

## 筋損傷を伴わない伸張性筋力トレーニング方法の確立

鹿屋体育大学 前 大 純 朗  
(共同研究者) 同 山 本 正 嘉  
同 金 久 博 昭

### Establishment of an Eccentric Training Modality without Muscle Damage

by

Sumiaki Maeo,  
Masayoshi Yamamoto, Hiroaki Kanehisa  
*National Institute of Fitness and Sports in Kanoya*

#### ABSTRACT

Downhill walking (DW) is a representative exercise that predominantly involves submaximal eccentric contractions of knee extensors, and has been shown to be effective in improving knee extensor strength with relatively short-term and low-training frequency. However, DW induces muscle damage when performed unaccustomedly. This study examined whether muscle damage can be avoided by gradually increasing exercise duration in DW training, and whether avoiding/experiencing muscle damage influences training-induced strength gain. Healthy young males performed treadmill DW (gradient: -28%, velocity: 5 km/h, load: 10% of body mass) 1 session/week for 4 weeks with either ramp-up (R-UP: n = 10) ; gradually increasing exercise duration from 10 to, 30, 50, and 70 min from the 1st to 4th session to avoid muscle damage, or constant (CON: n = 12) protocol; 40 min for 4 sessions to induce muscle damage at the 1st session. Total exercise duration was 160 min for both groups. Muscle damage markers were measured before and for 72 h following each session. Before and after the intervention, maximal knee extension torques in

eccentric ( $-60^\circ/s$ ), isometric ( $0^\circ/s$ ), and concentric ( $60^\circ/s$ ) conditions were measured. R-UP group showed no indications of muscle damage throughout the training period while muscle damage was evident after the 1st session in CON group. Both groups significantly increased maximal knee extension torques at all angular velocities with greater gain in eccentric (R-UP: +19%, CON: +24%) than isometric (+14%, +13%) and concentric (+10%, +12%) strength without significant group-difference. The current results suggest that muscle damage can be avoided by R-UP protocol, and is not a major determinant of the training-induced strength gain.

## 要 旨

本研究では、下り坂歩行 (DW) トレーニングにおいて、1) 運動時間を徐々に増加させることにより筋損傷を抑制できるか、および2) 筋損傷を抑制または経験することがトレーニング後における筋力増加の度合いに影響を与えるかを検証した。健康な若齢男性を対象に、運動時間漸増プロトコル (1~4回目にかけて運動時間を10, 30, 50, 70分と徐々に増加：漸増群； $n = 10$ ) または運動時間一定プロトコル (4回全てにおいて40分：一定群； $n = 12$ ) によるDWトレーニングを、週1回の頻度で4週間実施した。総運動時間は両群とも160分とした。一定群では1回目のトレーニング後に筋損傷指標が著しく変化した。それに対し、漸増群では、トレーニング期間を通して筋損傷指標に顕著な変化は観察されなかった。トレーニング後、両群において膝伸展筋群の最大筋力は増加し、その程度に群間差はなかった。本研究の結果から、漸増プロトコルを採用することにより筋損傷は抑制できること、および筋損傷を経験するか否かは、トレーニング後における筋力増加の度合いを決定する主な要因ではないことが示唆された。

## 緒 言

階段や坂道を下る際、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、膝伸展筋群は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」動作遂行時の膝伸展筋群の活動様式は、筋が伸ばされながら力発揮する「伸張性収縮」が主となる。それゆえ、膝伸展筋群の最大筋力、特に伸張性の筋力を高めることは、日常生活活動における転倒の予防や、アスリートの運動パフォーマンスを高めるために重要である。

下り坂歩行 (downhill walking: DW) は、膝伸展筋群における伸張性運動の代表例である<sup>11, 21)</sup>。近年、我々<sup>15)</sup>は、40分間×4回 (週1回) のDWトレーニングが膝伸展筋群の最大筋力、特に伸張性の筋力を増加させることを報告した。このことは、短期間・低頻度であったとしても、DWは膝伸展筋群の最大筋力を高めるのに効果的なトレーニング手段と成りうることを示唆するものである。しかしながら、伸張性運動では、筋が縮みながら力発揮する短縮性運動に比べ、運動後に著しい筋損傷 (筋肉痛の発生や最大筋力の低下) を引き起こすという特徴があり、我々が実施したDWトレーニングにおいても、初回の運動後には筋損傷指標の著しい変化が観察された<sup>15)</sup>。そのような筋損傷は、筋機能や運動パフォーマンスの低下を招き、また、筋肉痛による不快感は、トレーニングに対する継続性に負の影響をもたらすことが報告されている<sup>12)</sup>。これらのことを考慮すると、DWトレーニングにおいて、筋損傷を伴わな

