとめ、限界を明らかにし、どのような種類の積極的回復が、高強度運動後のパフォーマンスレベル向上を可能とするかについて、運動実施者やコーチ、治療専門家に実践的なアプローチを提供することを目的とする。本稿の主な論点は、調査した積極的回復方策が、効率的にスポーツ専門職の要求を満たし、アスリートにパフォーマンスレベルの最適な向上を提供できるかどうかである。

## 方法

文献検索に用いた方法は、Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA: 系統的レビューおよびメタ分析のための優先的報告項目) 声明(31)の指針に従って実施された。本レビューは、英国ヨーク大学のPROSPEROに登録されている(登録番号CRD42018114679)。以下に、選択におけるバイアスを減らすために、レビューがどのように実施されたかを詳述する。

## 検索方法

主要な6つのデータベースにおいて、2020年1月2日までに発表された論文を対象に詳細な検索を実施した。電子データベースのPubMed/MEDLINE、Web of Science、SPORTDiscus、Embase、Scopus、およびCENTRALから論文を収集した。また、進行中の研究を特定するため、2020年3月1日に、ClinicalTrials.govおよび世界保健機関(WHO)の国際臨床試験登録プラットフォームにおいて、臨床試験登録の検索を行なった。さらには電子データベース検索の補完として、採用された論

文の参考文献を手動でスクリーニングし、またScopusにおいて採用研究の引用を追跡することで、さらなる研究を特定した。

## 選択基準

選択基準として、実験群と対照群を含む試験、クロスオーバー研究デザイン、積極的回復方策を最低1種類含む研究、異なる間隔で最低48時間にわたり評価項目を測定した研究、ヒトを対象とする研究、および英語で書かれた論文という条件を満たす研究を採用した。系統的レビューやメタ分析は除外した。採用基準と除外基準を検討した結果、計17件の文献を本系統的レビューの対象として選定した(図1)。

## 研究の選択

検索方法においては、すべてのデータベースからすべての結果を収集し、『Mendeley Reference Manager』を用いて重複する文献を除外した。検索方法を通じて特定された論文は、2名の評価者(Rony、Hugo)が独立して、まず表題と要約を、次いで全文を対象にスクリーニングを行なった。論文の採用に関して意見が一致しない場合は、第三者を交えて合意に達するまで議論がなされた。データは、電子的なデータ抽出フォームを用いて、2名の評価者(Rony、Hugo)が重複して個別に抽出した。抽出されたデータには、著者と発表年、被験者の特徴(人数、トレーニング状態、性別、および年齢)、ならびに用いられたEIMDおよび積極的回復方策が含まれる。

## 質的評価

採用された研究は、2名の評価者(Rony、Hugo)が独立して、5つのサブカテゴリと計27項目からなるチェックリストを用いて、治療介入に関するランダム化および非ランダム化研究の方法論的質を評価した。5つのサブ

カテゴリーはそれぞれ、(a)報告：研究の提供する情報が、読者に結果の不偏的な評価をもたらすかどうかを評価する10項目、(b)外的妥当性：研究の結果が、そのサンプルの属する母集団にどの程度一般化できるかを評価する3項目、(c)内的妥当性(バイアス)：介入と結果の測定におけるバイアスを評価する7項目、(d)内的妥当性(交絡因子による選択バイアス)：被験者の選択におけるバイアスを評価する6項目、ならびに(e)検定力：否定的な研究結果が偶然による可能性があるか評価する1項目からなる。各項目への回答には、0点または1点が付与されたが、報告に関するサブカテゴリーの1項目は0～2点、検出力に関する1項目か

らなる最後のサブカテゴリーは0～5点とした。その結果、合計スコアは最大31点となった。本レビューで採用された研究の平均点は、17.7点であった(12)(表1)。

## 結果

### 採用された研究

感度と特異度を最大化するために、検索方法とフィルターを各データベース向けに調整して使用した。計2,588件の文献を調査し、そのうち1,105件の重複を除外した。残りの論文の表題と要約を分析し、関連性のないトピックや研究、学会で発表された論文、およびレビュー論文を除外し、残った43件の論文をスクリーニング

に回してさらに調査した。全文を通読した結果、26件の論文が除外され、選択基準を満たす17件の研究が質的評価に採用された(1,3,6,20,21,26,31,35,38,43,46,48,51,52,54,56,57)(図1)。

### 被験者の特徴

質的評価では、男性190名、女性291名からなる計481名の被験者が対象となった。研究のうち3件は男性のみ(25,46,51)、4件は女性のみ(1,3,48,52)を評価し、残る10件は男女のサンプルを採用していた。各研究の被験者数は、最小10名(19,46)から最大70名(18)であった。被験者の平均年齢は24.4歳、最年少は18.7歳(25)、最年長は38.0歳(3)であった。

