

遅発性筋肉痛を伴わずに筋力および筋量を増加させる伸張性運動プログラムの確立

前大 純朗, 山本 正嘉, 金久 博昭

鹿屋体育大学スポーツ生命科学系

1. 緒言

階段や坂道を下る,あるいは動作の急激な減速や素早い切り替えしを行う際,膝関節伸展筋群(大腿四頭筋)は身体の動きにブレーキを掛ける様に働く.このようなブレーキを掛ける動作遂行時の大腿四頭筋の活動様式は,筋が伸ばされながら力発揮する「伸張性収縮」が主となる.伸張性収縮では,筋が縮みながら力発揮する短縮性収縮に比べ,運動後に著しい筋損傷や遅発性筋肉痛を引き起こすという負の特徴があり,これが一時的な筋機能(筋力・柔軟性)の低下や,痛みによる不快感を生じさせる.しかしながら,伸張性収縮では短縮性収縮よりも高い筋力の発揮が可能であり,伸張性収縮による筋力トレーニングは,短縮性収縮が主体となる通常の筋力トレーニングよりも,高い筋力・筋量の増加を生じさせる.これらのことを考え合わせると,遅発性筋肉痛を伴わない伸張性運動プログラムを確立することができれば,効率的かつ効果的に筋力および筋量が高められると考えられる.

伸張性運動に伴う筋損傷の程度には,初回の運動実施後に比べ2回目の運動実施以降に大きく軽減される「繰り返し効果」という現象が多くの研究で確認されている.また,我々は,近年,著しい筋損傷を生じさせない短時間(20分間)の下り坂歩行を事前に行うことで,その1週間後に長時間(40分間)の下り坂歩行を行った後の筋損傷を顕著に軽減できることを明らかにした(Maeo et al. 2015a).さらに,我々はこの知見を活用し,週1回・4週間の下り坂歩行トレーニングを初回の運動では筋肉痛を生じさせない程度の短い運動時間から始め,トレーニングの進行に伴い運動時間を漸増させるプログラム(10, 30, 50, 70分間)を実施することにより,トレーニング期間を通して著しい筋肉痛を経験することなく,膝関節伸展筋力,特に伸張性の出力を高めることができることを見出した(Maeo et al. 2015b).本研究では,このような繰り返し効果の特徴を,最大筋力や筋量の増加に最も効果的である「伸張性運動による高強度レジスタンス運動」に応用し,短縮性運動からなるレジスタンス運動との比較から,そのトレーニング効果について明らかにすることを目的とした.

2. 方法

2-1. 被検者

被検者は健常な若齢男性6名(22.3±2.1歳,169.2±4.2cm,64.2±3.1kg)とし,片方の脚を伸張性トレーニング脚(ECC),もう一方の脚を短縮性トレーニング脚(CON)とした.全ての被検者の利き脚は右脚であり,6人のうち3人が右脚をECC,残りの3人が左足をECCとした.なお,全ての被検者に下肢の筋力トレーニングの習慣はなかった.被検者には事前に書面および口頭により本研究の内容や主旨を十分に説明し,参加同意書への署名が得られた場合にのみ被検者として選定した.

2-2. トレーニング

ECCおよびCONともに,多機能型筋力測定装置(Biodex system2; Biodex社, NY, USA)を用いて,

週3セッション・6週間（計18セッション）の等速性膝関節伸展トレーニングを実施した。角速度は60度/秒とし、ECCは伸張性、CONは短縮性の膝伸展を最大努力で実施した。毎回のトレーニングの実施に先立ち、装置に付属のベルトで被検者の胴体を固定した後、最大下の力発揮を数回（通常3～5回）実施し、被検者が満足するまで十分なウォーミングアップを行った。伸張性運動に伴う筋損傷を抑制するため、初回（第1セッション）のトレーニングでは、1セット当たりの反復回数・セット数を10回・1セットとし、第2セッションでは10回・2セット、第3セッションでは10回・3セットとセット数を漸増し、第4セッション以降では10回・5セットとした。なお、この漸増式プログラムの設定は、若齢男性5名を対象としたパイロット実験（上述の1～3セッションのプログラムを実施）の結果に基づいた。反復間の休息は5秒間、セット間の休息は2分間とし、ECCとCONの実施順序は各被検者でセッション毎に入れ替え、ECCとCONの間には5分間の休息を挟んだ。