い運動プログラムを確立することは重要であるといえる。

伸張性運動に伴う筋損傷の程度は、初回の運動実施後に比べ2回目の運動実施以降には大きく軽減される「繰り返し効果」が多くの研究で確認されている<sup>11, 21)</sup>。この現象に基づき、伸張性トレーニングの量（強度または時間）を徐々に増加させることにより、トレーニング期間を通して筋損傷を抑制できる可能性がある。また、我々<sup>14)</sup>は、負担の小さい（強い筋損傷を伴わない）20分間のDWを事前に実施することにより、40分間のDW後の筋損傷を抑制できることを報告した。これらの知見に基づくと、トレーニング期間を通してDWの運動時間を徐々に漸増させることにより、筋損傷は抑制できると考えられる。

一方、筋損傷後に生じる炎症反応は、筋の再生・適応を促進するという説も存在する<sup>16, 19)</sup>。そのような考えに基づき、あえて筋損傷を生じさせるような手法を用いるトレーニング愛好家もいる<sup>19)</sup>。しかし、Flann et al.<sup>6)</sup>は、総トレーニング量が等しい場合、筋損傷を経験する群としない群でトレーニング効果は同程度であったと報告しており、「トレーニング効果を左右するのは総トレーニング量であり、筋損傷を経験するか否かは重要な要因ではない」と結論づけている。この知見に基づくと、我々<sup>15)</sup>の報告したDWトレーニングの総トレーニング量(40分×4=160分)がトレーニング期間中に確保できれば、運動時間を徐々に漸増することで、筋損傷を経験せずとも筋力の増加は可能であると考えられる。

そこで本研究では、DWトレーニングにおいて、1) 運動時間を徐々に増加させることにより筋損傷を抑制できるか、および2) 筋損傷を抑制または経験することがトレーニング後における筋機能の改善の度合いに影響を与えるかを明らかにすることを目的とした。これを達成するために、総運動時間が先行研究<sup>15)</sup>と同じ160分となるよ

う、1～4回目のトレーニングにかけて運動時間を10, 30, 50, 70分と徐々に増加させる漸増群を設定し、トレーニング期間を通した筋損傷指標の変化、およびトレーニング前後における膝伸展筋力の変化を、我々が報告した40分×4回の一定群のそれらと比較した。上記の先行研究の知見に基づき、1) 漸増群はトレーニング期間を通して筋損傷を抑制できる、および2) 筋力に対するトレーニング効果に、漸増群と一定群で差はないと仮説を立てた。

## 1. 方法

### 1.1 被検者

健康な若年男子10名（年齢 $20 \pm 1$ 歳、身長 $169.8 \pm 7.1$  cm、体重 $64.1 \pm 3.3$  kg；平均値±標準偏差）が漸増群として実験に参加した。また、我々が報告した40分×4回のDWトレーニングを行った12名（ $21 \pm 2$ 歳、 $166.7 \pm 5.1$  cm、 $62.7 \pm 6.2$  kg）のデータ<sup>15)</sup>を一定群として使用した。なお、一定群のデータの使用に関しては、掲載学術誌の許可を得た。全ての被検者は活動的であったが、定期的な運動プログラム(>30分/日、>2日/週)を実施している者はいなかった。各被検者には、実験の目的と内容、注意事項、および危険性などについて説明し、実験参加への同意を得た。本研究は、著者が所属する機関の倫理審査委員会の承認を得て行った。

### 1.2 トレーニング

被検者は、トレッドミル(Quasar Med, HP cosmos)を用いて、週1回のDWを計4回行った。傾斜は-28%、速度は5 km/h、担架重量は体重の10%とし、ストライドおよびピッチは各被検者の自由とした。漸増群は1～4回目のトレーニングにかけて運動時間を10, 30, 50, 70分と徐々に増加させ、一定群は4回全てにおいて40分の運動時間を用いた。総運動時間は両群ともに160