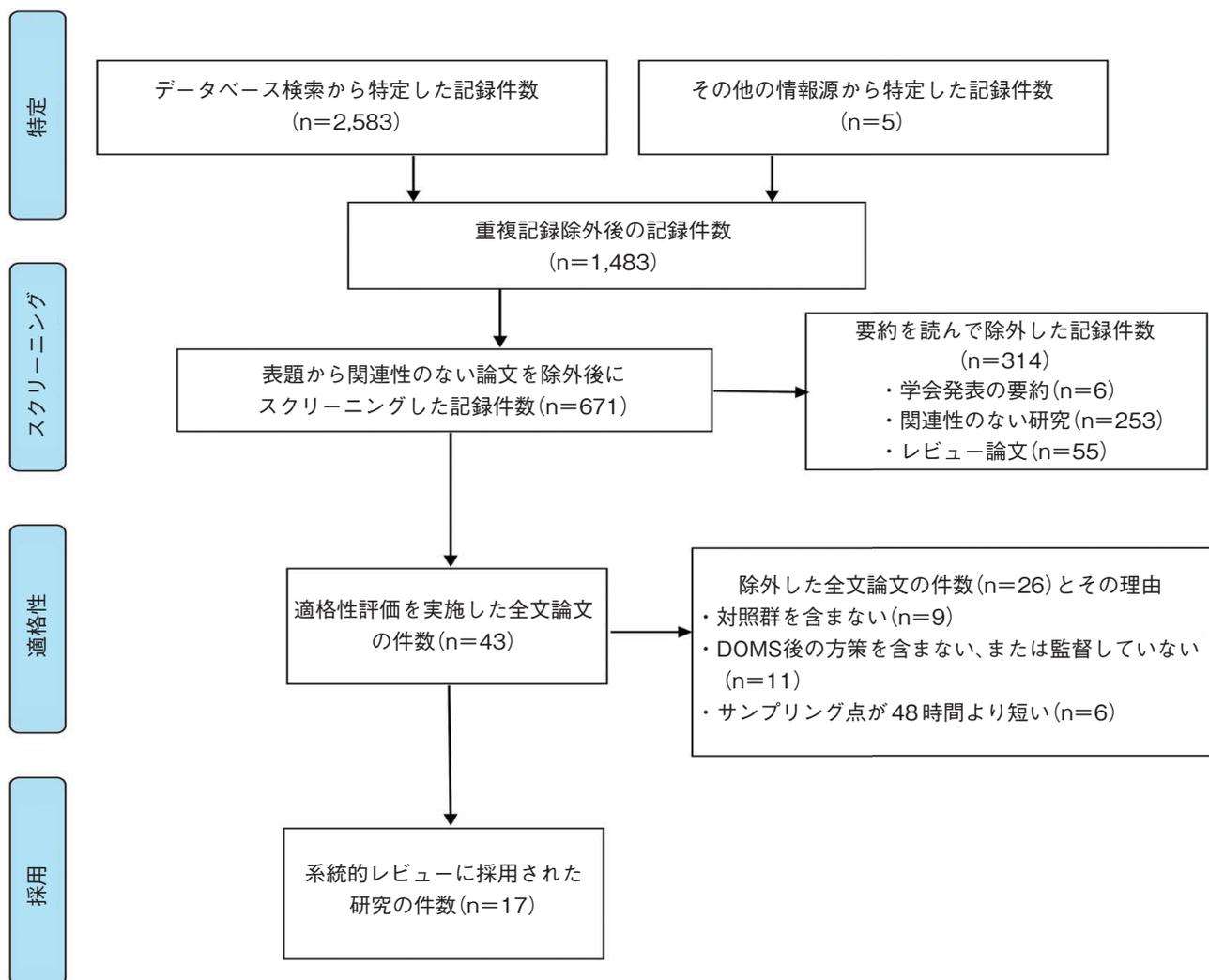


図1 研究選択プロセスのフローチャート

表1 方法論的な質を評価するためのチェックリスト

研究	報告										外的妥当性			内的妥当性：バイアス						内的妥当性：交絡因子						検 定 力	ス コ ア	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			26
Anderssonら (1)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	17
Boyleら (3)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	17
Burokerら (4)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	19
Gulickら (18)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	17
Hassonら (19)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	18
Kawczynskiら (25)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	18
Lawら (28)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	23
Naugleら (32)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	19
Olsenら (35)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	17
Sakamotoら (43)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	16
Takahashiら (46)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	16
Tufanoら (48)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	15
Wahlら (51)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	17
Weberら (52)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	15
Wesselら (54)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	18
Xieら (56)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	22
Zainuddinら (57)	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	17

被験者の体力レベルについては、異なる種類のスポーツから被験者が採用されており、サッカー選手(1,25)、長距離ランナー(46)、様々なスポーツに参加する学生(51)、ヨガ経験者(3)、レクリエーションとして定期的にエクササイズを実施する人(35)のほか、トレーニング未経験の健康な人(4,18,19,28,32,45,49,52,54,56,57)も含まれた。

介入の特徴

すべての研究が、EIMD後の積極的回復方策の効果を調査していた。研究は、回復方策の種類によって分類し、表2に概要を示した。回復方策の種類は、単独の筋群の筋活動(19,43,57)、自転車運動またはアームクランキ

ング(1,18,35,48,52)、ストレッチング(4,54,56)、全身運動(25,28,32)、アクアエクササイズ(46,51)、およびヨガ(3)である。すべての回復方策は、損傷を誘発したのと同じ筋群に対して実施された。すべての研究は、評価尺度、痛覚計、または質問票のいずれかによって筋痛を測定した。筋パフォーマンスの変数である最大随意収縮(MVC)、カウンタームーブメントジャンプ(CMJ)、ピークトルク(PT)、総仕事量(TW)、PTの発揮角度、筋パワー、ストレッチ-ショートニングサイクル(SSC)、スプリントタイム、および動的疲労は、12件の研究(1,4,18,19,35,45,48,49,51,52,56,57)において測定された。また7件の研究において、炎症性マーカーであ

るCK(1,4,25,45,48,51,57)、ミオグロビン(25,51)、乳酸脱水素酵素(51)、尿素、および尿酸(1)が評価された。柔軟性は3件の研究(3,46,54)、主観的運動強度は3件の研究(3,25,51)、自動および他動ROMは6件の研究(18,32,43,46,56,57)、および筋の周囲径は4件の研究(4,18,45,56)において評価され、その他、身体の意識、障害、反応時間、および主観的な身体状態に関する変数は、4件の研究(3,25,32,46)において評価された。

