

研究論文

Low Frequency Fatigue の評価指標に用いる
他動的筋出力の再現性*新渡戸紗都^{1) #} 山田純生²⁾ 作井大介³⁾ 成澤正宏⁴⁾
田中裕子¹⁾ 清水優子¹⁾ 河野裕治¹⁾

要旨

【目的】本研究の目的は、LFF (low frequency fatigue) の評価指標 (他動的筋出力) の再現性を検討することである。【方法】健康女子学生 13 名を対象とした。LFF は一般的には異なる周波数の電気刺激 (electrical stimulation, ES) に対する他動的筋出力が指標とされる。本研究における LFF の評価指標は、15 Hz、100 Hz での ES 時の他動的筋出力とした。日内再現性は 15 Hz、100 Hz での刺激を 1 セットとしたものを 5 分の間隔をおき 2 回行い、それぞれの他動的筋出力を比較し、日間再現性は 2-3 日の間隔をあけ 2 回行い、同様に他動的筋出力値を比較検討した。【結果】日内再現性の ICC_{1,1} は、15 Hz: 0.977, 100 Hz: 0.985 であった。日間再現性の ICC_{1,1} は、15 Hz: 0.833, 100 Hz: 0.874 であった。Bland-Altman グラフにおいては、100 Hz の日内再現性のみ系統誤差が認められた。【結論】今回の結果から、LFF を評価する指標 (他動的筋出力) は日内、日間ともに高い信頼性を得られ、LFF の評価指標としての有用性を確認した。

キーワード 電気刺激療法, 他動的筋出力, 再現性

はじめに

心不全患者では安静臥床や身体非活動による筋力低下が生じやすい。これは健康者にみられる単なる廃用性筋萎縮とは異なり、筋血流の減少や交感神経活性の亢進ならびに炎症性サイトカインなど病態特異的因子が作用する¹⁾。したがって、病態が不安定となり安静臥床を強いられる急性増悪期は特に筋萎縮が進行しやすく、骨格筋の機能維持は入院リハビリテーションの主要な関心事と

なっている。

安静臥床による deconditioning の予防的方策としての骨格筋への介入は、ベッド上での静的膝伸展運動²⁾、自転車エルゴメーターでの動的運動³⁾ など、様々な試みが報告されている。しかしながら、これらはいずれも健康人を対象として積極的運動を行っており、心不全患者に対して適応できる方法論ではない。心不全患者が臥床を余儀なくされる場合は、病態自体が不安定な時期あるいは病態が安定して間もない時期である。したがって、病態が安定するまでは病態増悪を招かないよう軽度の自動運動でも積極的に行われることは少ない。この点、他動的運動である電気刺激 (electrical stimulation, ES) 療法は、急性増悪後の早期でも交感神経活性の過剰な亢進を招くことはなく⁴⁾、心臓外科術後や重症心不全患者などの骨格筋機能や運動耐容能ならびに QOL (quality of life) を改善することが報告されている⁵⁻⁷⁾。これらの報告は ES 療法が心不全急性増悪期における有力な介入方策となることを示唆している。

一方で、ES 療法は low frequency fatigue (LFF) と呼ばれる疲労をきたすことが報告されている⁸⁾。LFF とは低い周波数刺激に対する収縮反応の低下と定義され、筋小胞体からの Ca²⁺ の放出あるいは早期取り込み

* Reliability of Muscle Torque Response to Electrical Stimulation which Applied to Evaluate Low Frequency Fatigue

1) 名古屋大学大学院医学系研究科リハビリテーション療法学専攻博士課程

(〒461-8673 愛知県名古屋市東区大幸南一丁目1番20号)

Sato Nitobe, PT, Yuko Tanaka, PT, Yuko Shimizu, PT, MSc, Yuji Kono, PT, MSc: Program in Physical and Occupational Therapy, Nagoya University Graduate School of Medicine

2) 名古屋大学大学院医学系研究科リハビリテーション療法学専攻 Sumio Yamada, PT, PhD: Department of Physical Therapy, Nagoya University Graduate School of Medicine

3) 財団法人田附興風会医学研究所北野病院リハビリテーションセンター

Daisuke Sakui, PT, MSc: Rehabilitation Center, The Tazuke Kofukai Medical Research Institute Kitano Hospital