分であった。トレーニングは各被検者において7日間の間隔を空けて行われ、毎回、著者らの中の1名が観察した。

### 1. 3 トレーニング期間内における筋損傷指標の測定

以下に示す筋損傷の間接的指標を、各セッションの前、24時間後、48時間後、および72時間後において測定した。

### 1. 4 等尺性最大随意収縮 (MVC) 膝伸展トルク

膝関節伸展筋力測定器 (片脚用筋力測定器、竹井機器工業) を用いて、座位、股関節および膝関節角度90度 (最大伸展位 = 180度) において、右脚のMVC膝伸展トルクを測定した。その際、腰の位置をベルトで強く固定し、両腕は胸の前で交差させ、膝関節伸展以外の動作 (例: 股関節の屈曲や伸展など) を行わないように指示をした。また、力発揮は、バリストティックに (急激な速度で行うのではなく、5秒間かけて徐々に最大努力に到達するように行った。

測定に際して、十分なウォームアップを行い、その後、MVC課題を2回行った。1回目と2回目の最大トルクの差が10%以上あった場合は、その差が10%未満に収まるまで測定を繰り返した。試行間には最低1分間の休息を設けた。最大トルクの差が10%未満に収まった2試行の内、高い方の値を最大トルクとして採用した。

### 1. 5 血中クレアチンキナーゼ (CK) 活性値

筋損傷の指標とされる血中のCK活性値を測定した。卓上型生化学検査システム (Reflotron plus, Roche) およびCK試験紙 (Reflotron CK II, Roche) を用いて、指先より採取した全血 (32  $\mu$ l) からCK活性値を分析した。なお、測定機器を販売する企業が示す情報によると、血中CK

活性値の基準値 (正常範囲) は24-195 IU/Lである。

### 1. 6 大腿前部の筋肉痛

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、その際の大腿前部の筋肉痛を visual analog scale (VAS) により測定した。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。

### 1. 7 トレーニング期間の前後における最大膝伸展トルクの測定

トレーニング期間の前後において、等速性筋力測定機器 (Biodex system2, Biodex Medical Systems) を用いて、右脚の最大膝伸展トルクを伸張性 (-60 deg/s)、等尺性 (0 deg/s)、および短縮性 (60 deg/s) の条件で測定した。測定姿勢は、股関節および膝関節角度90度の座位とし、上体および腰をベルトで強く固定した。膝関節の可動域は80~180度とした。等尺性トルクは膝関節角度90度で測定した。十分なウォームアップの後、伸張性、等尺性、および短縮性の各条件において、最大努力による膝伸展課題を2回ずつ行った。条件間の順序はランダムとした。また、試行間には最低1分間休息を設けた。各条件において、1回目と2回目の最大トルクの差が10%以上あった場合は、その差が10%未満に収まるまで測定を繰り返した。最大トルクの差が10%未満に収まった2試行の内、高い値を最大トルクとして採用した。なお、プレ測定は初回のトレーニングの3-7日前に、ポスト測定は最終回のトレーニングの3-7日後に実施した。

## 2. 統計

基本統計量は平均値  $\pm$  標準偏差で示した。各

トレーニングセッションにおける筋損傷指標の変化の比較には、二元配置分散分析（2群×4時間）を用いた。交互作用が認められた場合、一元配置分散分析（4時間）およびその後の検定（Dunnett's post hoc test）により各セッションにおけるプレの値からの変化の比較を、また、対応のないt-testにより各時間における群間差の比較を行った。

トレーニング前後における膝関節最大トルクの変化には、三元配置分散分析（2群×2時間×3角速度）を用いた。交互作用が認められた場合、各群で二元配置分散分析（2時間×3速度）を行い、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（%）に群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群×3角速度）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

#### 3.1 筋損傷指標の変化

トレーニング期間内におけるMVC膝伸展トルクの変化を図1に示した。一定群では初回のトレーニング後に著しい低下がみられたが、漸増群ではトレーニング期間を通してそのような変化はなかった。また、初回の運動の24時間後、48時間後、および72時間後において有意な群間差が認められた。

トレーニング期間内における血中CK活性値の変化を図2に示した。一定群では初回のトレーニング後に著しい上昇がみられたが、漸増群ではトレーニング期間を通してそのような変化は観察されなかった。また、初回の運動の24時間後、48時間後、および72時間後において有意な群間差が認められた。