表2 運動誘発性筋損傷(EIMD)に伴う症状の管理における様々な回復方策

研究	被験者 (性別、年齢、群)	トレーニング 状態	DOMSを誘発 する運動	EIMD後の 積極的回復方策	評価項目	サンプリング 点	結果
単独の筋群の筋活動							
Hassonら (19)	6♂ 4♀ (28.7± 8.0歳)、MCE群 (n=5)、CG(n=5)	記載なし	10分間のベンチステップ運動を15ステップ/分で	膝関節のF、Eを6セット×20レップ	MVC、PT、TW、SPI	運動前、運動後、24時間後、48時間後	筋痛とSPIの減少、筋パフォーマンスの低下抑制
Sakamotoら (43)	7♂ 5♀ (25.9± 3.7歳)、MCE側の腕(n=12)、対照側の腕(n=12)	活動的なトレーニング未経験者	ECEFを5セット×6レップ	アームカール5セットを疲労困憊まで(70%MVC)で4日間	VAS、MC、SJA、CK、MVC、SSC	運動前、運動後、1日後、2日後、3日後、5日後、7日後	MCE側における静的な弛緩時の角度が増大 対照側とMCE側におけるMC、MVC、DEAが増大
Zainuddinら (57)	10♂ 4♀ (24.4± 2.4歳)、LCE側の腕(n=14)、対照側の腕(n=14)	記載なし	ECEFを10セット×6レップ	20分間のLCE：肘関節のF、Eを10セット×60レップで4日間	VAS、圧痛、MVC、CON-PT、ROM(FANGとSANGの差)、RANG、MC、CK	運動前、運動後、1日後、2日後、3日後、4日後、7日後	LCE直後の筋痛と圧痛が減少
自転車運動およびアームクラッキング							
Anderssonら (1)	17♀ (22±3.4歳)、AR群(n=8)、CG(n=9)	エリートレベルのサッカー選手	サッカーの試合1回	20分間の自転車運動(60%HRmax)、30分間のRT(<50%1RM)(上下半身)、10分間の自転車運動(60%HRmax)	リッカート尺度、CMJ、ST、PT、CK、UA、U	運動前、運動後、5時間後、21時間後、27時間後、45時間後、51時間後、69時間後	効果なし
Olsenら (35)	15♂ 21♀ (20~30歳)、ウォームアップ群(n=12)、クールダウン群(n=12)、CG(n=12)	レクリエーションレベルで活動的な人	フロントランジを5セット×10レップ	クールダウン：20分間のMICを65~75rpm(60~70%HRmax)で	VAS、PPT、MVC	運動前、24時間後、48時間後	クールダウン群：PPTが24時間後に運動前に比べて低下
Tufanoら (48)	26♀ (22.1± 2.49歳)、MIC群(n=10)、LIC群(n=10)、CG(n=6)	DOMSに慣れている人	ECKEを6セット×10レップ	MIC：20分間の自転車運動を80rpm(70%HRmax)でLIC：20分間の自転車運動を80rpm(30%HRmax)で	PS、MVC、PT	運動前、運動後、24時間後、48時間後、72時間後、96時間後	MIC群：MVCが72時間後および96時間後に24時間後と比べて増大、また72時間後に直後と比べて増大
Gulickら (18)	35♂ 35♀ (21~40歳)、NSAID摂取群、UEE群、IM群、SS群、OSP群、CG	トレーニング未経験者	ECWEを15セット×15レップ	10分間のUEEを高速度で(360°/秒)	A+P ROM、MC、体積、VAS、PPT、MVC、CONおよびECCのTW、PT、PTの発揮角度	運動前、運動後、20分後、24時間後、48時間後、72時間後	効果なし
Weberら (52)	40♀ (18~35歳)、マッサージ群(n=10)、UEE群(n=10)、NMES群(n=10)、CG(n=10)	トレーニング未経験者	ECEFを10レップまたは疲労困憊まで5秒/レップで	8分間のUEEを60rpm、負荷400kg・m/分で	VAS、MVC、PT	運動前、24時間後、48時間後	効果なし

表2 運動誘発性筋損傷 (EIMD) に伴う症状の管理における様々な回復方策 (つづき)

研究	被験者 (性別、年齢、群)	トレーニング 状態	DOMSを誘発 する運動	EIMD後の 積極的回復方策	評価項目	サンプリング 点	結果
ストレッチング							
Burokerら (4)	16♂ 7♀ (18 ~ 33 歳)、LKEストレッチング群 (n=7)、LKE+RPFストレッチング群 (n=8)、CG (n=8)	中程度に活動的な人	20 分間のベンチステップ運動を15ステップ/分で	SSを10 レップ/30秒で、レップ間に10秒間の休息、左KEおよび右PF	VAS、PPT、MC、MVC、CK	運動前、24時間後、48時間後、72時間後	効果なし
Wesselら (54)	13♂ 7♀ (25.2±3.36 歳)、EIMD前のストレッチングを実施した脚/対照側の脚 (n=10)、EIMD後のストレッチングを実施した脚/対照側の脚 (n=10)	非活動的な人	CECKFを3セット×20レップ	ハムストリングスのSSを10回、60秒間保持	VAS、PPT、SLR	VAS：12時間後、24時間後、36時間後、60時間後、72時間後 / PPT+SLR：運動前、48時間後	効果なし
Xieら (56)	20♂ 28♀ (21.7±1.4 歳)、DS群 (n=16)、SS群 (n=16)、CG (n=16)	健康な人	エラスティックバンドを抵抗に用いたヒールレイズを3セット、120回/分で	DS：S+GのC-R/5秒およびICを30秒のストレッチングを10回、SS：S+GのSS/30秒保持を10回、各1日2回で5日間	VAS、PPT、ROM、MC、MIC	運動前、運動後、24時間後、48時間後、72時間後、96時間後、120時間後	効果なし
全身運動							
Kawczynski ら (25)	11♂ (18.7±1.2 歳)、S1群、S2群、S3群	プロサッカーのフィールド選手	サッカーの試合3回	標準的回復(試合後に活動せず、24時間後に30分間のジョギング、48時間後にボールコントロールスキル)/対照群：活動なしの回復/DOMS軽減トレーニング群(試合後に20分間のジョギング、24時間後と48時間後に20分間のジョギング、20分間のランニングとサッカーに関連した伸張性筋活動、および20分間のボールコントロールスキル)	RPE、PPT、CK、Mb	運動前、24時間後、48時間後	「DOMS軽減」トレーニングでPPTが上昇、「活動なし」および「DOMS軽減トレーニング」でCKが上昇
Lawら (28)	23♂ 29♀ (17~40 歳)、ウォームアップ+クールダウン群 (n=13)、ウォームアップ群 (n=13)、クールダウン群 (n=13)、CG (n=13)	記載なし	30分間の下り坂バック歩行を35歩/分で	クールダウン：10分間のウォーキングを傾斜をつけたトレッドミルを使い時速4.5~5kmで	VAS、NRS、PPT	10分後、24時間後、48時間後、72時間後	ウォームアップ群で疼痛と圧痛が減少 クールダウンは疼痛と圧痛に有意な効果なし

表2 運動誘発性筋損傷(EIMD)に伴う症状の管理における様々な回復方策(つづき)

