

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—

*The Inhibitory Effect of Vibration Stimulus on Muscle Tone of the Triceps Surae:
Analysis of the H/M Ratio*

中林 紘二¹⁾ 児玉 隆之²⁾ 水野健太郎²⁾ 池田 拓郎²⁾
甲斐 尚仁³⁾ 福良 剛志⁴⁾ 甲斐 悟⁵⁾

KOJI NAKABAYASHI¹⁾, TAKAYUKI KODAMA²⁾, KENTARO MIZUNO²⁾, TAKURO IKEDA²⁾,
NAOHITO KAI³⁾, TSUYOSHI FUKURA⁴⁾, SATORU KAI⁵⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Takeo Nursing and Rehabilitation School: 12623 Tomioka, Takeocho, Takeo-city, Saga
843-0024, Japan. TEL+81 954-23-6700 E-mail: k.nakabayashi@takeo-nurse-reha.jp

²⁾ Department of Physical Therapy, Fukuoka Wajiro Rehabilitation College

³⁾ Department of Rehabilitation, Fukuokawajiro Hospital

⁴⁾ Department of Clinical Laboratory, Fukuokawajiro Hospital

⁵⁾ Research Institute of Health and Welfare sciences, Graduate School, International University of Health and Welfare

Rigakuryoho Kagaku 26(3): 393-396, 2011. Submitted Dec. 21, 2010. Accepted Feb. 3, 2011.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to clarify the time-dependent effect of vibration on the muscle tone of the the triceps surae. [Subjects] We examined the legs of 18 healthy males (mean age: 22.1±4.4 years) with no history of neurological disorders. [Method] Using a vibration stimulus device, we applied a 76.6 Hz vibration stimulus with an amplitude of 2 mm for 10 min to the left leg above the Achilles tendon. Using an evoked electromyograph, we measure the amplitudes of the H and M waves during the vibration stimulus. From the measurements, we calculated the H/M ratio and assessed the muscle tonus of the triceps surae. [Results] The H/M ratio began falling 1 min after the start of the vibration stimulus and continued falling until 3 min after the start of the vibration stimulus. [Conclusion] We clarified that the muscle tone of the triceps surae was inhibited by the vibration stimulus from immediately after the start of the intervention, and that the effect was greatest at 3 min after the start of the intervention.

Key words: vibration, muscle tonus, H/M ratio

要旨:〔目的〕振動刺激が下腿三頭筋の筋緊張に及ぼす経時的な影響を明らかにすること。〔対象〕下肢に神経障害の既往がない健康男性18名(平均年齢22.1±4.4歳)。〔方法〕周波数76.6Hz、振幅2mmの振動刺激装置を用いて左アキレス腱上に10分間の振動刺激を行った。誘発筋電図装置を用いて振動刺激中のH波およびM波の最大振幅を測定した。そこからH/M比を算出し、下腿三頭筋の筋緊張の状態を評価した。〔結果〕H/M比は、振動刺激開始1分後から低下し、振動刺激開始後3分まで低下し続けた。〔結語〕振動刺激によって介入直後から下腿三頭筋の筋緊張が抑制され、3分後にはその効果が最大となることが明らかとなった。

キーワード: 振動刺激, 筋緊張, H/M比

¹⁾ 武雄看護リハビリテーション学校 理学療法学科: 佐賀県武雄市武雄町大字富岡12623 (〒843-0024) TEL 0954-23-6700

²⁾ 福岡和白リハビリテーション学院 理学療法学科

³⁾ 福岡和白病院 リハビリテーション科

⁴⁾ 福岡和白病院 検査科

⁵⁾ 国際医療福祉大学大学院 保健医療学専攻

I. はじめに

関節可動域制限は、臨床症例における最も重要な問題点の一つと考えられており¹⁾、その原因の一つとして筋緊張の亢進が知られている。近年、筋緊張の抑制を目的とした様々な理学療法技術が考案されているが、徒手的な治療介入では技術の習熟度によって効果に差が生じることを臨床上よく経験する。一方、振動刺激は簡便に筋緊張の抑制効果が得られることから、その有効性が報告されている^{2,3)}。