4) ミナト医科学株式会社中央研究所研究課

Masahiro Nurusawa: Minato Medical Science

E-mail: nitobe.sato@f.mbox.nagoya-u.ac.jp

(受付日 2009 年 5 月 20 日 / 受理日 2010 年 2 月 24 日)

の障害を主な原因とし、筋出力の回復が24時間以上遅延するのが特徴とされる⁹⁾¹⁰⁾。心不全患者の骨格筋特性は、Type I 繊維優位の萎縮や Ca^{2+} の放出障害に加えて、エネルギー産生に直接関連する筋内クレアチンリン酸の枯渇などが生じているとされ¹⁾、よりLFFをきたしやすい環境になっていると思われる。したがって、心不全患者にES療法を適応する際には、LFFを制御することが必須であると考えられるが、これまで心不全患者に対するES療法でLFFを検討したものはない。

LFFの評価方法は、異なる2種類の周波数を用いたESに対する他動的筋出力で評価される方法が用いられており、10 Hzと50 Hz、20 Hzと80 Hz、20 Hzと50 Hzなど種々の周波数による検討が報告されている⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾。しかしながら、LFF評価方法として一定の周波数刺激時の他動的筋出力の信頼性は十分に検討されておらず、LFFを制御したES療法を開発するには評価法自体を検討する必要がある。

以上より、本研究では、LFFを制御したES療法の臨床応用に向け、まず健常人においてLFFの評価指標となる他動的筋出力の再現性を検討した。具体的には本研究におけるLFFの定義を「100 Hzで刺激した時の他動的筋出力は減少しないが、15 Hzでの他動的筋出力は減少している状態」とし、LFF評価に用いる15 Hzならびに100 Hz刺激時の他動的筋出力について、日内と日間のそれぞれの再現性を検討した。

対象および方法

1. 対象

運動習慣ならびに下肢の整形疾患の既往がない健常女子大学生と大学院生13名（年齢、 22.5 ± 2.4 歳；身長、 159.9 ± 7.8 cm；体重、 51.8 ± 6.1 kg；BMI、 20.2 ± 2.2 kg/m²）を対象とした。また、高齢心疾患患者への介入を想定し、対象者は一般的に筋力が弱いと思われる女性を選択した。全ての対象者に本研究の目的と内容を十分に説明し、書面で同意を得た。本研究は名古屋大

学医学部生命倫理委員会保健部会の承認を得た（承認番号：8-507）。

2. 研究プロトコル

本研究では、1日の練習日と2日間の測定日を設けた。練習に際しては最大随意収縮（maximal voluntary contraction, MVC）測定とESを行った。MVC測定練習では代償動作を生じない筋力発揮方法が修得できるまで繰り返し行い、ESの練習においては本実験で使用する刺激様式をそれぞれ3～5分間程度体験させ、ESに慣れさせた。

測定に際しては、15 Hzならびに100 Hzの他動的筋出力測定を1日目に2回、2日目に1回実施した。日内再現性は測定1日目に15 Hzと100 Hzでの刺激時の他動的筋出力を5分間の休みをおき2回測定した結果より検討した。日間再現性は48時間から72時間の間をおいた測定1日目と測定2日目における15 Hzと100 Hzでの他動的筋出力から検討した。2種類の刺激は、全対象者とも15 Hz、100 Hzの順で行った。練習から本実験のテストまでは48時間以上の時間をあけ、対象者にはテスト前の24時間以内の激しい運動は避けさせた。また、測定中は室温を24℃に統制した。

3. 測定手順

MVCならびに他動的筋出力の測定には、ES時と同様の姿勢で筋出力が測定できる筋力測定装置を試作して用いた。筋力計は、筋力測定から電気刺激までを同姿勢で実施できるように作成し、信頼性、再現性を確認したものである。測定姿勢は、ファーラー位（股関節90度、膝関節屈曲60度）とし、骨盤と左足関節をベルクロストラップで筋力計に固定した。それぞれの対象者の下腿重量に合わせてゼロ設定を行い、下腿重量の影響を除いた。また、個々の大腿長に合わせて異なる大きさの膝関節クッションを用いて股関節の回旋を防ぎ、足パッドで足関節の固定を行った。測定値は、足関節を固定した測定

