

[原著]

## 足関節底背屈等速反復運動による下腿三頭筋の筋硬度上昇は、 運動直後の振動刺激によって速やかに低下する。

野 崎 大 智<sup>1</sup>      岩 切 幸 一 郎<sup>2</sup>      土 井 篤<sup>3,\*</sup>

Vibration therapy on calf muscle inhibits the elevation of the muscle stiffness forced by the repetitive isokinetic ankle exercise.

Daichi NOZAKI, Ko-ichiro IWAKIRI, Atsushi DOI

### 要旨

【目的】本稿の目的は、振動刺激が等速運動によって起こった筋硬度上昇を抑制できるかどうかを検証することである。【方法】健常男性7名（平均年齢21.0歳，平均身長167.3cm，平均体重60.5kg）の右下腿三頭筋に対して等速運動機器を用いた足関節底背屈の等速反復運動を施行し，下腿三頭筋の筋疲労による筋硬度の変化について実験を行った。さらに，同じ反復運動を実施した直後に3分間の振動刺激を加えた場合（振動刺激群）と加えない場合（コントロール群）の筋硬度も経時的に測定した。【結果】コントロール群において，7名中2名のみが足関節等速運動後10分の時点でほぼ安静時の値に戻り，5名は運動後10分間までに安静時の値に戻らなかった。コントロール群における運動後の筋硬度は，安静時と比較すると運動後9分の時点まで有意差がみられ（ $p < 0.05$ ），10分後に有意差がみられなくなった。一方，振動刺激群において，7名中2名は運動後3分に，残りの5名は6分以内に安静時の値に戻った。振動刺激群における運動後の筋硬度は，安静時と比較すると2分後まで有意差がみられ（ $p < 0.05$ ），3分後以降では有意差がみられなかった。コントロール群と振動刺激群との比較では，振動刺激開始後2分後から7分後まで振動刺激群が有意に筋硬度の値が小さかった。【結論】今回の結果より，振動刺激が等速運動によって起こった筋硬度上昇を抑制できることが確かめられた。

キーワード：等速反復運動，筋硬度，振動刺激

### I はじめに

関節運動は，関節を動かさない等尺性運動<sup>1)</sup>と関節を動かす等張性運動<sup>1)</sup>に分けることができ，さらに等張性運動の中には一定の角速度でしか動かすことのできない等速性運動<sup>2)</sup>が含まれている。一般的に，等速性運動の要素を含まない等張性運動と等尺

性運動は，比較的簡単な器具や重錘負荷によって再現することができる。一方，等速性運動はBIODEXのような特殊な機器でしか運動を再現することができないが<sup>2)</sup>，他の運動ではできない定量的な筋出力評価が可能であるという特徴も有する<sup>3)</sup>。

例えば，等速性運動による筋力増強を行なった場合，反復回数を多くすればするほど最大随意収縮の

学科

<sup>1</sup>御幸病院 リハビリテーション室

<sup>2</sup>医療法人フォーチュン なかがわ整形 整形外科/リハビリ科

<sup>3</sup>熊本保健科学大学 リハビリテーション学科 理学療法学専攻 保健科学研究科 リハビリテーション領域

\*責任著者：doi@kumamoto-hsu.ac.jp

低下が起こる。これは臨床上、運動によって起こる筋疲労と呼ばれ、それは筋張力低下で表すこともでき、運動後2-3日は続くと報告されている<sup>4)</sup>。このように持続的な運動によってしばしば経験する筋疲労であるが、筋疲労そのものを簡易に測定することは意外に難しい。ところで我々は、筋疲労が起こったと同時に筋が硬くなる、いわゆる筋硬度の上昇をしばしば経験する。この筋硬度が上昇する原因として、運動等による血流量の上昇、筋膜内圧の上昇、小胞体内に貯蔵されているCa<sup>2+</sup>遊離が考えられている<sup>5,6)</sup>。土居らは筋疲労の指標として簡易に測定することのできる筋硬度の意義を述べており<sup>7)</sup>、先行研究においても筋硬度計を用いた研究が行われている<sup>8-12)</sup>。

運動によって筋硬度上昇や筋疲労が起こった時、それらを軽減する手段として軽い運動<sup>13)</sup>、ストレッチ<sup>9,14)</sup>、マッサージ<sup>15)</sup>、アイスマッサージ<sup>16)</sup>、振動刺激<sup>17,18)</sup>などの報告があり、その中でも安静時の筋を対象に刺激の周波数、振幅、部位、時間の様々な条件で局所振動刺激の効果を検証している中林らの研究は興味深い<sup>19-21)</sup>。実際、局所への振動刺激は簡便に使用することができ、熟練度を必要としないなどの利点を有しているため、変形性膝関節症や頸部痛の治療にも用いられている<sup>22,23)</sup>。しかしながら、筋疲労時の筋を対象にした振動刺激の報告は我々の知る限り少ない<sup>24,25)</sup>。そこで本研究において、簡易に筋硬度を測定することのできる筋硬度計、等速運動機器と振動刺激機器を用いて(1)足関節底背屈方向への等速反復運動を行なった後に筋出力低下とともに下腿三頭筋の筋硬度が上昇するのか？(2)仮に等速運動後に筋硬度の上昇が見られた場合、運動直後に振動刺激を与えることで筋硬度上昇を抑制することができるのか？以上の2点について検討することを目的とした。