骨格筋に加えられた振動刺激は、脊髄内の介在神経を活性化し、シナプス前抑制を介して脊髄運動細胞の興奮性を抑制する⁴⁻⁸⁾。また、持続的に最大収縮させた筋に振動刺激を加えると、筋出力と脊髄運動細胞の興奮性が一過性に抑制される^{9,10)}。脊髄運動細胞の興奮性は筋緊張の状態を表す指標であるため^{11,12)}、振動刺激には筋緊張を抑制する作用があると考えられる。一方、振動刺激によって当該筋の筋紡錘が興奮し、刺激された筋は持続的に収縮を行うことが報告されている^{4,5,13,14)}。このような振動刺激に対する骨格筋の反応の違いには、振動刺激の周波数や振幅⁶⁾、刺激時間^{9,10,15-17)}などの刺激条件が影響していると考えられている。したがって、振動刺激を用いて筋緊張の抑制を行う場合には、刺激条件の詳細な設定が重要となる。しかし、周波数や振幅は様々な条件で効果が検討されている^{6,9,10,15-17)}ものの、刺激時間については単位時間当たりの検討が多く、経時的な変化を示した報告は我々の知る限りでは見当たらない。

そこで本研究では、脊髄運動細胞の興奮性を指標として、振動刺激が筋緊張に及ぼす経時的な影響を明らかにすることを目的とした。また、得られた結果から臨床における振動刺激の有効性についての検討も行った。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、下肢に神経障害の既往がない健常男性18名(平均年齢 22.1 ± 4.4 歳、身長 171.3 ± 7.0 cm、体重 64.4 ± 7.9 kg)とした。測定は左下肢18肢に行い、被検筋は下腿三頭筋とした。全ての対象者には事前に本研究内容やリスク、参加の自由などの倫理的配慮について口頭および文書にて説明した。その上で研究への協力を求め、同意書に署名および捺印を得た。

2. 方法

全ての対象者に対して振動刺激を行う条件(以下、振動刺激条件)と安静臥床を行う条件(以下、安静条件)を実施した。なお、各条件が結果に及ぼす影響を考慮して振動刺激条件と安静条件の測定は、1日以上の間隔をあけて実施した。振動刺激条件では、ベッド上腹臥位でベッ

ドと足部の間にタオルを入れ、膝関節軽度屈曲位、足関節中間位となるようにポジショニングを行い、その状態で左アキレス腱部に振動刺激を実施した。振動刺激は市販されているHandy vibe(大東電気工業製)を用いた。本機の周波数は76.6Hzと100Hzの可変式であるが、筋緊張の抑制には低周波が効果的であるという報告⁶⁾に基づき76.6Hzを用いた。なお、本機の振幅は2 mmであった。振動刺激の経時的な効果を観察するために10分間の治療を実施した。また、安静条件ではベッド上腹臥位で振動刺激条件と同様の姿勢になるようポジショニングを行い、10分間の安静臥床を実施した。

ヒラメ筋H波およびM波の導出には誘発筋電図装置(VikingSelect, Nicolet社製)を用いて記録を行った。測定肢位は各条件実施時と同一の腹臥位とし、姿勢の変化がないように配慮した。刺激電極は左膝窩部に設置し、脛骨神経に対して経皮的な電気刺激を行った。刺激頻度は1Hz、刺激持続時間は1msecの矩形波とした。導出電極には表面電極を用い、関電極は脛骨結節と足関節内果の中間の高さで、脛骨のすぐ内側のヒラメ筋上に貼付した。不関電極はアキレス腱の内側に貼付した。なお、アースを刺激電極と関電極の中間点に貼付した。

H波およびM波の測定は、各条件ともに、ベッド上腹臥位での5分間安静の後に1回、各条件の開始後1分毎に10回、計11回の測定を行った。H波は室内温度によって変動がみられるため¹⁸⁾、室内温度を24℃前後に維持した。

測定終了時に振動刺激時に伴う不快感について、11段階のスケール(0:全く不快感がない、10:耐え難い不快感)を用いて評価を行い、不快感がある場合にはその感覚を聴取し記録を行った。また、不快感があった者に対しては、振動刺激終了15分後の不快感についても評価を行った。