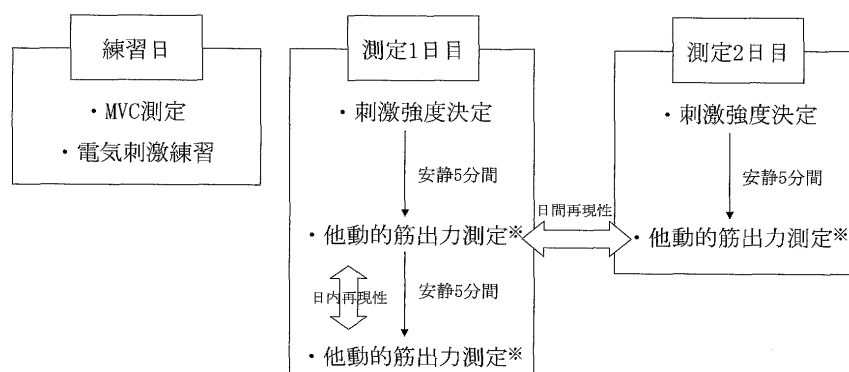


図1 研究プロトコル

※他動的筋出力：15 Hz、100 Hzの2種類の電気刺激時の他動的筋出力（トルク）

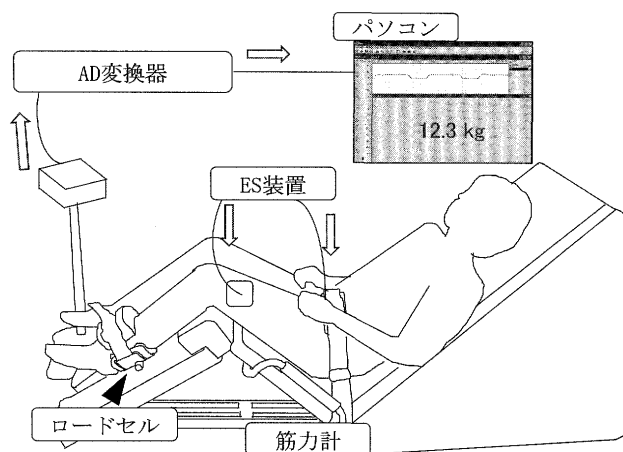


図2 MVC および他動的筋出力測定方法

部分に連動して設置されたロードセルより、直接電圧をAD変換器（power lab, バイオリサーチセンター（株））を介してパソコンに取り込んだ。データは、パソコンの画面上で数値にて視認できるようにした。

・MVC測定に際しての予備実験

左大腿四頭筋のMVCの測定に先立ち、本研究と異なる被験者10名を対象として代償動作を生じさせない指示方法について予備実験を行った。まず、各被験者につき、指示ありと指示なしの2条件下でMVC測定を無作為の順序で2回ずつ行った。MVC測定は、5秒間の等尺性収縮を30秒間あけて5回行い、最大の値をMVC値とした。2条件下での測定には5分間の間隔をあけた。

MVC測定時には、両上肢を体幹の前方で組み、頭は背もたれから少し浮かせた姿勢をとらせた。指示ありの条件では、「測定中にのけぞらない」、「ベッドに背中をおしつけない」、「お尻を浮かせない」という指示を与えた。練習に際しては、これらの口頭指示に加え、検者が大臀筋の触知を行い、大臀筋の代償反応の有無を知らせた。一方、指示なしの条件では、上記3点の口頭指示を与えなかった。また、MVC測定に際して、①頭を押し付けている、②背中を押し付けている、③体幹がのけぞっている、④臀部が浮いている、の4点を観察した。

予備実験の結果、指示を与えた場合は10名中9名が4点の観察項目が全て出現しなかった。また、MVC測定中に観察項目を1つ以上認めた場合は、全て認められなかった場合に比べて、MVCには10～20%の増加が認められた。これらの結果より、上記4項目が全て出現しないことを測定の条件とした。

・MVC測定

MVC測定時に先立ち、本実験と異なる日に上記4項目の指示を与えて1回練習を行った。MVC測定は、5秒間の等尺性収縮を30秒間あけて3回行い、最大の値をMVC値として採用した。