トレーニング期間内におけるVASの変化を図3に示した。漸増群では毎回のトレーニング後に

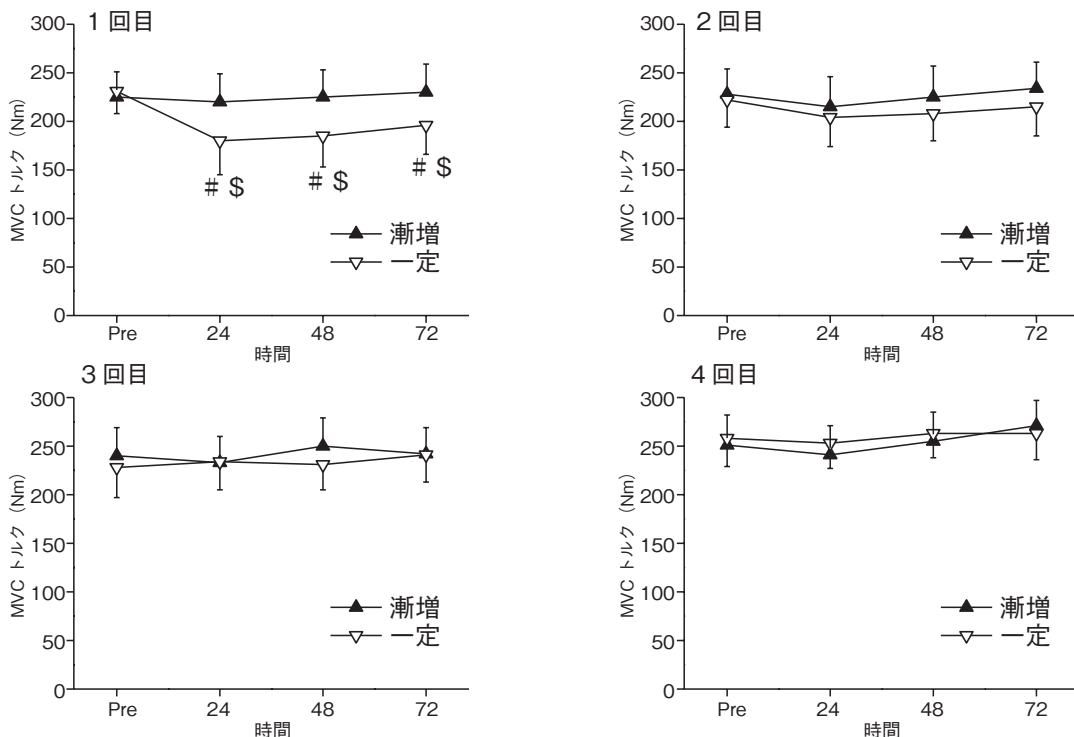


図1 トレーニング期間内におけるMVC膝伸展トルクの変化（# = vs. Pre, \$ = vs. 群）

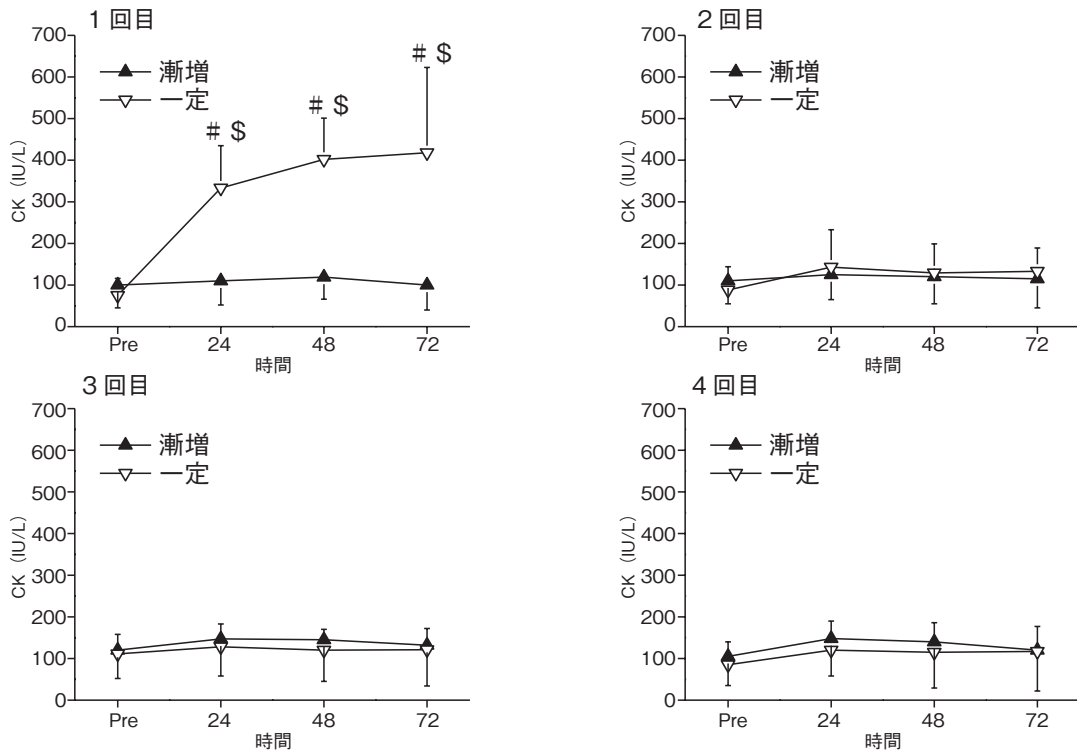