## II 対象と方法

特筆すべき疾患を有さない健常学生7名(全て男性、平均年齢21.0歳、平均身長167.3cm、平均体重60.5kg)を対象とした。対象者には研究内容を十分に説明し、同意を得た後に施行した。なお本研究は熊本保健科学大学疫学研究倫理審査委員会の承諾(疫25-41)を得て実施された。対象者はベッドで腹臥位をとり、安静時の下腿三頭筋の筋硬度を筋硬度

計(TDM-N1, トライオール社製 千葉 日本)(図1A)を用いて測定した。この筋硬度計TDM-N1はデュロメータ硬度計の原理を応用しており、筋硬度計で得られる硬さ測定値に単位はない。但し、力の単位であるニュートン(N)と実際の測定値との間には $N = 0.0238 \times (\text{測定値}) + 0.532$ の関係があり、測定力初圧は $0.6 \pm 0.2\text{N}$ 、測定力25は $1.05 \pm 0.3\text{N}$ 、測定力50は $1.70 \pm 0.4\text{N}$ 、測定75は $2.33 \pm 0.5\text{N}$ 、測定力終圧は $2.94 \pm 0.6\text{N}$ と計算することができる。筋硬度を測定する際、筋硬度計の先端のプロープを下腿三頭筋の筋腱移行部から4ないし5横指頭側中央部の皮膚表面に直角に当て、筋硬度計の音が鳴った時点で筋硬度を測定した。その際、等速運動後及び振動刺激介入によって測定部位が異ならないように正確にマーキングを行い、出来る限り一人の検査者のみが筋硬度計の測定を行うように配慮した。その後、等速運動機能評価測定機器BIODEX(BIODEX Medical社製)(図1C)を用い、膝関節90°屈曲位において足関節底背屈の等速運動(角速度180度/秒)を行なってもらい、初期最大筋出力の50%になった時点で等速運動を終了した(図1D)。足関節低背屈の等速運動のみを行なった群(コントロール群)に対しては、運動後10分間の安静腹臥位をとり、その間1分毎に筋硬度を測定した。足関節に対する等速運動後に振動刺激を加えた群(振動刺激群)の振動刺激にはハンディーマッサージャー(MD01, スライヴ社製、振動刺激周波数100Hz以下の刺激)(図1B)を用いた。振動刺激は、安静腹臥位にて筋硬度測定部位を含む内外側部に足関節等速運動後に3分間与え、その後7分間の安静を保った。その間コントロール群と同様に筋硬度を1分毎に測定した。対象者7名はコントロール群及び振動刺激群の両方に参加した。その際、運動によって起こる筋疲労は運動後2-3日続くと報告されていることから<sup>4)</sup>、両群間で行われる実験は同一被検者で最低3日以上空けた。

まず予備実験として今回使用した筋硬度計の再現性と妥当性を検討した。まず今回の被検者7名に対して1名につき5施行の筋硬度を各試行間で最低3日以上の間隔を空けて測定した。その際、1施行の筋硬度測定に対して3回の測定を行った(図2A)。被検者7名における5施行分(3回×5施行×7名分=105回)のデータを用い、まず同一日に測定した1施行内(3回のデータ)の筋硬度差(筋硬度の