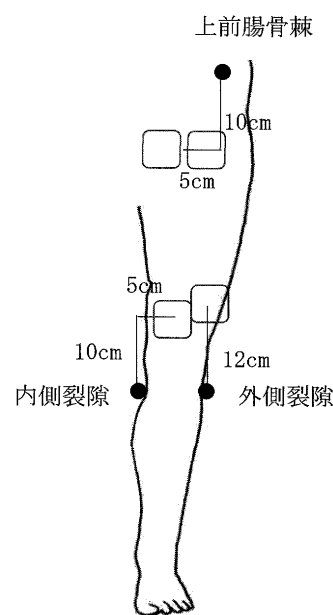


図3 電極位置

・他動的筋出力測定

測定姿勢はMVC測定時とは異なり筋力計に頭をつけた状態とし、実験中は安静を保つよう指示した。ES機器は、波形が自由に設定できるES装置を試作して用いた。電極は6.2 cm × 6.2 cmのゲル付きゴム電極を使用し、十分なアルコール清拭と研磨剤による皮膚研磨を行った後に装着した。刺激筋は内側広筋と外側広筋とした。近位の電極は上前腸骨棘から下方10 cm、内側5 cmの位置を中心として内側広筋、外側広筋に一枚ずつ装着した。内側広筋の遠位は内側膝関節裂隙から上方10 cm、外側5 cmの位置に、同様に外側広筋の遠位は外側膝関節裂隙から上方12 cmの位置に装着した。

刺激強度は10% MVCの他動的筋出力が得られる電流強度とした。刺激強度決定に用いた刺激様式は、先行研究と同様、周波数100 Hz、パルス持続時間600 μ s、パルス数6個、パルス列休止時間5 sとした¹²⁾。こうして求めた刺激強度にて、パルス列休止時間をES自体による疲労が起こりにくいとされる10 sに変更し¹²⁾、LFFの感受性が高いとされる15ならびに100 Hzの2種類の周波数で¹³⁾3列ずつの刺激を与えた。そして、この刺激時の他動的筋出力を5分の間隔をあけて2回求めた。

4. データ解析

LFF評価に用いる他動的筋出力値は、15 Hzと100 Hzの周波数にてパルス列3列に対する他動的筋出力のうち、後ろ2列の最大トルク値の平均値を用いた¹²⁾。

他動的筋出力の日内ならびに日間再現性の解析には、級内相関係数（ICC_{1,1}）とBland-Altman解析、変動係

数 (Coefficient of variation, CV) を用いた。データ解析には SPSS ver 16.0 (SPSS Japan, 東京) を使用した。

結 果

全対象者の他動的筋出力の実測値, 平均値, 標準偏差を表 1 に示した。また平均電流強度は 29.3 ± 8.7 mA であった。

他動的筋出力の日内再現性の ICC_{1,1} は, 15Hz: 0.977 (95 % CI: 0.930-0.993), 100 Hz: 0.985 (95 % CI: 0.954-0.995) であった。CV は 15 Hz: 6 %, 100 Hz: 4% であった。図 4 に, 同日に実施した他動的筋出力の Bland-Altman グラフを示した。

同様に, 日間再現性の ICC_{1,1} は, 15 Hz: 0.883 (95 % CI: 0.540-0.946), 100 Hz: 0.874 (95 % CI: 0.638-0.960) であった。CV は 15 Hz: 8 %, 100 Hz: 5% であった。図 5 に, 日を変えて実施した他動的筋出力の Bland-

Altman グラフを示した。

考 察

本研究では, ES 装置とベッド上での使用を想定した筋力測定装置を試作し, LFF を評価する他動的筋出力の再現性を検討した。その結果, LFF の評価指標となる 15 Hz ならびに 100 Hz の ES 時の他動的筋出力は, 日内, 日間ともに高い信頼性を示し, LFF の評価指標として臨床応用が可能と思われた。

本研究では, 測定肢位をベッド上での臨床応用を想定してファーラー位とし, 大腿四等筋の他動的筋出力を検討した。これまで本研究と同じ大腿四頭筋を対象とした場合の他動的筋出力の測定肢位は, 仰臥位で下腿のみ下垂した姿勢 (股関節伸展 0 度, 膝関節屈曲 90 度)¹⁴⁾, 座位で下腿を下垂した姿勢 (股関節屈曲 90 度, 膝関節屈曲 60 度)¹⁵⁾ で検討されている。Bergstrom M ら