図2 トレーニング期間内における血中CKの活性値の変化 (# = vs. Pre, \$ = vs. 群)

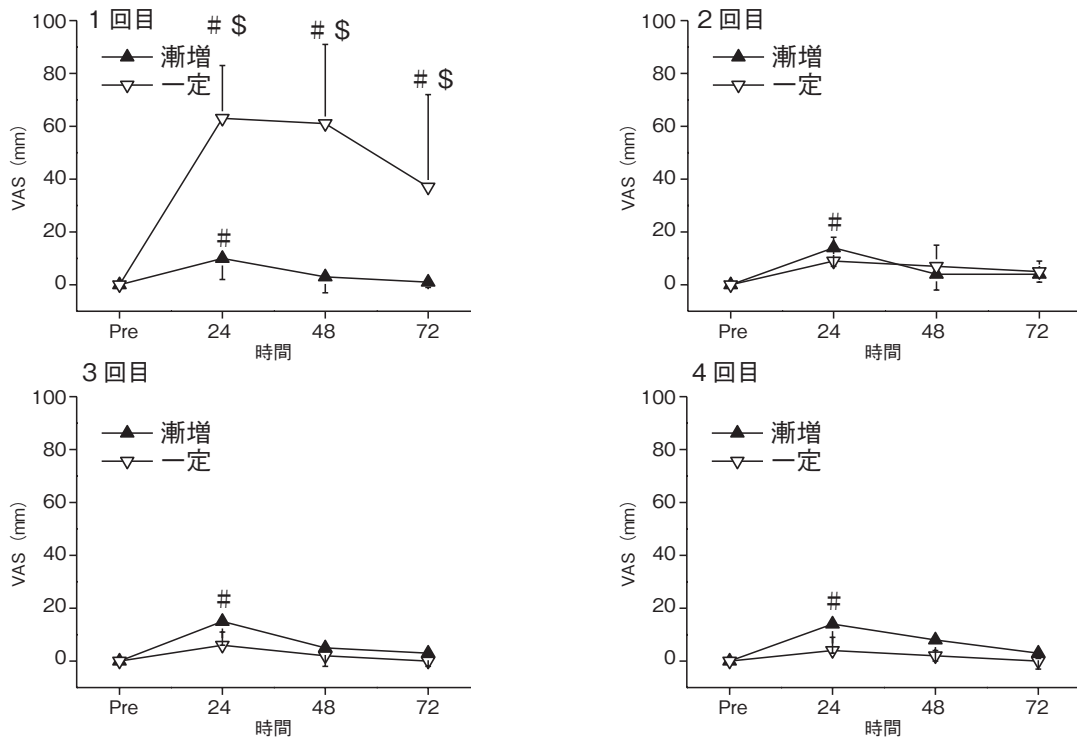


図3 トレーニング期間内におけるVASの変化 (# = vs. Pre, \$ = vs. 群)

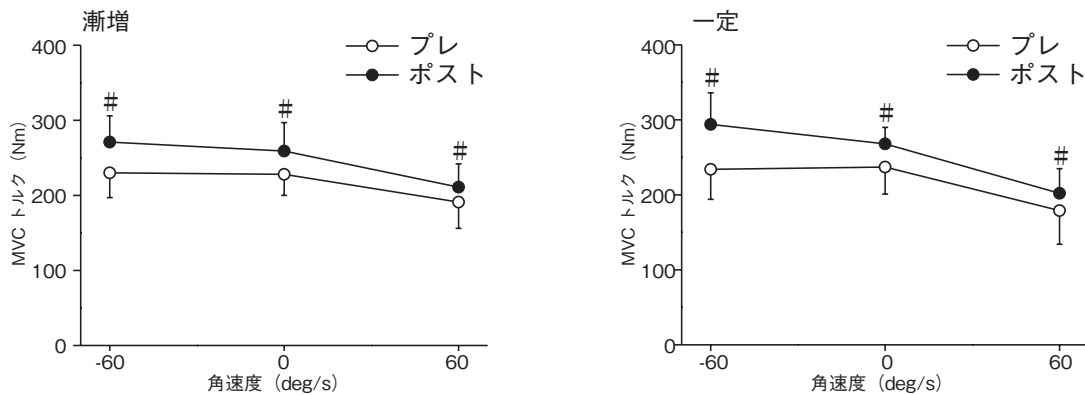


図4 トレーニング前後における最大膝伸展トルクの変化 (# = vs. Pre)