本研究における統計処理には、統計処理ソフトウェアStatView-J5.0を使用した。まず、Bartlett検定を行った。その後、H/M比を従属変数として、各条件(振動刺激条件、安静条件)と時間経過を2因子とした二元配置分散分析を行った。有意差を認めた場合、各条件内(振動刺激条件、安静条件)における時間経過の検討には一元配置分散分析を行い、post hoc test (Bonferroni法)を行った。各条件間(振動刺激条件、安静条件)の検討にはpaired t-testを行った。なお、全ての統計手法は危険率5%未満をもって有意差の判定を行った。

III. 結果

振動刺激条件および安静条件におけるH/M比の時間経過を表1に示した。振動刺激条件におけるH/M比は、振動刺激開始1分後から有意な低下が認められた($p < 0.01$)。また、H/M比の有意な低下は振動刺激開始

表1 振動刺激条件および安静条件におけるH/M比の時間経過

	刺激開始前	1分後	2分後	3分後	4分後	5分後	6分後	7分後	8分後	9分後	10分後
振動刺激条件	0.412	0.264*1*2	0.238*1*3	0.208*1*4	0.193*1	0.190*1	0.190*1	0.184*1	0.184*1	0.178*1	0.170*1
安静条件	0.375	0.381	0.395	0.403	0.405	0.397	0.401	0.403	0.404	0.396	0.397

1: 振動刺激条件 vs 安静条件, *2: 振動刺激開始前 vs 振動刺激開始 1分後, *3: 振動刺激開始 1分後 vs 振動刺激開始 2分後, *4: 振動刺激開始 2分後 vs 振動刺激開始 3分後

*1: $p < 0.01$, *2,3,4: $p < 0.05$

後3分まで継続し ($p < 0.05$), 3分後以降は有意な変化は認められなかった. 振動刺激条件では安静条件と比較して, 振動刺激開始1分後から10分後までH/M比が有意に低値であった ($p < 0.01$). 安静条件におけるH/M比は有意な変化は認められなかった.

振動刺激条件における不快感を訴えた者は18名中9名であり, 全体の50%であった. また, その強さは 1.0 ± 1.3 であった. 不快感の訴えとしては“足が重たく感じる”, “痒い”, “痺れたような感じがする”が報告された. なお, 刺激終了後15分の時点で不快感を訴えたものはいなかった.

IV. 考 察

本研究では, 脊髓運動細胞の興奮性を指標に用いて, 振動刺激が筋緊張に及ぼす経時的な影響を明らかにするために検証を行った. 脊髓運動細胞の興奮性を示す指標として, 誘発筋電図を用いたH波¹²⁾があげられる. そして, この脊髓運動細胞の興奮性は筋緊張の状態を示すことが知られており, 筋緊張が亢進している症例ではH波の最大振幅は高値を示すことが報告されている^{11,12,20)}. しかし, 近年の筋電図研究によって, H波の最大振幅が健常人でも変動することが明らかとなった. そのためH波の最大振幅よりもH/M比を用いて脊髓運動細胞の興奮性を評価することが推奨されている¹⁹⁾. さらに, 本研究のように各条件の測定日を改めた場合には, 皮膚-電極間のインピーダンスなど対象者の状態が変化することを考慮しなければならず, このことからM波の最大振幅でH波の最大振幅の規格化を行う必要があると考えられる. そのため, 本研究においては脊髓運動細胞の興奮性を示す指標として, H/M比を用いて検証を行った.

振動刺激条件においては, H/M比の低下が振動刺激開始1分後から認められた. また, H/M比の低下は振動刺激開始後3分まで継続し, 3分後以降は統計学上有意な変化は認められなかった. また, 振動刺激条件では刺激開始1分後から10分後までは振動刺激開始前と比較してH/M比が低値を示した. このことから, アキレス腱上加えた振動刺激によって, 脊髓運動細胞の興奮性と筋緊張が抑制されたことが示唆された.

振動刺激の効果は刺激条件によって異なり^{6,9,10,15-17)}, 振動刺激の周波数が小さい, または振幅が大きい場合, 脊髓運動細胞の興奮性は, いっそう抑制される⁶⁾. 刺激時間は, 単位時間当たりで検討されていることが多く, 1-30分といった長時間の振動刺激は脊髓運動細胞の興奮性を抑制することが知られている¹⁵⁾. しかし, 振動刺激の効果が発現するまでに必要な時間や, 最大効果を得るまでに必要な時間についての経時的な変化に関する詳細は, 我々の知る限り報告されていない.