研究	被験者 (性別、年齢、群)	トレーニング 状態	DOMSを誘発 する運動	EIMD後の 積極的回復方策	評価項目	サンプリング 点	結果
Naugleら (32)	4♂ 44♀ (20.0 ±1.9歳)、WB群 (n=12)、IT群(n =12)、LCE群(n =12)、CG(n=12)	健康な成人	ECEFを3 セット×10 レップ	20分間のWB、EF を8セット×60 レップ	全体的な自動 ROM、痛みが生 じないROM、 VAS、PPT、 QuickDASH	運動前、24時 間後、AR1回目 後、48時間後、 AR2回目後	WB群でテスト 後にテスト前 に比べてEFの 痛みが生じな いROMが向上、 VASが低下、 PPTが上昇 WB群で2日目 にQuickDASH のスコアが上昇
アクアエクササイズ							
Takahashi ら(46)	10♂(20±1 歳)、AE群(n=5)、CG(n=5)	長距離ラン ナー	ダウンヒル ランニングを3 セット×5分	30分間のプール でのウォーキン グ、ジョギング、 およびジャンプ	スティフネ ス、MP、SR、 SL、ROM、CK、 WBRT	運動前、24時 間後、48時間 後、72時間後	AE群が疼痛の 回復で上回る AE群はWBRTが 低下せず
Wahlら (51)	20♂(24.4± 2.2歳)、AC群(n =10)、CG(n=10)	学生アスリー ト	CMJを300 回、8秒に1 回で	30分間のプール でのLICを65～ 75rpmで	VAS、RPE、 PEPS、MVC、動 的疲労テスト、 Mb、CK、LDH	EIMD前、EIMD 後、回復方策 前、回復方策 後、1時間後、2 時間後、4時間 後、24時間後、 48時間後、72 時間後	効果なし
ヨガ							
Boyleら(3)	24♀(37.8～ 38.3歳)、YG群 (n=12)、CG(n =12)	ヨガ経験者 と未経験者	20分間のベン チステップ運 動(15.5 ステップ/ 分)	90分間の低～中 強度のヨガクラ スを最初のテス トから24時間後 と72時間後に	BA、SR、VAS、 RPE	運動前、24時 間後、48時間 後、72時間後、 120時間後	YG群の疼痛が 減少、柔軟性が 増大

♂=男性、♀=女性、A=自動、AC=水中サイクリング、AE=アクアエクササイズ、AR=積極的回復、BA=身体意識、CECKF=膝関節屈曲筋群の短縮性/伸張性筋活動、CG=対照群、CK=クレアチンキナーゼ、CMJ=カウンタームーブメントジャンプ、CON=短縮性、C-R=収縮-弛緩、DEA=動的伸張角度、DOMS=遅発性筋痛、DS=動的ストレッチング、E=伸展、ECC=伸張性、ECEF=肘関節屈曲筋群の伸張性筋活動、ECWE=手関節伸張筋群の伸張性筋活動、EF=肘関節屈曲、F=屈曲、FANG=屈曲時の関節角度、HRmax=最大心拍数、IC=等尺性筋活動、IM=アイスマッサージ、IT=アイシング、KE=膝関節伸張筋群、LCE=低強度の短縮性運動、LDH=乳酸脱水素酵素、LIC=低強度の自転車運動、LKE=左膝関節伸張筋群、Mb=ミオグロビン、MC=筋周囲径、MCE=筋収縮運動、MIC=中強度の自転車運動、MP=筋パワー、MVC=最大随意収縮、NMES=神経筋電気刺激、NRS=数値評価尺度、NSAID=非ステロイド性抗炎症薬、OSP=軟膏および舌下剤、P=他動、PEPS=主観的的身体状態、PF=足関節底屈筋群、PPT=圧痛閾値、PS=疼痛スケール、PT=ピークトルク、QuickDASH=上肢障害評価表、RANG=弛緩時の関節角度、ROM=可動域、RPE=主観的運動強度、RPF=右足関節底屈筋群、rpm=分時回転数、RT=レジスタンストレーニング、S=セッション、SANG=伸展時の関節角度、S+G=ヒラメ筋と腓腹筋、SJA=静的関節角度、SL=ストライド長、SLR=ストレートレッグレイズ、SPI=主観的筋痛指数、SR=シット&リーチ、SS=静的ストレッチング、SSC=ストレッチ-ショートニングサイクル、ST=スプリントタイム、TW=総仕事量、U=尿素、UA=尿酸、UEE=上肢エルゴメータ、VAS=視覚的アナログ尺度、WB=『Wii Sports』のボクシングゲーム、WBRT=全身反応時間、YG=ヨガ

## 回復方策の結果

回復方策に膝関節屈曲/伸展運動を用いたところ、48時間後の時点で、対照群と比較して、疼痛が有意に減少し、また、膝関節伸張筋群におけるMVC、TW、およびPTの低下が小さかった(それぞれ8.3%と33.4%、2.3%と13.8%、および3.8%と12.1%)ことが報告され

ている(19)。肘関節屈曲筋群における低強度の短縮性屈曲/伸展運動は、直後に主観的筋痛の有意な減少(平均43%)をもたらしたが、この効果は短期的で持続しなかった(57)。

2種類の動的回復方策が、サッカーの試合の直後、24時間後、および48時間後に実施されている。「DOMS軽減ト

レーニング」セッション(ジョギング、ランニング、低強度の伸張性運動、およびボールコントロールスキル)と、「標準的な回復トレーニング」セッション(ジョギングおよびボールコントロールスキル)の2種類である(25)。試合前と試合後48時間の結果の違いは、「DOMS軽減トレーニング」後には疼痛

閾値が29%と有意に上昇したのに対し、「標準的な回復トレーニング」後には19%の低下が認められた(25)。また、血漿CK濃度は、試合後24～48時間の間に、回復方策を実施しない場合は36.6%、DOMS軽減トレーニングを実施した場合は22.3%と、有意に低下した(25)。Naugleらは、身体を動かして遊ぶ『Wii Sports』のボクシングゲームと、標準化された肘関節屈曲/伸展運動(重量1ポンド[約0.45kg]、8セット×60レップ)を互いに、また消極的回復と比較した。Wii Sportsのボクシングでは、低強度の短縮性運動と比較して、1日後の疼痛閾値がより高く、また全体的な自動ROMも上回った(150.67±1.16°と148.33±1.16°)(32)。

またアクアエクササイズとして、3日間連続で実施する全身の動的エクササイズ(46)と自転車運動(51)が調査されている。アクアエクササイズ群では、下腿の筋痛および筋ステイフネスが有意に低下し、併せて筋パワーにも有意な効果がみられたのに対し、対照群においては、EIMD後2日目により顕著な低下が認められた(46)。また水中サイクリング群では、すべての血中マーカーが対照群に比べてより大きな上昇を示した(51)。