において有意な上昇がみられたが、それらはいずれも低値（ピーク：15 mm）であり、48時間以内には消失し、一定群の初回のトレーニング後に観察された値（ピーク：63 mm）に比べると有意に低かった。また、初回の運動の24時間後、48時間後、および72時間後において有意な群間差が認められた。

### 3. 2 プレおよびポスト測定

トレーニング前後における膝伸展トルクの変化を図4に示した。両群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5は両群におけるトルク増加率を収縮条件別に示したものである。二元配置分散分析の結果、収縮条件の主効果が認められ、群の主効果および交互作用は認め

られなかった。この結果は、全ての収縮条件において、トルクの増加率に群間差はなかったことを意味している。また、両群ともに、伸張性収縮条件の増加率（漸増群：+19%、一定群：+24%）が、等尺性（+14%、+13%）および短縮性（+10%、12%）条件のそれよりも大きかった。

### 4. 考 察

本研究の結果、1) 一定群では初回のトレーニング後に筋損傷指標に著しい変化がみられたが、漸増群ではトレーニング期間を通してそのような変化はなかった、2) トレーニング後の筋力増加率に有意な群間差はなかった。これらの結果は、本研究で立てた仮説を支持するものであり、漸増プロトコルにより筋損傷は抑制できること、ならびに筋損傷を経験するか否かは、トレーニング後の筋力増加の程度を決定する大きな要因ではないことを示唆するものである。

漸増群では、トレーニング期間を通して筋損傷指標の著しい変化はなかった。それに対し、一定群では、初回のトレーニング後において、MVC膝伸展トルクの低下（ピーク：-22%）、血中CK活性値の上昇（ピーク：418 IU/L）、ならびに強い筋肉痛の発生（VASのピーク：63 mm）がみられた。それらの変化の大きさは、事前に何らかの筋損傷対策を行わずに40～45分間のDWを行っ

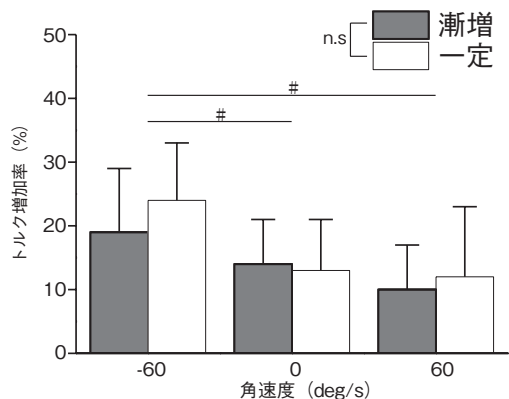


図5 トルク増加率の比較 (# = vs. 角速度条件)

た先行研究<sup>1,4,5,18)</sup>において報告している値と同程度であった。したがって、一定群において観察された筋損傷の程度は、40分間のDWを初めて行った場合に生じる筋損傷の一般的な例を示していると考えられる。一方、漸増群では、4回目のトレーニングセッションにおいて70分間のDWを行った後も、筋損傷は抑制されていた。このような結果は、筋損傷を生じさせない程度の短時間の伸張性運動であったとしても、徐々にその運動時間を増加させることにより、その後に実施される長時間の伸張性運動に対して、高い筋損傷抑制効果を有するものとなることを示唆する。