表 1 15 Hz, 100 Hz での 10% MVC 強度における他動的筋出力の実測値

	15 Hz 刺激時他動的筋出力 (Nm)			100 Hz 刺激時他動的筋出力 (Nm)		
	測定 1 日目 1 回目	測定 1 日目 2 回目	測定 2 日目	測定 1 日目 1 回目	測定 1 日目 2 回目	測定 2 日目
被験者 1	12.89	12.89	14.25	25.38	26.38	26.67
被験者 2	7.72	9.56	9.08	14.70	17.46	16.70
被験者 3	5.73	6.12	5.54	14.52	15.10	17.01
被験者 4	7.02	7.02	4.97	7.59	7.02	7.64
被験者 5	10.78	10.59	8.34	22.92	22.15	21.62
被験者 6	15.54	18.92	16.01	22.51	25.10	19.77
被験者 7	4.15	3.95	8.21	9.29	9.29	14.86
被験者 8	21.75	24.77	28.60	29.60	32.02	38.06
被験者 9	20.04	20.84	15.22	33.34	36.71	23.73
被験者 10	18.95	21.89	29.08	38.81	40.16	40.84
被験者 11	1.23	1.94	7.41	10.05	10.94	20.82
被験者 12	23.09	23.92	19.28	34.53	37.02	35.03
被験者 13	7.72	7.53	10.47	16.72	18.01	17.46
平均	12.05	13.07	13.57	21.53	22.87	23.09
標準偏差	7.21	8.00	8.01	10.35	11.12	9.70

左表は 15 Hz での他動的筋出力を示し, 右表には 100 Hz での他動的筋出力を示した。

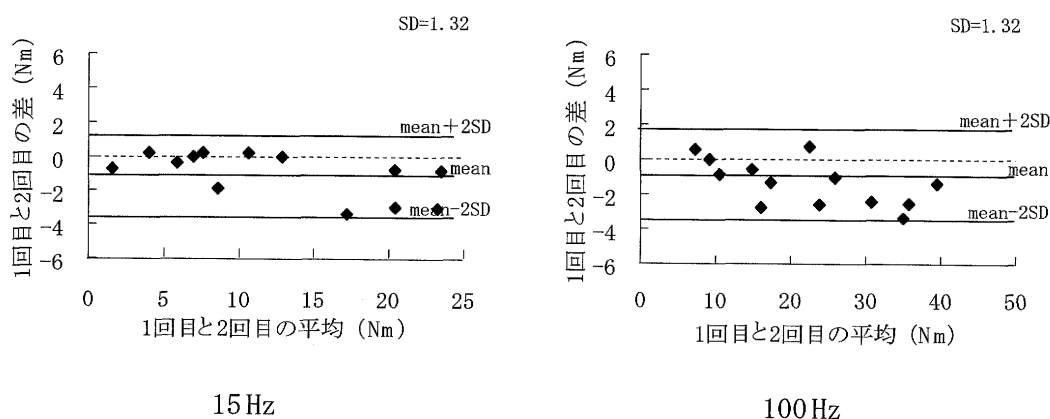


図 4 Bland-Altman plot (日内再現性)