ヨガエクササイズを実施した結果は、対照群と比較して、EIMD後24時間および48時間における筋痛のピークが低く、柔軟性が上回っていた(3)。

最後に、自転車運動とアームクラッキング(18,35,48,52)、自転車運動と低強度レジスタンストレーニングの併用(1)、ならびに静的および動的ストレッチ(4,54,56)を実施後に評価した評価項目については、いずれも有意な結果は報告されていない。

**表3**に、研究で測定されたすべての評価項目をまとめた。

## 考察

本系統的レビューの主な目的は、様々な積極的回復方策を検証および評価し、EIMDに伴うDOMS、およびその他の関連症状の回復にもたらす潜在的な効果を明らかにすることであった。単独の筋群における筋活動は、筋痛に対するプラスの効果を示しているが、筋パフォーマンスとROMへの効果はそれより小さい。下肢および上肢の自転車運動と、静的および動的ストレッチを検証した研究は、EIMD後の回復変数に有意な結果を示さなかった。ジョギング/ランニングは、主観的筋痛に関して良好な結果を示し、また高強度運動の直後から血中炎症性マーカーの低下が認められた。アップヒルウォーキングは、回復方策よりもウォームアップとして使用するほうが効率的であり、DOMSの軽減にプラスの効果を有するとみられる。同様に、アクアエクササイズは下肢の筋群の回復を促進し、筋痛、筋ステイフネス、および筋パワーのより迅速な改善を示した。最後に、ヨガはDOMSを緩和し、柔軟性を改善するとみられる。

以上のことから、筋活動が筋痛にもたらす効果については、これを裏づける有力な証拠が存在する。また、エクササイズに動機付けと楽しさを加えることも、他の積極的回復方策と比較して、効果を最大化する上で非常に重要であることが明らかになっている(32)。同様に、運動強度の選択も、結果に影響を及ぼす可能性がある。したがって、低～中強度のWii Sportsボクシングは、筋の活性化を高めることに繋がり、介入方策後の数日間におけるエクササイズの効果を最適化する方法となる可能性がある(32)。一方で、高強度トレーニングセッション後の数日間に、低強度の短縮性運動(LCE)として、非加重の反復的な屈曲/伸展運動を実施した場合には、回復方策の直後のみ、筋痛に有益な効果を示した(57)。

この結果は、低～中強度運動は筋痛の軽減に寄与するとみられるが、その効果は一時的で持続性はないことを示した「運動誘発性鎮痛」の仮説と一致する(27)。したがって実践的な観点から、LCEは、高強度トレーニングセッション直後の筋痛緩和に役立つものとして推奨されると考えられる。

膝関節屈曲/伸展運動を実施後の筋パフォーマンスの低下が小さい理由として、高速度での最大収縮(300°/秒)、または筋の緊張時間が短いことが、炎症性マーカーに効果をもたらす可能性が考えられる(19)。伸張性かつ高速度の筋活動では、主に速筋線維の運動単位が動員されるため(20)、タイプI線維よりも潜在的に損傷を生じやすいタイプII線維が刺激される(40)。これらの損傷を受けるタイプII線維を選択的に動員することは、液体貯留と腫脹を低減し、侵害受容器の活性化をもたらす神経成長因子、ヒスタミン、およびプロスタグランジンなどの炎症性サイトカインの増加を遅らせる(34)。そのため運動した側の下肢は、対照側の下肢と比べて軽い主観的筋痛が申告され、それによって、より高い筋パフォーマンスを示した。一方で、上肢を対象とした研究(32,43,57)においては、運動群と対照群の間で、すべての筋パフォーマンス関連変数に有意差は認められなかった。上肢を用いた研究では、損傷を引き起こす運動および疲労後の筋の回復に、有意なプラスの効果が得られていない。その理由は、回復に関与する筋量が関連している可能性があり、下肢は上肢より筋量が多いために、実施された筋活動がより強調され、有意なプラスの効果に繋がったことが考えられる。

ROMに対する2件の回復方策が矛盾する結果を示したことは、実施されたLCEの違いに起因している可能性がある(32,57)。例えば、1件の研究では、240°/秒の等速性ダイナモメータを用

表3 運動誘発性筋損傷 (EIMD) に伴う症状の評価に用いられた様々な評価項目

研究	評価項目						
	筋痛	筋パフォーマンス	炎症性マーカー	柔軟性	疲労	ROM	その他
Anderssonら (1)	リッカート尺度	PT, CMJ, ST	CK, UA, U				
Boyleら (3)	VAS			SR	RPE		BA
Burokerら (4)	VAS, PPT	MVC	CK				MC
Gulickら (18)	VAS, PPT	MVC, TW, PT, PTの発揮角度				自動および他動ROM	MC / 体積
Hassonら (19)	SPI	MVC, TW, PT					
Kawczynskiら (25)	PPT		CK, Mb		RPE		
Lawら (28)	VAS, NRS, PPT						
Naugleら (32)	VAS, PPT					全体的な自動ROM、痛みが生じないROM	QuickDASH
Olsenら (35)	VAS, PPT	MVC					
Sakamotoら (43)	VAS	MVC, SSC	CK			RANG, FANG	MC
Takahashiら (46)	質問票によるスティフネス	MP	CK	SR, SL		全体的な自動ROM	WBRT
Tufanoら (48)	PS	MVC, PT					
Wahlら (51)	VAS	MVC, 動的疲労	CK, Mb, LDH		RPE		PEPS
Weberら (52)	VAS	MVC/PT					
Wesselら (54)	VAS, PPT			SLR			
Xieら (56)	VAS, PPT	MVC				全体的な自動ROM	MC
Zainuddinら (57)	VAS, 圧痛	MVC, CON-PT	CK			ROM (FANGとSANGの差)、RANG	