DWトレーニングにより、漸増群および一定群ともに、全ての収縮条件において、膝伸展トルクの有意な増加が得られた。また、膝伸展トルクの増加率に有意な群間差はなく、両群ともに、伸張性収縮条件の増加率(漸増群:+19%, 一定群:+24%)が、等尺性(+14%, +13%)および短縮性(+10%, 12%)条件のそれよりも大きかった。この結果は、筋損傷を経験したか否かに関係なく、両群で同程度の筋力増加が得られたことを意味する。本研究と同様のアプローチを用いて、Flann et al.<sup>6)</sup>は伸張性エルゴメータを、Folland et al.<sup>7)</sup>は一般的なレジスタンストレーニング用の重量負荷機器を使用し、初回のトレーニング時に筋損傷を経験する群としない群を設定し、そのトレーニング効果を比較した。両研究とも、トレーニング効果(筋力および筋量の増加率)に群間で差はなかったと報告しており、それぞれ、「筋損傷からの回復と筋力トレーニングへの適応(筋力増加)の過程は異なるものである<sup>7)</sup>」、「トレーニングによる筋力増強効果を決定する主な要因は総トレーニング量であり、筋損傷の程度ではない<sup>6)</sup>」と示唆している。本研究の結果は、それら先行研究の知見を支持し、「トレーニングによる筋力増加は、筋損傷を経験するか否かに大きな影響を受けない」ことを示唆するものである。

本研究で観察された筋力増加率は、等速性筋力測定装置を用いて膝関節伸展筋群における短期間(4-6週間)・高強度(最大努力もしくはそれに近い努力度による力発揮)の伸張性レジスタンストレーニングを行った先行研究<sup>2,3,10,20)</sup>が報告している値(伸張性:+16~34%, 等尺性:+11~30%, 短縮性:+5~13%)と同程度であった。本研究で実施されたDWの運動強度は明らかではないが、本研究と同じ運動条件でDWを実施している際の膝関節伸展筋群の筋電図を計測した結果によると、課題動作中の活動水準(MVC中の筋電図振幅値で正規化された値)は、大腿直筋および外側広筋で約30%であった<sup>13)</sup>。このことは、DWは低強度に分類できることを意味する。一方、課題動作中の歩数に関する予備実験の結果によると、トレーニング実施中の歩数は、1分間で約60~70歩であった。このような結果と4回のトレーニングによる総運動時間160分を考え合わせると、トレーニング実施中の総歩数(筋収縮の回数)は約10000歩(回)に到達する。したがって、本研究で得られた筋力増加は主に、運動中の筋活動水準ではなく筋収縮の回数の多さに起因すると推察される。

本研究の被検者は、定期的な運動プログラムは実施していないが、活動的な若齢男性であった。それゆえ、本研究で得られた結果が、他の集団でも同様に得られるかは不明である。また、本研究では、上り坂や平地での歩行トレーニングを行う群を設定していないため、今回得られた結果が「下り坂」歩行によるものであるという明確な根拠はない。しかしながら、先行研究において、DWトレーニングは、上り坂または平地歩行トレーニングと比べ、より高い筋力増強効果を有する、または少ない負担度で同程度の効果を有することが、パーキンソン病患者<sup>22)</sup>を含む、高齢者を対象とした研究<sup>8,9,22)</sup>により明らかとなっている。さらに、若齢女性を対象とした近年の研究では<sup>17)</sup>,



DW トレーニングを行った群では膝伸展筋力の有意な改善が得られたが、上り坂または平地歩行トレーニングを行った群では、そのような変化はみられなかったと報告している。これらの知見と本研究の結果を踏まえると、筋損傷を経験するか否かではなく、DW トレーニングを行うこと自体が、重要なトレーニング刺激と成りうると思われる。

## 5. 結 論

本研究の結果、DW トレーニングにおいて、トレーニングの進行に伴い運動時間を徐々に増加させることにより、トレーニング期間を通して筋損傷を抑制できた。また、筋損傷を抑制した漸増群と、筋損傷を経験した一定群とで、トレーニング後の筋力増加率に有意な群間差はなかった。これらの結果から、1回のトレーニングにおける運動時間を漸増するトレーニングプロトコルにより、伸張性収縮に伴う筋損傷は抑制できること、ならびに筋損傷を経験するか否かは、トレーニング後の筋力増加の程度を決定する大きな要因ではないことが示唆された。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、研究助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