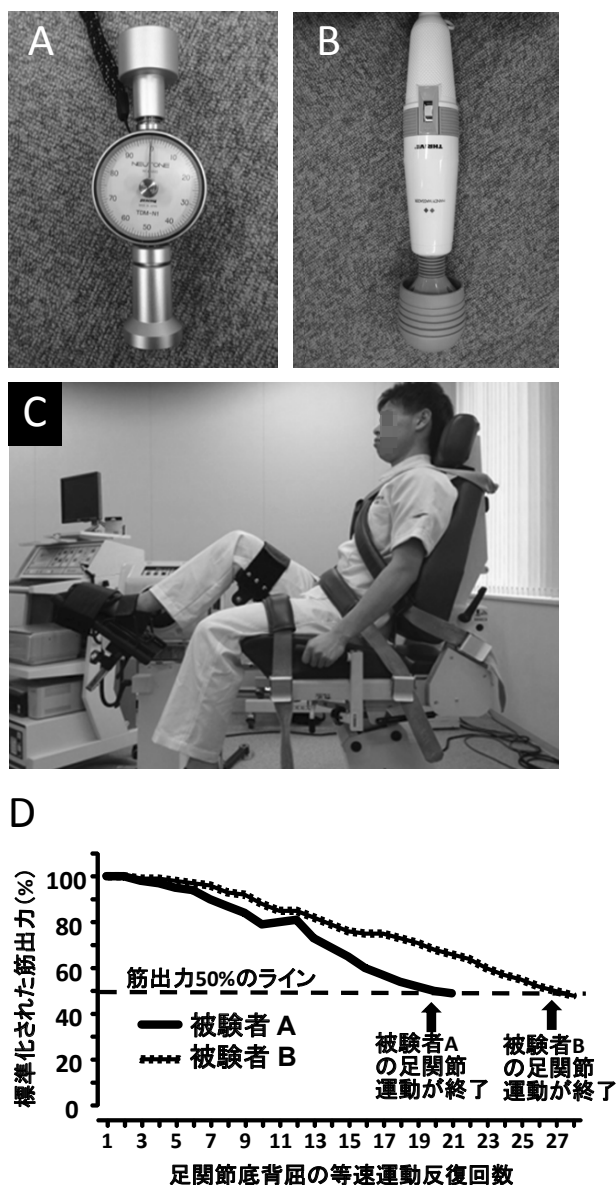


図1. 使用機器及び足関節底背屈等速運動

A: 筋硬度計 (TDM-N1) B: 振動刺激装置 (MD01) C: 等速運動機能評価測定機器 BIODEX 座位にて被検者は足関節固定、膝関節90°屈曲位の状態足関節底背屈の等速運動(角速度 180度/秒)を行う。D: 足関節底背屈の等速反復運動のプロトコル例を示す。例えば被検者Aにおいて、足関節の等速反復運動開始後21往復目に最初の筋出力の50%になったため、等速運動は終了となる。同様に被検者Bにおいて、その終了は28往復目となる。

最大値 - 最小値の差, 5 施行×7 名分 = 35 回分) を分析した (図 2B)。また各々の被検者において、異なる日に測定した 5 施行 (15 回のデータ) の筋硬度差から各被検者の平均値と標準偏差を算出した (図 2C, 2D)。

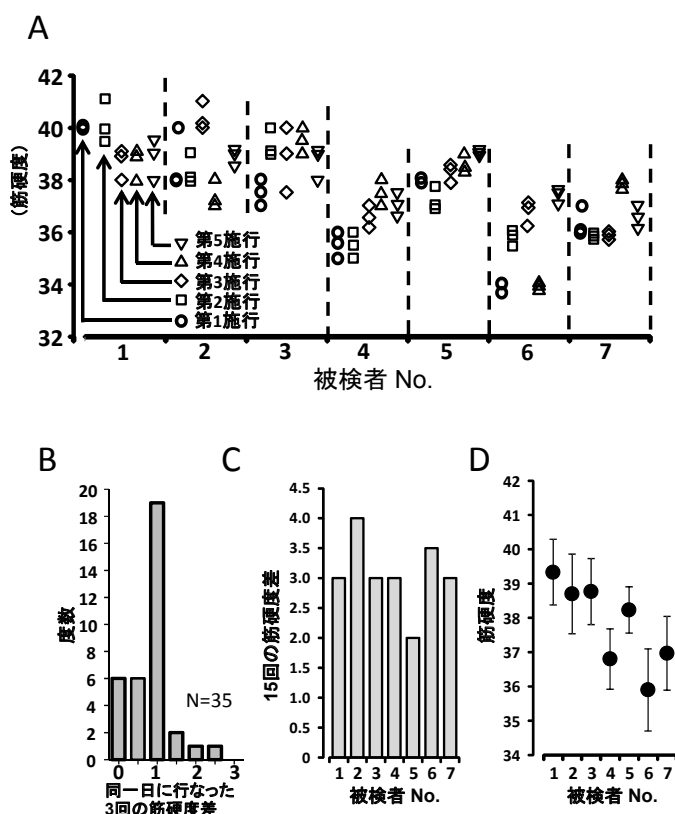


図2. 筋硬度計の再現性と信頼性

A: 被検者7名に対して5施行(第1施行: 3回○, 第2施行: 3回□, 第3施行: 3回◇, 第4施行: 3回△, 第5施行: 3回▽, 各被検者は3回×5施行=計15回実施)を行った下腿三頭筋硬度を示す。横軸は被検者No, 縦軸は度数を表す。B: 被検者7名の各々に対して同一日に行なった3回の筋硬度差を横軸, 縦軸は度数を表す。C: 被検者7名の各々に対して行なった5施行計15回の筋硬度差を縦軸, 被検者Noを横軸で示す。D: 被検者7名の各々に対して行なった5施行計15回の筋硬度平均値と標準偏差を示す。縦軸は筋硬度, 横軸は被検者No, 黒丸は筋硬度平均値, エラーバーは標準偏差を表す。