BA=身体意識、CK=クレアチンキナーゼ、CMJ=カウンタームーブメントジャンプ、CON=短縮性、FANG=屈曲時の関節角度、LDH=乳酸脱水素酵素、Mb=ミオグロビン、MC=筋周囲径、MP=筋パワー、MVC=最大随意収縮、NRS=数値評価尺度、PEPS=主観的身体状態、PPT=圧痛閾値、PS=疼痛スケール、PT=ピークトルク、QuickDASH=上肢障害評価表、RANG=弛緩時の関節角度、ROM=可動域、RPE=主観的運動強度、SANG=伸展時の関節角度、SL=ストライド長、SLR=ストレートレッグレイズ、SPI=主観的筋痛指数、SR=シット&リーチ、SSC=ストレッチ-ショートニングサイクル、ST=スプリントタイム、TW=総仕事量、U=尿素、UA=尿酸、VAS=視覚的アナログ尺度、WBRT=全身反応時間

いて、10セット×60レップ(2秒間の屈曲/伸展)を20分間実施したのに対し(57)、もう1件の研究では、1ポンドのフリーウェイトを用いた8セット×60レップの屈曲/伸展を実施した(32)。このような運動様式の違いは、速度と負荷強度によって、等張性運動と等速性運動で生じる筋張力に違いをもたらす可能性がある。近年、一部の

研究では、運動強度の定量化において速度が重要であり、パフォーマンスの違いに繋がることが強調されている(37,41)。

上下肢に対して、低~中強度の回復方策を適用した場合、疼痛、等尺性筋力、および動的筋力に有意な変化はみられなかった(1,18,25,35)。ただし1件の研究では、中強度の自転車運動を

実施後、EIMD後24時間と比較して、72時間と96時間における等尺性筋力に向上がみられ、動的筋力には効果がみられなかった(48)。このような結果は、先に挙げた研究において、単独の筋群の筋活動が、主観的筋痛に有益な効果をもたらしたとする結果とは対照的である(19,43,57)。この相違は、検証した回復方策の強度の選択に起因する可

能性がある。短時間の持久系運動は、血流と筋血流の増加に関連しており、これは収縮要素の損傷を引き起こす高強度運動の実施後、有害な老廃物を除去するのに役立つ(49)。このように筋血流を増加させ、ひいては筋痛を軽減するために、毎回エクササイズの前に心拍数を上昇させ、組織の修復を促進することが提案されている(11)。以上をまとめると、自転車運動やアームクラッキングに用いられる低強度の持久系運動(30～60% HRmax)(1,48)や、上半身エルゴメータでの最大下収縮(360°/秒)(18)は、筋痛を大幅に軽減するには有効ではなかった可能性がある一方、より高強度の運動(60～70% HRmax)は、筋パフォーマンスにより良好な結果を示している(48)。

加えて、ストレッチングの実施後には、疼痛や主観的筋痛における有意な変化は認められなかった。これは、本レビューに採用したすべての研究において一貫している(4,5,4,56)。筋痛の発生は、内因性の発痛物質の蓄積に対する、筋の侵害受容プロセスを反映していると報告されている(17)。なお、ストレッチングを実施した群においては、肯定的な主観的知覚が期待され、ひいてはセッション後の緩和への期待が大きくなるため、回復方策において被験者の盲検化ができないことは、言及すべき重要な要因である(54)。動的ストレッチングは、等尺性筋活動が鎮痛効果をもたらす、その結果、疼痛の伝達を妨げるとの報告から、実施が推奨されていたが(21,45)、今回の結果は、この考えを支持するものではなかった。さらに、筋パフォーマンスと炎症性マーカーにも有益な効果は観察されなかったが、これは、純粋な伸張性筋活動によって筋痛を誘発するのではなく、短縮性と伸張性の筋活動を組み合わせて実施した場合、生じる筋損傷のレベルが低いことが報告されているためと考えられる(56)。

ウォームアップとクールダウンによる全身運動は、体温と筋コンプライアンスの増加、肉離れの減少(42)、およびDOMSの軽減(2)などの潜在的な利点を示している。本レビューに採用された研究においては、ウォームアップのみが、伸張性運動後48時間における筋痛および筋圧痛の減少に有意な効果を示した(28)。この結果は、血流を刺激して老廃物を除去し、エンドルフィンを増加させることで筋痛を緩和する方法として、主要な活動の前に動的エクササイズを実施する根拠となる(8)。

結果として、ここまでに取り上げたすべての研究との主な違いは、サッカーの試合のような高強度運動の24時間後と48時間後に、多量のエクササイズプロトコルを実施している点である。DOMSの影響を受ける主要な筋へのこのような追加の刺激は、機械受容器線維を介した痛み感覚に、より高いレベルの干渉をもたらすと考えられる(53)。

血漿CK活性に対するプラスの効果については、運動直後に行なう積極的回復方策は、運動後の血中マーカーを低下させると同時に、血液循環を増大させ、二酸化炭素、尿素、および尿酸などの代謝老廃物を除去するのに役立つとみられる。このことは、運動直後に多量の積極的回復方策を実施した後にみられるCKの低下を説明する可能性がある(25)。

また、水中でのエクササイズも、筋痛への効果的な対処法であることが明らかになっている(46)。説明として考えられるのは、水に入ることによって下肢への負荷が減少し、マッサージ効果が生じるため、末梢血流が増加し、浮腫の除去が促進され、局所の筋ステイフネスが低下することである。その結果、筋の腫脹が緩和され、疼痛が軽減されるとみられる。このマッサージ効果は、水中サイクリングにおいては低下する可能性があり(51)、このことは、水中サイ

クリング群と対照群にみられる疼痛強度が同程度であることを説明すると考えられる。

一方で、水中サイクリング後に血中マーカーが上昇したのは、大きな疲労を引き起こす運動(ジャンプ300回)の実施後に、水中で大腿前部の筋を対象とした局所運動(自転車漕ぎ)を実施したことで、筋の損傷が強調されたために生じた可能性がある(51)。アクアエクササイズが筋パフォーマンスにもたらす有益な効果は、ジェットマッサージの使用が潜在的な筋パワーの低下を防ぐとする先行研究においても支持されている(49)。

最後に、ヨガに関する結果は、筋痛に有益な効果を示した。これは、ヨガの経験がある被験者とない被験者に予め存在する、筋の状態の違いに関連している可能性がある(3)。また柔軟性も改善したが、ヨガの実践において、柔軟性は常に主観的筋痛の低下に関連づけられていることから(29)、この結果は、ヨガの実施後に疼痛強度が改善したことを説明する可能性がある。