2-3. 測定項目

2-3-1. トレーニング期間中

筋肉痛の程度

筋損傷の指標として、毎回のトレーニングの約24時間後における大腿部前面の筋肉痛の程度をvisual analog scale (VAS) を用いて測定した。VASは、紙面上に100mmの直線を引き、左端の「0」を「痛みはない状態」、右端の「100」を「これ以上の痛みはないくらい痛い状態」として、現在の痛みが100mmの直線上のどの位置にあるかを被検者が示した。筋肉痛の測定実施前に、毎回、被検者には「軽く走る、膝の屈伸をする」動作を行わせ、その際の各脚の大腿前部の筋肉痛を記録した。

2-3-2. トレーニング前後

トレーニング期間の前後に以下の項目を測定した。なお、プレおよびポスト測定はそれぞれ、初回および最後のトレーニングセッションから2～5日の間隔をあけて実施した。

大腿前部の筋厚

超音波画像診断装置（Prosound α6; Aloka社、東京、日本）を用いて、各脚の大腿前部の筋厚を測定した。測定位置は大腿部（大転子から大腿部と脛骨外側顆との境目までの距離）の50%とし、その位置における皮下脂肪と大腿直筋の境目から大腿骨と中間広筋の境目までの距離を筋厚として計測した。

最大膝関節伸展トルク

トレーニングで用いたものと同じ装置を用いて、最大膝関節伸展トルクを伸張性（-60度/秒）、等尺性（0度/秒）、および短縮性（60度/秒）の条件で測定した。伸張性および短縮性条件における膝関節可動域は0～100度（最大伸展位=0度）とし、等尺性条件は膝関節角度110度での力発揮とした。測定に先立ち、装置に付属のベルトで被検者の胴体を固定した後、最大下の力発揮を数回（通常3～5回）実施し、被検者が満足するまで十分なウォーミングアップを行った。条件間の順序はランダムとし、各条件につき最低2回試行を行った。また、1回目と2回目の値（最大値）が10%以上離れていた場合には、その差が10%以内となるまで試行を繰り返した。試行間には2分間の休息を設けた。10%以内に収まった2試行のうち、高い方の値を最大値として採用した。また、測定脚の順序はランダムとし、脚間には5分間の休息を設けた。

2-4. 統計

基本統計量は平均値±標準偏差で示した。各トレーニングセッション後の筋肉痛の程度の比較には、二元配置分散分析（2脚×18セッション）を用いた。トレーニング前後における膝関節最大トルクの比較には、三元配置分散分析（2脚×2時間×3角速度）を用いた。交互作用が認められた場合、各脚で二元配置分散分析（2時間×3角速度）を行った。交互作用が認められた場合、t-testにより各角速度条件におけるトレーニング前後の比較を行った。加えて、各角速度条件におけるトルクの増加率（%）に脚間で差があるかを比較するために、トルクの増加率について、二元配置分散分析（2脚×3角速度）を行った。交互作用が認められた場合、各脚において一元配置分散分析により角速度間の比較を、t-testにより脚間の比較を行った。統計処理には統計解析ソフトウェア（SPSS statistics 22, IBM）を用い、全ての検定において、有意水準は $P < 0.05$ とした。

3. 結果

トレーニング期間中の筋肉痛の程度

トレーニング期間中における筋肉痛の程度（VAS）を図1に示した。主効果および交互作用は認められなかった。トレーニング期間を通した筋肉痛の程度は両脚ともに低値（ピーク：21 mm）であり、脚間に有意な差はなかった。

大腿前部の筋厚

トレーニング期間の前後における大腿前部の筋厚の変化を図2に示した。時間に有意な主効果（ $P < 0.05$ ）が認められ、脚の主効果およびそれらの交互作用は認められなかった。ECCでは+8%、CONでは+5%の有意な増加がみられた（ $P < 0.05$ ）。

最大膝関節伸展トルク

トレーニング前後における膝関節伸展トルクの変化を図3に示した。三元配置および二元配置分散分析の結果、有意な交互作用が認められた（ $P < 0.05$ ）。t-testの結果、両脚ともに全ての角速度条件において有意な増加がみられた。図4は両脚におけるトルク増加率を条件別に示したものである。二元配置分散分析の結果、交互作用が認められた（ $P < 0.05$ ）。ECCの伸張性条件のトルク増加率は、CONのそれよりも有意に大きかった。