統計学的手法として、コントロール群と振動刺激群それぞれの群において等速運動後の筋硬度変化と安静時筋硬度を比較するためにまず Friedman 検定を行い, post hoc テストとして Holm 法<sup>26, 27)</sup> を用い, 有意水準 5% にて運動前と運動後それぞれとの有意差を求めた。同様に, 各時間でのコントロール群と振動刺激群を比較するために Holm 法を行い, 有意水準 5% に対して有意差を求めた。以上の統計学的検討を行うために, オープンソースソフトウェア R コマンドを改変して作成された EZR (自治医科大学 さいたま医療センター)<sup>28)</sup> を用いた。



### Ⅲ 結果

#### 1 筋硬度測定における同一日の変動及び日差変動について

被検者7名における5施行分全ての筋硬度を図2Aに示す。同一日に測定した各被検者の1施行内(3回)の筋硬度差をまとめた図2Bにおいて、筋硬度差の最大値は2.5でその度数の割合は2.9% (= 1回/35回×100)、最小値は0で度数の割合は17.1% (= 6回/35回×100)、最大度数は1.0でその割合は54.3% (= 19回/35回×100)であり、その筋硬度差が1.0以下の割合は88.6% (= 31回/35回×100)であった。しかしながら、同一被検者における異なる日に測定した5施行内(15回のデータ)の筋硬度差は、被検者No.5において2.0であったが、残りの6名では3.0以上となった(図2C)。また、筋硬度差の著しい被検者No.2(差筋硬度:4.0)と被検者No.6(筋硬度差:3.5)は図2Dにおける標準偏差も大きくなっていった。

#### 2 足関節の等速運動直後、下腿三頭筋の筋硬度は急激に上昇する。

コントロール群及び振動刺激群における7名それぞれの筋硬度変化を折れ線グラフとして図3に示す。コントロール群において、7名の安静時筋硬度の平均と標準偏差は $37.5 \pm 1.32$ であった(図3b)。7名全員は足関節底背屈の等速反復運動直後に筋硬度の急激な上昇を認め(0分時:  $39.6 \pm 1.41$ )、安静時と等速反復運動直後の筋硬度は統計学的に有意な差があった(\* $p < 0.05$ ) (図3Aa)。また振動刺激群においても、等速運動直後の筋硬度(0分時:  $40.0 \pm 0.73$ )は安静時( $37.8 \pm 0.93$ )に比べ、有意な上昇を認めた。(\* $p < 0.05$ ) (図3Ba)。

#### 3 運動後に行う3分間の振動刺激は、下腿三頭筋の筋硬度上昇を抑制する。

コントロール群において、7名中2名のみが運動後10分の時点でほぼ安静時の値に戻り、5名は運動後10分間までに安静時の値に戻らなかった(図3Ab)。コントロール群における運動後の筋硬度は、安静時と比較すると運動後9分の時点まで有意な上昇が見られ(\* $p < 0.05$ )、10分後では有意差が認められなかった(図3Aa)。振動刺激群において、7名中2名は運動後3分に、残りの5名は運動後6分

で一旦安静時の値に戻った(図3Bb)。振動刺激群における運動後の筋硬度は安静時と比較すると0分、1分、2分の時点で有意な上昇が認められ(\* $p < 0.05$ )、3分後以降では有意差が認められなかった(図3Ba)。

#### 4 振動刺激群はコントロール群に比べ、運動によって上昇した筋硬度が有意に低下する。

コントロール群及び振動刺激群それぞれ7名の筋硬度を折れ線グラフにしたものを図4に示す。安静時の筋硬度に関して、コントロール群( $37.5 \pm 1.32$ )と振動刺激群( $37.8 \pm 0.93$ )との間で有意差は認められなかった(図4)。また運動直後の筋硬度の比較においても、コントロール群(0分時:  $39.6 \pm 1.41$ )と振動刺激群(0分時:  $40.0 \pm 0.73$ )との間で有意差はなかった(図4)。しかしながら、運動後2分から7分の時点におけるコントロール群の筋硬度は、振動刺激群のそれらと比較し、有意に上昇していた(\* $p < 0.05$ ) (図4)。

### Ⅳ 考察

本研究は、振動刺激が筋硬度に影響するかどうかを明らかにするために、足関節底背屈の等速反復運動によって筋硬度を上昇させ、等速運動直後に与えた振動刺激が筋硬度に及ぼす影響について検証した。その結果、足関節底背屈の等速反復運動によって足関節底屈筋である下腿三頭筋の筋硬度が上昇し、3分間の振動刺激はその上昇した筋硬度を有意に低下させた。足関節に対する反復運動によって足関節背屈筋である前脛骨筋においても筋硬度上昇が見られるものと考えられるが、今回は、より筋硬度を測定しやすい筋腹の大きな下腿三頭筋を選択した。