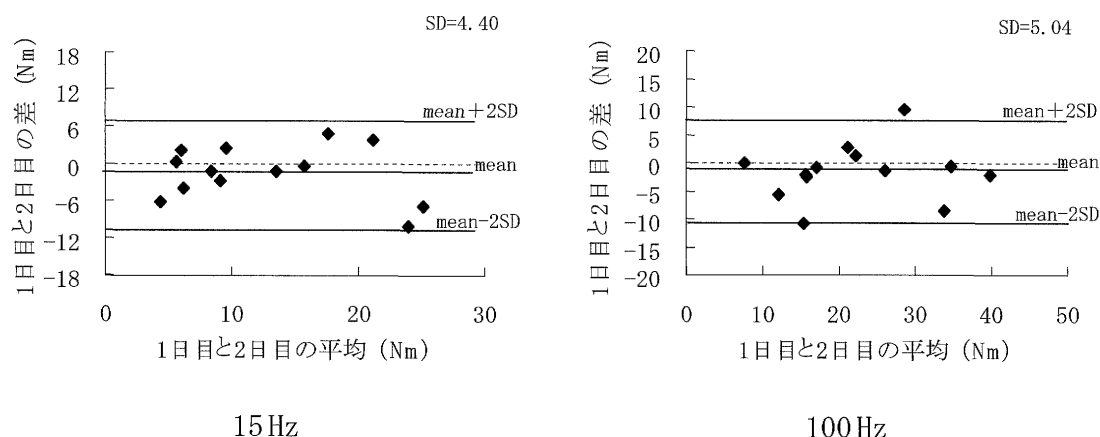


図5 Bland-Altman plot (日間再現性)

は¹⁴⁾、10-50 Hzでの刺激時の日内再現性はCV 5.0%，日間再現性はCV 4.9%であったと報告し、Booth Jらは¹⁵⁾ 日内再現性のみの検討で10 Hz刺激時はCV 11.1%，100 Hz刺激時がCV 3.1%であったと報告している。本研究で示された日内再現性ならびに日間再現性は、これら両者とほぼ同様の結果であった。本研究が採用した測定肢位はBooth Jらが検討した姿勢を45度後方に回転しただけであり、基本的には同じ姿勢である。しかしながら、抗重力位での測定となるため、本研究では測定前にそれぞれの対象者の下腿重量に合わせてゼロ設定を行い、下腿重量の影響を除いた。また、固定性を良好にするため、個々の大腿長に合わせ異なる大きさの膝関節クッションを用いて下肢の回旋を防ぎ、足パッドで足関節の固定を行った。こうして固定性を高め等尺性収縮に近い状態で他動的筋出力を測定可能にしたことが、良好な再現性につながったものと思われた。

大腿四頭筋以外でも他動的筋出力は検討されているが、筋サイズの違いは再現性には影響していない。Mellor Rらは健康人の母指内転筋を対象として、10 Hz、20 Hz、50 Hz、100 HzでのES時の他動的筋出力の日間再現性を検討し、それぞれの周波数での他動的筋出力のCVは15%、11%、10%、8%であったと報告している¹³⁾。本研究では日間再現性が15 HzではCV8%、100HzではCV5%と類似した結果を示しており、筋サイズは再現性には影響しないものと思われた。興味深いのは、我々の結果に限らずMellor RらやBooth Jらにも共通するが、刺激周波数が低くなるほど再現性が低くなる傾向が認められることである。この背景については、高周波領域と比較し、低周波領域は前刺激の影響を受けやすい¹⁶⁾とされている。他にもES刺激の他動的筋出力には、温度や筋長¹⁶⁾が影響することが報告されている。本研究ではこれらの交絡因子を統制するため、室温を24℃に統制し、筋長はBooth J¹⁵⁾らと同様筋長を伸ばした状態とした。しかしながら、これまで他動的筋出力測定に際する条件設定に関しては十

分検討されておらず、より詳細な検討が必要かもしれない。

刺激様式については、本研究では先行研究とは異なるものを用いた。Bergstrom Mらはパルス持続時間0.5 msの矩形波、25% MVCの強度という様式を用い、Booth Jらはパルス持続時間100 μ sの矩形波を、対象者が耐えうる最大限の強度で行っている。Mellor Rらは、パルス持続時間50 μ sの矩形波を最大上刺激にて行っている。また、3つの報告は単一刺激に対する他動的筋出力を測定している。本研究では刺激強度が10% MVCと先行研究より低く、またES列を作成して3列打ち込んだ際の後ろ2列の他動的筋出力の平均値を算出した。これらの相違があるにも関わらず、先行研究と本研究の再現性は類似しており、刺激強度あるいは他動的筋出力の測定タイミングは再現性に与える影響は小さいものと思われた。