4. 考察

ECCおよびCONともに、トレーニング期間を通して著しい筋肉痛は観察されなかった。その程度は、VASスケールにおいて最大でも21 mmであり、被検者の内省報告によると、「痛みは少しあるが不快に感じる程ではない」というものであった。同様の方法（100 mm-VAS）を用いて筋肉痛の程度を評価した先行研究では、高強度の伸張性運動を初めて（事前に何らかの筋損傷予防無しに）行った場合の筋肉痛の程度は >70 mmにも至るということが報告されている（Chen et al. 2011; Eston et al. 1996; Maeo et al. 2015a; Maeo et al. 2015b; Nosaka and Clarkson 1995）。また、本研究では、筋肉痛の程度に脚間で有意な差はなかった。これらのことから、本研究で観察された筋肉痛の程度は、通常の（例：短縮性運動を含む）筋力トレーニング後に生じる筋肉痛と同程度であり、伸張性運動後に特異的に生じる著しい筋損傷を回避できたと考えられる。

トレーニング後、ECCおよびCONともに、全ての角速度条件において筋力は増加した。また、そ

の程度は, ECC が CON よりも伸張性条件において有意に大きかった. また, 筋厚の増加率も ECC (+8%) が CON (+5%) よりも高い傾向にあった. 冒頭で述べた通り, 伸張性運動では短縮性運動よりも高い筋力の発揮が可能である. 本研究においても, トレーニング期間の前後を問わず, 最大トルクは伸張性条件が短縮性条件 (および等尺性条件) よりも大きかった. 本研究では, トレーニング期間を通じた総仕事量 (例: 発揮トルク×力発揮時間) は記録していない. しかしながら, 上述した理由により, トレーニング期間を通じた総仕事量は, ECC が CON よりも大きかったと考えられ, それが ECC において CON よりも高い筋力および筋厚の増加が得られた一因となったと推察される.

トレーニング後に生じる筋力の改善は, トレーニングを実施した運動条件において最も顕著に観察されることが多く報告されており, これは「課題特異性 (task specificity)」と呼ばれる (Sale 1988). 本研究においても, ECC では伸張性条件におけるトルク増加率が, CON では短縮性条件におけるトルク増加率が他の二条件と比較して高い傾向にあった. また, 四肢の片側で筋力トレーニングを行った場合, 反対側の四肢にもトレーニング効果が現れる「cross education」という現象がある (Farthing 2009). その効果は, 利き手・脚をトレーニングした場合の方が, 非利き手・脚をトレーニングした場合よりも大きい (Farthing 2009). それゆえ, 本研究では, 被検者の利き脚は全て右側とし, 右脚を ECC とする群と左脚を ECC とする群を均一に分け, cross education の影響を極力除外しようとしたが, その実際は明らかでない. Hortobagyi et al. (1997) の報告によると, cross education の程度は, 短縮性運動よりも伸張性運動を行なった場合の方が大きいといわれている. したがって, 仮に本研究の結果が cross education の影響を受けているとするならば, CON においても ECC と同様な変化が筋力に生じると予想される. しかしながら, 本研究の結果 (図 4) はそれを否定するものであり, 伸張性運動は短縮性運動に比べ, 等尺性および短縮性筋力に関しては同等の, 伸張性筋力に関してはより高いトレーニング効果を有することを示唆するものといえる.

5. まとめ

本研究で得られた主な知見は以下の通りである. 1) ECC および CON とともに, トレーニング期間を通して著しい筋肉痛は観察されなかった, 2) ECC および CON とともに, トレーニング後に膝関節伸展筋力は有意に増加し, その程度は ECC が CON よりも伸張性条件において有意に大きかった. これらの結果から, 1) 最大努力という高強度のレジスタンストレーニングであっても, トレーニング量を漸増式にすることにより著しい筋肉痛は回避できること, および 2) 伸張性運動が短縮性運動よりも同等かそれ以上のトレーニング効果を有することが示唆された.