まず、今回使用した筋硬度計の再現性と実用性について考察する。同一被検者に対する5施行の測定において、測定間のバラツキは比較的小さいため、少なくとも同一測定日では定量評価として使用できると推察された。同一被検者であっても測定日が変われば値も大きく変動する結果となったが、それは機器の問題や測定者の習熟度以外に被検者自身のコンディションに依存している可能性も考えられた。つまり、測定した抗重力筋は日常生活でその活動が必須であるので、測定日における運動の負荷量(歩行)や測定日前後での運動量の違いなどといった

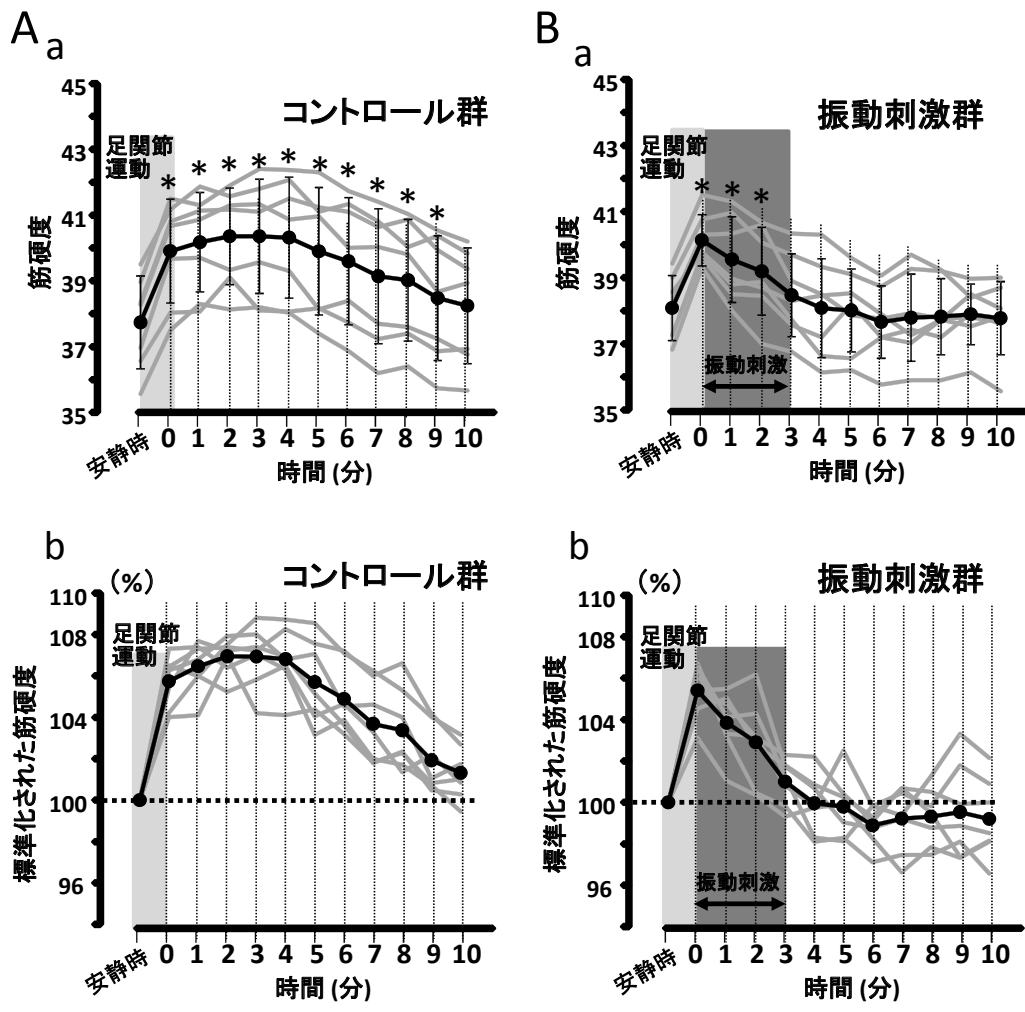


図3. コントロール群と振動刺激群における足関節等速反復運動後の筋硬度変化

A : (a) はコントロール群の下腿三頭筋々硬度の変化を表す (\* p < 0.05)。 (b) の縦軸はコントロール群の安静時筋硬度の変化を100%とした時の変化率で (Aa) を再作図したものである。 B : (a) は振動刺激群の下腿三頭筋々硬度の変化を表す (\* p < 0.05)。 (b) は振動刺激群の安静時筋硬度の変化を100%とした時の変化率で (Ba) を再作図したものである。 4つの折れ線グラフのそれぞれにおいて、灰色の折れ線は被検者の変化を示し、黒丸は7名の平均値、エラーバーは標準偏差を示す。横軸は時間(分)、縦軸は筋硬度を表す。