## 結論

積極的回復方策は、消極的回復に比べて複数の利点と効果を示し、主に筋痛の程度において改善が観察された。単独の筋群の筋活動、ジョギング、ランニング、アクアエクササイズ、およびヨガは、いずれもEIMDに伴うDOMSの管理に限定的な効果を有するとみられる。アクアエクササイズは筋パワーの低下をある程度予防し、ジョギングとランニングは炎症性マーカーを低下させ、ヨガは柔軟性を改善した。一方で、アームクラッキング、自転車運動、およびストレッチングは、筋痛やその他の症状には効果がなかったとみられる。さらに積極的回復は、機能的能力やパフォーマンスにはさほど顕著な効果をもたらさなかった。なお重要な点として、検証されたどの方策も、筋痛にマイ

ナスの影響を及ぼすことはなかった。以上のことから、アスリートの全体的なパフォーマンスに影響を及ぼすことなく回復期間を短縮する試みは、依然として重要な課題であり、トレーニングの利点と効果を最適化するためには、さらなる調査が必要である。

## 現場への応用

本レビューは、スポーツ専門職にくつつかの実践的な示唆をもたらしている。積極的回復において、高強度トレーニングセッション後のパフォーマンスレベルの向上に特に有効な方策はみつからなかったが、パフォーマンスに関連する様々な側面にもたらす利点は強調せざるをえない。水中でのエクササイズは、高強度トレーニングセッション後の筋力低下を抑制するのに優れた方法となる可能性がある。また筋痛の痛みは、単独の筋群の筋活動から全身運動まで、複数の回復方策によって緩和することが可能である。◆

## References

- Andersson H, Raastad P, Nilsson J, et al. Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: Effects of active recovery. *Med Sci Sports Exerc* 40: 372-380, 2008.
- Bale P, James H. Massage, warmdown and rest as recuperative measures after short term intense exercise. *Physiother Sport* 13: 4-7, 1991.
- Boyle CA, Sayers SP, Jensen BE, Headley SA, Manos TM. The effects of yoga training and a single bout of yoga on delayed onset muscle soreness in the lower extremity. *J Strength Cond Res* 18: 723-729, 2004.
- Buroker KC, Schwane JA. Does postexercise static stretching alleviate delayed muscle soreness?. *Physician Sports Med* 17: 65-83, 1989.
- Chatzinikolaou A, Fatouros IG, Gourgoulis V, et al. Time course of changes in performance and inflammatory responses after acute plyometric exercise. *J Strength Cond Res* 24: 1389-1398, 2010.
- Cheung K, Hume PA, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness: Treatment strategies and performance factors. *Sports Med* 33: 145-164, 2003.
- Clarkson PM, Byrnes WC, McCormick KM, Turcotte LP, White JS. Muscle soreness and serum creatine kinase activity following isometric, eccentric, and concentric exercise. *Int J Sports Med* 70: 152-155, 1986.
- Cleak MJ, Eston RG. Delayed onset muscle soreness: Mechanisms and management. *J Sports Sci* 10: 325-341, 1992.
- Connolly DAJ, Sayers SP, McHugh MP. Treatment and prevention of delayed onset muscle soreness. *J Strength Conditioning Res* 17: 197-208, 2003.
- Dannecker EA, Koltyn KF, Riley JL III, Robinson ME. The influence of endurance exercise on delayed onset muscle soreness. *J Sports Med Phys Fitness* 42: 458-465, 2002.
- Davis WJ, Wood DT, Andrews RG, Elkind LM, Davis WB. Elimination of delayed onset muscle soreness by pre-resistance cardioacceleration before each set. *J Strength Cond Res* 22: 212-225, 2008.
- Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *J Epidemiol Community Health* 52: 377-384, 1998.
- Ebbeling CB, Clarkson PM. Exercise-induced muscle damage and adaptation. *Sports Med* 7: 207-234, 1989.
- Eston RG, Finney S, Baker S, Baltzopoulos V. Muscle tenderness and peak torque changes after downhill running following a prior bout of isokinetic eccentric exercise. *J Sports Sci* 14: 291-299, 1996.
- Evans WJ. Exercise-induced skeletal muscle damage. *Physician Sports Med* 15: 89-100, 1987.
- Gleeson M, Almey J, Brooks S, et al. Haematological and acute-phase responses associated with delayed-onset muscle soreness in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 71: 137-142, 1995.
- Graven-Nielsen T, Mense S. The peripheral apparatus of muscle pain: Evidence from animal and human studies. *Clin J Pain* 17: 2-10, 2001.
- Gulick DT, Kimura IF, Sitler M, Paolone a, Kelly JD. Various treatment techniques on signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *J Athletic Train* 31: 145-152, 1996.
- Hasson S, Barnes W, Hunter M, Williams J. Therapeutic effect of high speed voluntary muscle contractions on muscle soreness and muscle performance. *J Orthopaedic Sports Phys Ther* 10: 499-507, 1989.
- Nosratollah Hedayatpour, Deborah Falla, "Physiological and Neural Adaptations to Eccentric Exercise: Mechanisms and Considerations for Training", *BioMed Research International* 2015: 7, 2015.
- Hindle K, Whitcomb T, Briggs W, Hong J. Proprioceptive neuromuscular facilitation (PNF): Its mechanisms and effects on range of motion and muscular function. *J Hum Kinetics* 31: 105-113, 2012.
- Hough T. Ergographic studies in muscular soreness. *Am J Physiol* 7: 76-92, 1902.
- Jamurtas AZ, Fatouros IG, Buckenmeyer P, et al. Effects of plyometric exercise on muscle soreness and plasma creatine kinase levels and its comparison with eccentric and concentric exercise. *J Strength Cond Res* 14: 68-74, 2000.
- Jemni M, Sands WA, Friemel F, Delamarche P. Effect of active and passive recovery on blood lactate and performance during simulated competition in high level gymnasts. *Can J Appl Physiol* 28: 240-256, 2003.
- Kawczynski A, Mroczek D, Frackiewicz A, et al. Effects of two recovery procedures after a football game on sensory and biochemical markers. *J Sports Med Phys Fitness* 54: 394-402, 2014.
- Kinugasa T, Kilding AE. A comparison of post-match recovery strategies in youth soccer players. *J Strength Cond Res* 23: 1402-1407, 2009.
- Koltyn KF. Analgesia following exercise: a review. *Sports Med* 29: 85-98, 2000.
- Law RYW, Herbert RD. Warm-up reduces delayed-onset muscle soreness but cooldown does not: A randomised controlled trial. *Aust J Physiother* 53: 91-95, 2007.
- McHugh MP, Connolly DAJ, Eston RG, et al. The role of passive muscle stiffness in symptoms of exercise-induced muscle damage. *Am J Sports Med* 27: 594-599, 1999.
- Mika A, Mika P, Fernhall B, Unnithan VB. Comparison of recovery strategies on muscle performance after fatiguing exercise. *Am J Phys Med Rehabil* 86: 474-481, 2007.
- Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Med* 6: e1000097, 2009.
- Naugle KE, Parr JJ, Chang S, Naugle KM. Active gaming as pain relief following induced muscle soreness in a college-aged population. *Athletic Train Sports Health*