引用文献

- Chen CH, Nosaka K, Chen HL, Lin MJ, Tseng KW, Chen TC (2011) Effects of flexibility training on eccentric exercise-induced muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 43 (3):491-500
- Eston RG, Finney S, Baker S, Baltzopoulos V (1996) Muscle tenderness and peak torque changes after downhill running following a prior bout of isokinetic eccentric exercise. *J Sports Sci* 14 (4):291-299
- Farthing JP (2009) Cross-education of strength depends on limb dominance: implications for theory and application. *Exerc Sport Sci Rev* 37 (4):179-187
- Hortobagyi T, Lambert NJ, Hill JP (1997) Greater cross education following training with muscle lengthening than shortening. *Med Sci Sports Exerc* 29 (1):107-112
- Maeo S, Ochi Y, Yamamoto M, Kanehisa H, Nosaka K (2015a) Effect of a prior bout of preconditioning exercise

- on muscle damage from downhill walking. *Appl Physiol Nutr Metab* 40 (3):274-279
- Maeo S, Yamamoto M, Kanehisa H (2015b) Muscular adaptations to short-term low-frequency downhill walking training. *Int J Sports Med* 36 (2):150-156
- Nosaka K, Clarkson PM (1995) Muscle damage following repeated bouts of high force eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc* 27 (9):1263-1269
- Sale DG (1988) Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 20 (5 Suppl):S135-145