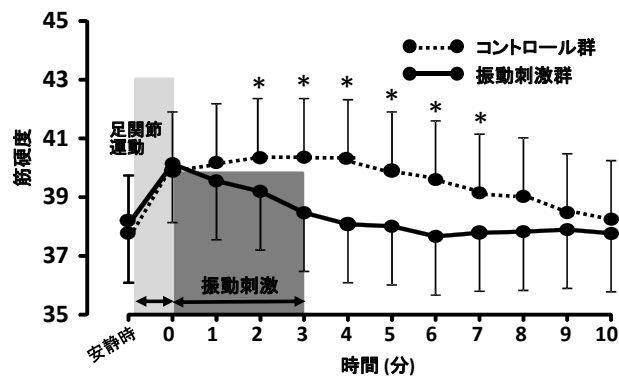


図4. コントロール群と振動刺激群における足関節等速運動後の筋硬度変化

横軸は時間(分)、縦軸は筋硬度を示す。黒丸は7名の平均値、エラーバーは標準偏差を表す。 (\* p < 0.05)。

日々の活動量にもその筋硬度は関係している可能性がある。それ故、異なる測定日でその値が大きく変動するからと言って、一概に信頼性が無いと言えないかもしれない。

実際、筋硬度計による筋硬度測定の実験研究は数多く報告されており<sup>8, 11, 12, 29)</sup>、その中で肥田らは測定者が同じであれば定量的な比較は可能であると述べており<sup>12)</sup>、齊藤は筋硬度計の精度を論じる場合、評価者の押圧強度が一定であることや測定部位に垂直に押圧することが最大の問題であると挙げている<sup>30)</sup>。今回、事前に上記の事を頭に入れながら繰り返し練習を行い、測定部位や押圧方法などの測定条件を一定にする、また検査者を出来る限り一人にすることで、ある程度評価に使用できるレベルまで達したのではないかと思われた。それは、安静時の筋硬度がコントロール群と振動刺激群で有意な差が無かったこと、運動直後に上昇した筋硬度は両群にて有意差のないこと(図4)からも推察された。

運動直後において筋硬度上昇が見られたメカニズムとして、(1) 足関節底背屈の等速反復運動による下腿三頭筋の末梢性疲労がグリコーゲン、ATPの十分な供給に支障をきたしたこと、(2) 疲労物質である乳酸の蓄積ならびにそれに伴うpHの低下やCa<sup>2+</sup>の移動の減少、(3) 足関節運動時に下腿三頭筋でのうっ滞や筋疲労が運動後に血流量を上昇させ、結果的にCa<sup>2+</sup>遊離と過度な筋収縮を起こすことによって筋硬度が上昇するのではないかと考えられた<sup>5, 6)</sup>。それ故、運動後に起こる振動刺激は、これらの筋硬度上昇メカニズムのいずれかに作用した可能性を考えた。

コントロール群の筋硬度の変化として、運動後の下腿三頭筋は5分間で筋硬度が低下しはじめたが、運動後10分を経過しても安静時の筋硬度にまで回復した者は2名であった。運動後に大腿四頭筋の筋硬度を測定した報告によると、運動終了後5分には回復しており<sup>24)</sup>、今回測定した下腿三頭筋とはその結果が異なっていた。その理由について2つの事が考えられる。その一つは筋組成の問題である。大腿四頭筋の一つである外側広筋は遅筋が36-44%で速筋が56-63%<sup>31)</sup>、下腿三頭筋は遅筋が76-79%で速筋が21-24%<sup>32)</sup>という先行研究がある。速筋と遅筋とどちらのほうが筋疲労からの回復が早いのかについては明らかではないが、そのような筋組成の違いも今回と先行研究の違いに関係しているのかもしれない。

二つ目の理由として、先行研究で用いられた等尺性収縮と今回用いた等速性収縮による筋への負荷量の違いにあるのかもしれない。即ち等尺性収縮の場合、ある角度に関節を固定して収縮を行わせるが、等速性の場合には関節が運動する範囲全てに抵抗がかかるので<sup>33)</sup>、等尺性収縮に比べ等速性収縮の方が筋により多く負荷がかかり、安静時の筋硬度まで回復する時間が長くなった可能性を考えた。