他動的筋出力の再現性に対する性差の影響は十分検討されていない。本研究では女子大学生を対象としたが、Booth Jらは¹⁵⁾ 男性を被験者とし、Bergstrom Mらは¹⁴⁾ 男女を対象としている。ラットの長指伸筋を対象とした報告では、エストロゲンの有無はES時の他動的筋出力に影響しない結果となっており、性差はES時の筋の反応性に影響しないことが示唆されている¹⁷⁾。本研究結果も、健康男性を対象としたBooth Jらの結果¹⁵⁾と類似していることからすると、性別が再現性に与える影響は少ないものと思われる。

一方、日内再現性は刺激周波数により特徴が認められた。100 Hz刺激時他動的筋出力の日内再現性をみたBland-Altmanグラフは、13プロット中10プロットで測定差がマイナスの値となり、1回目より2回目の他動的筋出力が大きくなる傾向が示された。これに対して、15 Hz刺激時他動的筋出力の日内再現性や15 Hz、100 Hz刺激時他動的筋出力の日間再現性では同様の傾向は認められず、ES前後で他動的筋出力測定を行う際には、100 Hz刺激時他動的筋出力は刺激強度決定のた

めの刺激や、15 Hz の刺激など前の刺激の影響を受ける可能性があることに留意すべきと思われた。しかしながら、他動的筋出力の反応性は低い周波数ほど前の刺激の影響を受けやすいという本研究結果とは異なる報告もあり¹⁶⁾、現在のところ、その真意は明らかでない。LFF は ES 刺激前後の筋収縮反応性で評価するためには、前刺激の他動的筋出力に対する影響を詳細に検討すべきものと思われた。

本研究の限界は2点ある。1点目は筋温を統制できなかった点である。筋温は他動的筋出力に影響を及ぼすため¹⁶⁾、Mellor R らは母指内転筋の他動的筋出力測定に際して、温熱刺激を加えて筋温をほぼ一定にしているが、本研究ではこのような統制は行っておらず、対象者の筋温が日によって異なっていた可能性は否定できない。2点目は、末梢筋に対する電気刺激により生じる中枢性の疲労の存在¹⁸⁾である。中枢性の疲労は上行性に刺激が伝わり脊髄より上位に疲労が生じるものであるが、本研究では中枢性の疲労を反映する指標を測定していなかった。したがって、本研究で用いた他動的筋出力は中枢性の疲労の影響を受けた可能性が否定できず、今後検討すべき課題となった。

本研究の結果は LFF の評価指標に用いられる 15 Hz、100 Hz の他動的筋出力は再現性に優れていることを示している。これまで ES 療法は皮下脂肪層の電気抵抗の高さとより多くの電流を筋に通電することより、通電時の痛みに耐えられるだけの電流を流していた。したがって、対象筋には LFF が生じていたものと考えられるが、これを詳細に検討した報告はこれまではなかった。本研究結果は ES に特有の現象である LFF の評価方法として、他動的筋出力値が臨床に応用可能であることを示すものであり、今後の ES の開発に有用な評価指標を提供するものと思われた。

ま と め

ES 療法時の LFF を評価する筋力計ならびに ES 装置を試作し、15 Hz、100 Hz の2種類の周波数における他動的筋出力を検討した。その結果、15 Hz、100 Hz の他動的筋出力の再現性は、日内、日間ともに良好であり、LFF の評価指標として臨床応用が可能であると思われた。