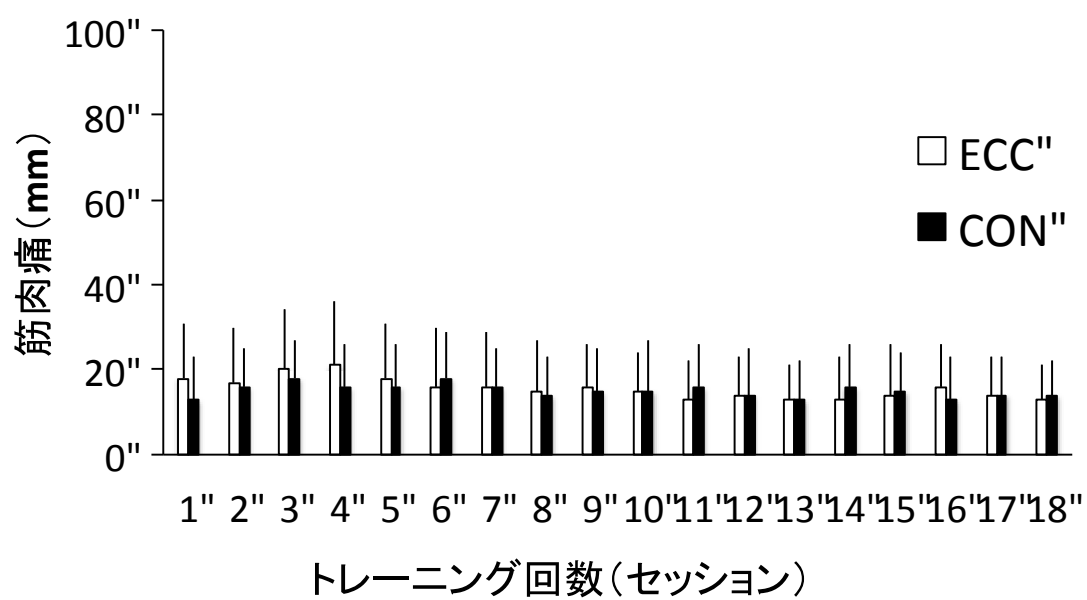


図1. トレーニング期間中の筋肉^痛の程度

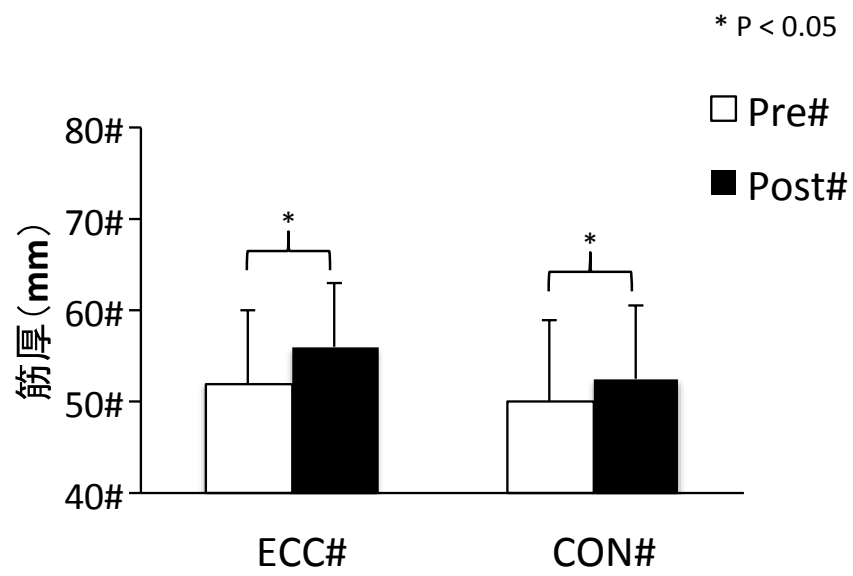


図2. 大腿前部の筋厚の変化

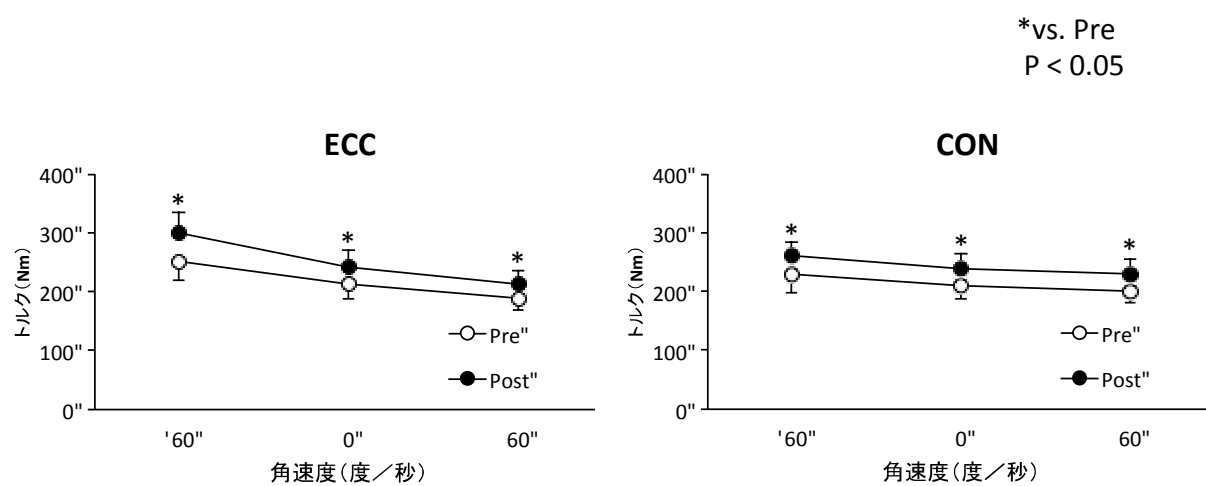


図3. 膝関節伸展トルクの変化

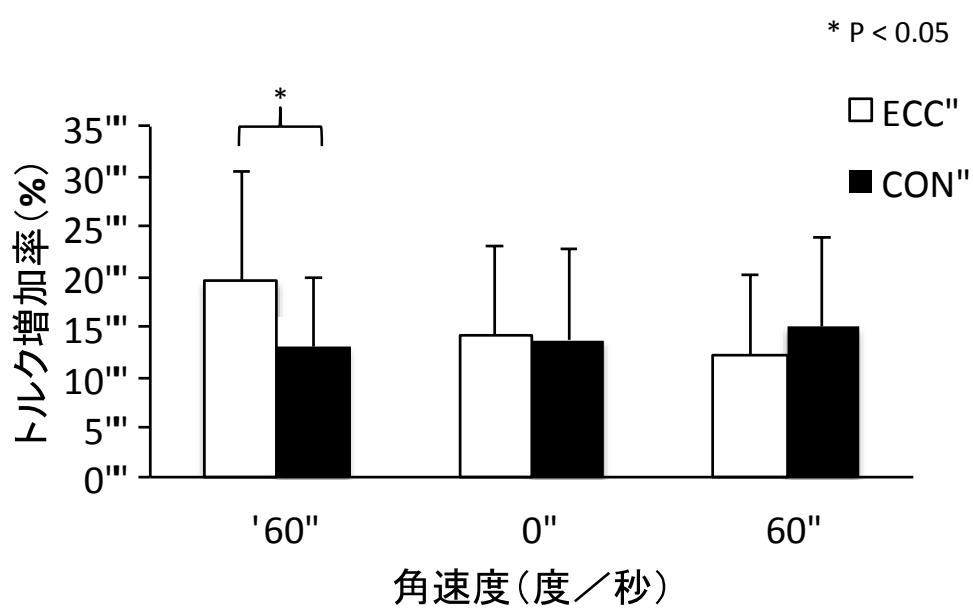


図4. トレーニング後のトルク増加^率