松原らは振動刺激によって筋紡錘が興奮し、その結果として刺激された筋が逆に過剰収縮を行うことで拮抗筋が弛緩するという緊張性振動反射についても報告している<sup>24)</sup>。このような反応の違いには振動刺激の刺激条件が影響すると考えられるが、少なくとも本研究で用いた刺激時間3分という刺激条件では刺激筋の筋硬度抑制効果のあることが明らかになった。また中林らは、安静時の筋に対しての振動刺激の効果として振動刺激開始1分後から筋硬度低下が認められ、それが3分間継続すると述べている<sup>19-21)</sup>。コントロール群と振動刺激群を比較した際に有意差が2分から7分後に認められたことを考えると、安静時の筋硬度と運動後の筋硬度上昇に対する振動刺激の効果とはその効果メカニズムが異なるのかもしれない。

## V 結論

今回、足関節底背屈の等速反復運動によって下腿三頭筋で上昇する筋硬度に対し振動刺激を用い、その効果を検証した。その結果、振動刺激を用いることで運動後の筋硬度上昇に対して有意に筋硬度が低下した。従って、スポーツの試合中や試合後の筋硬度上昇に伴う疲労や筋痛などに対する軽減策として、ストレッチング、マッサージ、アイシングなどに加えて振動刺激を用いることも有効ではないかと考えられた。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、ならびに協力して頂いた皆様へ心から感謝の気持ちとお礼を申し上げます。

## 利益相反

本研究において、開示すべきCOI関係にある企



業等はない。

### 【引用文献】

- 1) Nazmi N, Abdul Rahman MA, Yamamoto S, 他: A Review of Classification Techniques of EMG Signals during Isotonic and Isometric Contractions. *Sensors (Basel)*, 16 : 2016.
- 2) Bottaro M, Russo AF, de Oliveira RJ: The effects of rest interval on quadriceps torque during an isokinetic testing protocol in elderly. *J Sports Sci Med*, 4 : 285-290, 2005.
- 3) Ellenbecker TS, Davies GJ: The application of isokinetics in testing and rehabilitation of the shoulder complex. *J Athl Train*, 35 : 338-350, 2000.
- 4) 栗山節郎: 筋疲労と理学療法 体育の科学, 40 : 349-353, 1990.
- 5) 山口和之, 宮下智, 小野武也: 筋疲労の評価法. 理学療法 14 : 706-712, 1997.
- 6) 和田正信, 坂本誠, 杉山美奈子, 他: 高強度運動における筋疲労の要因: 無機リン酸, グリコーゲンおよび活性酸素種の影響. 体育学研究, 51 : 399-408, 2006.
- 7) 土居陽治郎, 小林一敏: 筋肉の硬さ測定に関する研究. 体育科学系紀要, 11 : 265-274, 1988.
- 8) 高梨晃, 烏野大, 塩田琴美, 他: 2種類の軟部組織硬度計における再現性, 信頼性の検討. 理学療法科学, 23 : 297-300, 2008.
- 9) 今戸啓二: ふくらはぎのストレッチに伴う体積変化と硬さの評価に関する研究. 日本臨床バイオメカニクス学会誌 29 : 107-112, 2008.
- 10) 内山孝憲, 大杉健司, 村山光義: 押し込み反力計測による筋の硬さの評価: 等尺性収縮力依存性と筋疲労の影響. *バイオメカニクス* : 219-227, 2006.
- 11) 内田誠也, 津田康民, 木村友昭, 他: 肩の筋硬度計測による肩こりの評価に関する検討. 心身医学, 51 : 1120-1132, 2011.
- 12) 肥田朋子, 天野幸代: 筋硬度計による生体の硬さ測定-再現性と妥当性と有用性. 名古屋学院大学論集 人文・自然科学篇, 46 : 55-61, 2010.
- 13) 渡邊進, 江口淳子: 軽運動が腰背筋疲労の回復に与える影響. 日本理学療法学会大会, 2002 : 828, 2003.
- 14) 坂上昇, 大倉三洋: ストレッチングの筋疲労回復に関する研究, 高知リハビリテーション学院紀要, 2 : 1-7, 2001.
- 15) 麻賀多美代, 麻生智子, 吉田晋: 口腔周囲のマッサージによる咀嚼筋の疲労回復に関する研究. 日本歯科衛生教育学会雑誌 5 : 46-51, 2014.
- 16) 近藤宏, 青木広光, 宮本俊和, 他: 前腕の筋疲労に対するアイスマッサージが皮膚温に与える影響. 医学・生物学サーモロジー, 21 : 102-107, 2001.
- 17) Bongiovanni LG, Hagbarth KE, Stjernberg L: Prolonged muscle vibration reducing motor output in maximal voluntary contractions in man. *J Physiol*, 423 : 15-26, 1990.
- 18) Gabriel DA, Basford JR, An KN: Vibratory facilitation of strength in fatigued muscle. *Arch Phys Med Rehabil*, 83: 1202-1205, 2002.
- 19) 中林紘二, 松本典久, 水野健太郎, 他: 外側広筋に対する振動刺激が膝関節伸展運動時の筋活動量に及ぼす影響. 理学療法科学, 28: 383-387, 2013.
- 20) 中林紘二, 兒玉隆之, 松本典久, 他: 振動刺激部位の違いが下腿三頭筋の筋緊張抑制効果に及ぼす影響: 下腿三頭筋の腱部と筋腹部の比較. 理学療法科学, 27: 151-154, 2012.
- 21) 中林紘二, 兒玉隆之, 水野健太郎, 他: 振動刺激による下腿三頭筋の筋緊張抑制効果: H/M比を用いた筋緊張の経時的解析. 理学療法科学, 26 : 393-396, 2011.
- 22) Rabini A, De Sire A, Marzetti E, 他: Effects of focal muscle vibration on physical functioning in patients with knee osteoarthritis: a randomized controlled trial. *Eur Phys Rehabil Med*, 51 : 513-520, 2015.
- 23) Muceli S, Farina D, Kirkesola G, 他: Reduced force steadiness in women with neck pain and the effect of short term vibration. *J Electromyogr Kinesiol*, 21 : 283-290, 2011.
- 24) 松原由未子, 栗井瞳, 木村護郎, 他: 疲労に至る等尺性運動後の筋硬度回復に対する振動刺激の効果. 理学療法科学, 19 : 341-345, 2004.
- 25) Boucher JA, Abboud J, Nougrou F, 他: The