文 献

- 1) Lunde PK, Sjaastad I, *et al.*: Skeletal muscle disorders in heart failure. *Acta Physiol Scand.* 2001; 171: 277-294.
- 2) Stremel RW, Convertino VA, *et al.*: Cardiorespiratory deconditioning with static and dynamic leg exercise during bed rest. *J Appl Physiol.* 1976; 41: 905-909.
- 3) Germain P, Guell A, *et al.*: Muscle strength during bedrest with and without muscle exercise as a countermeasure. *Eur J Appl Physiol.* 1995; 71: 342-348.
- 4) 齊藤正和, 長山雅俊, 他: 入院期心疾患患者に対する低周波 ES の安全性についての検討. *心臓リハビリテーション.* 2005; 10: 23-26.
- 5) 神谷昌孝, 山田純生, 他: 心臓手術後の下肢筋力低下に対する ES 療法の効果. *心臓リハビリテーション.* 2005; 10: 113-116.
- 6) Quittan M, Wiesinger GF, *et al.*: Improvement of thigh muscles by neuromuscular electrical stimulation in patients with refractory heart failure. *Am J Phys Med Rehabil.* 2001; 80: 206-214.
- 7) Zanotti E, Felicetti G, *et al.*: Peripheral muscle strength training in bed-bound patients with COPD receiving mechanical ventilation: effect of electrical stimulation. *Chest.* 2003; 124: 292-296.
- 8) Keeton RB, Binder-Macleod SA: Low-frequency fatigue. *Phys Ther.* 2006; 86: 1146-1150.
- 9) Edwards RH, Hill DK, *et al.*: Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise. *J Physiol.* 1997; 272: 769-778.
- 10) Martin V, Millet GY, *et al.*: Assessment of low-frequency fatigue with two methods of electrical stimulation. *J Appl Physiol.* 2004; 97: 1923-1929.
- 11) McNeil CJ, Allman BL, *et al.*: Torque loss induced by repetitive maximal eccentric contractions is marginally influenced by work-to-rest ratio. *Eur J Appl Physiol.* 2004; 91: 579-585.
- 12) Binder-Macleod SA, Russ DW: Effects of activation frequency and force on low-frequency fatigue in human skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 1999; 86: 1337-1346.
- 13) Mellor R, Stokes MJ: Detection and severity of low frequency fatigue in the human adductor pollicis muscle. *J Neurol Sci.* 1992; 108: 196-201.
- 14) Bergstrom M, Hultman E: Contraction characteristics of the human quadriceps muscle during percutaneous electrical stimulation. *Pflugers Arch.* 1990; 417: 136-141.
- 15) Booth J, McKenna MJ, *et al.*: Impaired calcium pump function does not slow relaxation in human skeletal muscle after prolonged exercise. *J Appl Physiol.* 1997; 83: 511-521.
- 16) Blinks JR, Riidel R, *et al.*: Calcium transients in isolated amphibian skeletal muscle fibers: detection with aequorin. *J Physiol.* 1978; 277: 291-323.
- 17) Tiidus PM, Bestic NM, *et al.*: Estrogen and gender do not affect fatigue resistance of extensor digitorum longus muscle in rats. *Physiol Res.* 1999; 48: 209-213.
- 18) Boerio D, Jubeau M, *et al.*: Central and peripheral fatigue after electrostimulation induced resistance exercise. *Mes Sci Sports Exerc.* 2005; 37: 973-978.

〈Abstract〉

Reliability of Muscle Torque Response to Electrical Stimulation which Applied to Evaluate Low Frequency Fatigue

Sato NITOBÉ, PT, Yuko TANAKA, PT, Yuko SHIMIZU, PT, MSc, Yuji KONO, PT, MSc
Program in Physical and Occupational Therapy, Nagoya University Graduate School of Medicine

Sumio YAMADA, PT, PhD
Department of Physical Therapy, Nagoya University Graduate School of Medicine

Daisuke SAKUI, PT, MSc
Rehabilitation Center, The Tazuke Kofukai Medical Research Institute Kitano Hospital

Masahiro NARUSAWA
Minato Medical Science

Purpose: This study aimed to investigate the test-retest reliability of muscle torque response to electrical stimulation (ES) which applied to evaluate low frequency fatigue (LFF).

Subjects and Methods: Thirteen healthy female university students were recruited in this study. LFF is typically measured by recording the torque responses to different frequencies of ES. We used 15 Hz and 100 Hz ES. The reliability of the torque responses to ES at 15 Hz and 100 Hz on same-day were assessed by two ES sessions conducted five minutes apart. The reliability of the torque responses to ES at 15 Hz and 100 Hz between-day were also assessed by two ES session conducted within 2-3 days between the sessions.

Results: The ICC_{1,1} was 0.977 for same-day comparisons and 0.833 for between-day comparisons at 15 Hz ES. The ICC_{1,1} was 0.985 for same-day comparisons and 0.874 for between-day comparisons at 100 Hz ES. A Bland-Altman 95% limit of agreement test showed no systematic variation in 3 of the 4 test observations; systematic variation was only observed in the 100 Hz ES on same-day.

Conclusion: The findings of this study suggest that the evaluation index of LFF could be considered as a reliable measure, and confirmed usefulness of torque responses to ES for evaluation index of LFF.