## 文 献

- 1) Ahmadi S., Sinclair P.J., Davis G.M., Muscle oxygenation after downhill walking-induced muscle damage., *Clin. Physiol. Funct. Imaging.*, 28: 55-63 (2008)
- 2) Baroni B.M., Geremia J.M., Rodrigues R., De Azevedo Franke R., Karamanidis K., Vaz M.A., Muscle architecture adaptations to knee extensor eccentric training: rectus femoris vs. vastus lateralis., *Muscle Nerve.*, 48: 498-506 (2013)
- 3) Duncan P.W., Chandler J.M., Cavanaugh D.K., Johnson K.R., Buehler A.G., Mode and speed specificity of eccentric and concentric exercise training., *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, 11: 70-75 (1989)
- 4) Eston R.G., Lemmey A.B., McHugh P., Byrne C., Walsh S.E., Effect of stride length on symptoms of exercise-induced muscle damage during a repeated bout of downhill running., *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 10: 199-204 (2000)
- 5) Farr T., Nottle C., Nosaka K., Sacco P., The effects of therapeutic massage on delayed onset muscle soreness and muscle function following downhill walking., *J. Sci. Med. Sport.*, 5: 297-306 (2002)
- 6) Flann K.L., LaStayo P.C., McClain D.A., Hazel M., Lindstedt S.L., Muscle damage and muscle remodeling: no pain, no gain? *J. Exp. Biol.*, 214: 674-679 (2011)
- 7) Folland J.P., Chong J., Copeman E.M., Jones D.A., Acute muscle damage as a stimulus for training-induced gains in strength., *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33: 1200-1205 (2001)
- 8) Gault M.L., Clements R.E., Willems M.E., Functional mobility of older adults after concentric and eccentric endurance exercise., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 112: 3699-3707 (2012)
- 9) Gault M.L., Willems M.E., Isometric strength and steadiness adaptations of the knee extensor muscles to level and downhill treadmill walking in older adults., *Biogerontology.*, 14: 197-208 (2013)
- 10) Hortobagyi T., Barrier J., Beard D., Braspeninx J., Koens P., Devita P., Dempsey L., Lambert J., Greater initial adaptations to submaximal muscle lengthening than maximal shortening., *J. Appl. Physiol.*, 81: 1677-1682 (1996)
- 11) Isner-Horobeti M.E., Dufour S.P., Vautravers P., Geny B., Coudeyre E., Richard R. Eccentric exercise training: modalities, applications and perspectives. *Sports Med.*, 43: 483-512 (2013)
- 12) LaStayo P., Marcus R., Dibble L., Frajaco F., Lindstedt S. Eccentric exercise in rehabilitation: safety, feasibility, and application., *J. Appl. Physiol.*, 116: 1426-1434 (2014)
- 13) Maeo S., Kanemoto W., Miyazaki K., Yamamoto M. Muscular activities during uphill and downhill treadmill walking which stimulates mountaineering with respect to changes in slope, velocity, and backpack load., *Jpn. J. Mountain Med.*, 32: 103-115

- (2012)
- 14) Maeo S., Miyazaki K., Kanehisa H., Yamamoto M. Short duration downhill walking performed beforehand attenuates muscle function loss and delayed onset muscle soreness following long duration downhill walking. *Jpn. J. Mountain Med.*, **33**: 99-107 (2013)
  - 15) Maeo S., Yamamoto M., Kanehisa H. Muscular adaptations to short-term low-frequency downhill walking training. *Int. J. Sports Med.*, **36**: 150-156 (2015)
  - 16) Paulsen G., Mikkelsen U.R., Raastad T., Peake J.M., Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? *Exerc. Immunol. Rev.*, **18**: 42-97 (2012)
  - 17) Rodio A., Fattorini L., Downhill walking to improve lower limb strength in healthy young adults., *Eur. J. Sport Sci.*, 1-7 (2014)
  - 18) Rowlands A.V., Eston R.G., Tilzey C., Effect of stride length manipulation on symptoms of exercise-induced muscle damage and the repeated bout effect., *J. Sports Sci.*, **19**: 333-340 (2001)
  - 19) Schoenfeld B.J., Does exercise-induced muscle damage play a role in skeletal muscle hypertrophy? *J. Strength Cond. Res.*, **26**: 1441-1453 (2012)
  - 20) Tomberlin J.P., Basford J.R., Schwen E.E., Orte P.A., Scott S.C., Laughman R.K., Ilstrup D.M., Comparative study of isokinetic eccentric and concentric quadriceps training., *J. Orthop. Sports Phys. Ther.*, **14**: 31-36 (1991)
  - 21) Vogt M., Hoppeler H.H., Eccentric exercise: mechanisms and effects when used as training regime or training adjunct., *J. Appl. Physiol.*, **116**: 1446-1454 (2014)
  - 22) Yang Y.R., Lee Y.Y., Cheng S.J., Wang R.Y., Downhill walking training in individuals with Parkinson's disease: a randomized controlled trial., *Am. J. Phys. Med. Rehabil.*, **89**: 706-714 (2010)