- Effects of Vibration and Muscle Fatigue on Trunk Sensorimotor Control in Low Back Pain Patients. *PLoS One*, 10 : pe0135838, 2015.
- 26) 松木秀明: エビデンスで示せる統計学 第12回多群の比較. *産業看護*, 3 : 545-552, 2011.
- 27) Holm S: A Simple Sequentially Rejective Multiple Test Procedure. *Scand J Statist*, 6 : 65-70, 1979.
- 28) Kanda Y: Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics. *Bone Marrow Transplant*, 48 : 452-458, 2013.
- 29) 平田大勝, 矢倉千昭, 緒方彩: 2種類の筋硬度計を用いた下肢の筋硬度測定. *国際医療福祉大学福岡リハビリテーション学部・福岡看護学部紀要*, 5 : 55-59, 2009.
- 30) 齊藤秀之: 痛みに関連する生体情報の測定法. *理学療法*, 23 : 99-104, 2006.
- 31) Staron RS, Hagerman FC, Hikida RS, 他: Fiber type composition of the vastus lateralis muscle of young men and women. *J Histochem Cytochem*, 48 : 623-629, 2000.
- 32) Dahmane R, Djordjevic S, Simunic B, 他: Spatial fiber type distribution in normal human muscle Histochemical and tensiomyographical evaluation. *J Biomech*, 38 : 2451-2459, 2005.
- 33) 吉野直美, 三和真人, 鈴木克彦, 他: 等速性筋力測定装置 Cybex の運動角速度の検証. *山形保健医療研究*, 5 : 51-56, 2002.

(平成29年2月8日受理)



## Vibration therapy on calf muscle inhibits the elevation of the muscle stiffness forced by the isokinetic ankle exercise.

Daichi NOZAKI, Ko-ichiro IWAKIRI, Atsushi DOI

The purpose of this study is to investigate whether vibration therapy on gastrocnemius (calf) muscle inhibits the elevation of muscle stiffness. Seven healthy subjects (average age 21 years, all of them male) participated in this study. At the beginning, the calf muscle stiffness was measured by the equipment (TDM-N1) to establish the baseline condition. Then, after they had done the repetitive isokinetic ankle exercise, we checked the change in calf muscle stiffness by using the TDM-N1 again (control group). In the vibration group, in addition to the protocol, after each subject had finished the exercise, vibration therapy was carried out on the muscle for 3 minutes. Then, we regularly measured the calf muscle stiffness of the subjects in both groups at 1-minute intervals for 10 minutes. In the control group, the stiffness of 2 of the 7 subjects returned to the baseline condition 10 minutes after exercise. However, the stiffness of 5 did not go down to the baseline. Further, in the control group, the stiffness between 0 and 9 minutes after the exercise was significantly higher than that of the baseline condition ( $p < 0.05$ ). On the other hand, for the vibration group, the stiffness at 2, 4, and 1 in 7 subjects recovered to the baseline at 3 minutes, 5 minutes, and 6 minutes, respectively, after the exercise. Moreover, for the vibration group, the stiffness was significantly more increased than that of the baseline condition only at 0 to 2 minutes after the exercise ( $p < 0.05$ ) but not from 3 to 10 minutes. The stiffness after the exercise for the vibration group was significantly much lower than that of the control group from 2 to 7 minutes. In conclusion, we confirmed that the vibration therapy on the calf muscle suppressed the elevation of the muscle stiffness forced by the isokinetic exercise for the ankle joint.