著者紹介



**Rony Fares :**  
University of Zaragoza健康・  
スポーツ科学部の博士課程に  
在籍。



**Germán Vicente-Rodríguez :**  
University of Zaragoza健康・  
スポーツ科学部の身体活動・  
健康科学教授。



**Hugo Olmedillas :**  
University of Oviedo医 学・  
健康科学部の身体活動・健康  
科学教授。

- Care 9: 225-232, 2017.
33. Nikolaidis MG, Paschalis V, Giakas G, et al. Decreased blood oxidative stress after repeated muscle-damaging exercise. *Med Sci Sports Exerc* 39: 1080-1089, 2007.
34. Nosaka K, Newton M. Repeated eccentric exercise bouts do not exacerbate muscle damage and repair. *J Strength Cond Res* 16: 117-122, 2002.
35. Olsen O, Sjøhaug M, Van Beekvelt M, Mork PJ. The effect of warm-up and cool-down exercise on delayed onset muscle soreness in the quadriceps muscle: A randomized controlled trial. *J Hum Kinetics* 35: 59-68, 2012.
36. Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Gorostiaga EM, González-Badillo JJ. Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *Int J Sports Med* 35: 916-924, 2014.
37. Parr JJ, Yarrow JF, Garbo CM, Borsa PA. Symptomatic and functional responses to concentric-eccentric isokinetic versus eccentric-only isotonic exercise. *J Athletic Train* 44: 462-468, 2009.
38. Paulsen G, Egner IM, Drange M, et al. A COX-2 inhibitor reduces muscle soreness, but does not influence recovery and adaptation after eccentric exercise. *Scand J Med Sci Sports* 20: e195-e207, 2010.
39. Peake JM, Neubauer O, Gatta PAD, Nosaka K. Muscle damage and inflammation during recovery from exercise. *J Appl Physiol* 122: 559-570, 2017.
40. Proske U, Morgan DL. Muscle damage from eccentric exercise: Mechanism, mechanical signs, adaptation and clinical applications. *J Physiol* 537: 333-345, 2001.
41. Rodríguez-Rosell D, Franco-Márquez F, Mora-Custodio R, González-Badillo JJ. Effect of high-speed strength training on physical performance in young soccer players of different ages. *J Strength Conditioning Res* 31: 2498-2508, 2017.
42. Safran MR, Garrett WE, Seaber AV, Glisson RR, Ribbeck BM. The role of warmup in muscular injury prevention. *Am J Sports Med* 16: 123-129, 1988.
43. Sakamoto A, Maruyama T, Naito H, Sinclair PJ. Effects of exhaustive dumbbell exercise after isokinetic eccentric damage: Recovery of static and dynamic muscle performance. *J Strength Cond Res* 23: 2467-2476, 2009.
44. Schwane JA, Johnson SR, Vandenakker CB, Armstrong RB. Delayed-onset muscular soreness and plasma CPK and LDH activities after downhill running. *Med Sci Sports Exerc* 15: 51-56, 1983.
45. Sharman MJ, Cresswell AG, Riek S. Proprioceptive neuromuscular facilitation stretching: Mechanisms and clinical implications. *Sports Med* 36: 929-939, 2006.
46. Takahashi J, Ishihara K, Aoki J. Effect of aqua exercise on recovery of lower limb muscles after downhill running. *J Sports Sci* 24: 835-842, 2006.
47. Talag T. Residual muscle soreness as influenced by concentric, eccentric, and static contractions. *Res Q* 44: 458-469, 1973.
48. Tufano JJ, Brown LE, Coburn JW, et al. Effect of aerobic recovery intensity on delayed-onset muscle soreness and strength. *J Strength Cond Res* 26: 2777-2782, 2012.
49. Viitasalo JT, Niemelä K, Kaappola R, et al. Warm underwater water-jet massage improves recovery from intense physical exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 71: 431-438, 1995.
50. De Vries HA. Quantitative electromyographic investigation of the spasm theory of muscle pain. *Am J Phys Med* 45: 119-134, 1966.
51. Wahl P, Sanno M, Ellenberg K, et al. Aqua cycling does not affect recovery of performance, damage markers, and sensation of pain. *J Strength Cond Res* 31: 162-170, 2017.
52. Weber MD, Servedio FJ, Woodall WR. The effects of three modalities on delayed onset muscle soreness. *J Orthopaedic Sports Phys Ther* 20: 236-242, 1994.
53. Weerakkody NS, Whitehead NP, Canny BJ, Gregory JE, Proske U. Large-fiber mechanoreceptors contribute to muscle soreness after eccentric exercise. *J Pain* 2: 209-219, 2001.
54. Wessel J, Wan A. Effect of stretching on the intensity of delayed-onset muscle soreness. *Clin J Sport Med* 4: 83-87, 1994.
55. Wiewelhove T, Fernandez-Fernandez J, Raeder C, et al. Acute responses and muscle damage in different high-intensity interval running protocols. *J Sports Med Phys Fitness* 56: 606-615, 2016.
56. Xie Y, Feng B, Chen K, et al. The efficacy of dynamic contract-relax stretching on delayed-onset muscle soreness among healthy individuals: A randomized clinical trial. *Clin J Sport Med* 28: 28-36, 2018.
57. Zainuddin Z, Sacco P, Newton M, Nosaka K. Light concentric exercise has a temporarily analgesic effect on delayed-onset muscle soreness, but no effect on recovery from eccentric exercise. *Appl Physiol Nutr Metab* 31: 126-134, 2006.