本研究の結果では, 振動刺激開始1分後から脊髓運動細胞の興奮性と筋緊張が抑制された. さらに, 振動刺激は刺激時間に比例して効果が増していくのではなく, 刺激開始3分後に最大効果を得て, その後は効果が維持された. このことから, 骨格筋の緊張を抑制することを目的として振動刺激を行う場合には, 3分間の治療時間が一つの目安となり得ることが示唆された. 以上より, 振動刺激は他の物理療法機器と比較しても短時間の治療で効果を認めることが示唆された. よって, 限られた時間の中で治療効果を出さなければならない臨床場面においては, 振動刺激が有効な治療手段となり得ると考えられる.

一方, 先行研究においては, 振動刺激によって当該筋の筋紡錘が興奮し, その結果として刺激された筋が収縮を行い, 拮抗筋が弛緩するという緊張性振動反射も報告されている^{4,5,13,14)}. 本研究においては, 振動刺激条件では骨格筋の緊張は抑制されており, 緊張性振動反射は生じなかったと考えられる. このような反応の違いには, 振動刺激の刺激条件が影響していることが考えられているが, 本研究で用いた周波数76.6Hz, 振幅2 mm, 刺激時間は1分から10分までという刺激条件では, 脊髓運動細胞の興奮性や筋緊張の抑制効果を得ることが明らかとなった.

さらに, 振動刺激を臨床で利用する場合には, 刺激中の不快感などを十分に考慮しなければならない. 本研究において刺激中の不快感を訴えた者は18名中9名であり, 対象者の50%に不快感の訴えがあった. しかし, その強さは11段階のうち1.0程度であること, また, その不快感は“足が重たく感じる”, “痒い”, “痺れたような感じがする”という振動刺激に対する反応であったこと. さらに, 振動刺激終了15分後まで不快感が持続したもの

はいなかったことを考慮すると振動刺激は安全に行える介入方法であると判断できる。

今後は振動刺激の効果の持続時間や、対象部位による効果の違いなどを検討する必要があると思われた。さらに、他の物理療法機器との比較も行い、振動刺激の効果特性や有効性をより詳細に検討していく必要があると思われた。

引用文献

- 1) 沖田 実：関節可動域制限—病態の理解と治療の考え方。三輪書店，東京，2008，pp2-17.
- 2) 中野治郎，沖田 実，坂本淳哉：振動刺激を利用した関節可動域制限の治療法。理学療法探求，2004，7：24-28.
- 3) 高橋憲一：痙縮に対する物理療法実践プログラム。理学療法，2001，18(10)：980-984.
- 4) Gail PD, Lance JW, Neilson PD: Differential effects on tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1966, 29(1): 1-11.
- 5) Burke D, Hagbarth KE, Lofstedt L, et al.: The responses of human muscle spindle endings to vibration of non-contracting muscles. *J Physiol*. 1976, 261(3): 673-693.
- 6) Desmedt JE, Godaux E: Mechanism of the vibration paradox: excitatory and inhibitory effects of tendon vibration on single soleus muscle motor units in man. *J Physiol*. 1978, 285: 197-207.
- 7) Matthews PBC: The reflex excitation of the soleus muscle of the decerebrate cat caused by vibration applied to its tendon. *J Physiol*. 1966, 184(2): 450-472.
- 8) Gillies JD, Lance JW, Neilson PD, et al.: Presynaptic inhibition of the monosynaptic reflex by vibration. *J Physiol*. 1969, 205(2): 329-339.
- 9) Bongiovanni LG, Hagbarth KE: Tonic vibration reflexes elicited during fatigue from maximal voluntary contractions in man. *J Physiol*. 1990, 423: 1-14.
- 10) Bongiovanni LG, Hagbarth KE, Stjernberg L: Prolonged muscle vibration reducing motor output in maximal voluntary contractions in man. *J Physiol*. 1990, 423: 15-26.
- 11) 東登志夫，船瀬広三：痙縮の病態生理学的メカニズムとその客観的評価。理学療法探求，2001，4：1-7.
- 12) 柳沢 健，新井光男：反射運動の筋電図学的評価-H波・M波。理学療法，2004，21(10)：1287-1292.
- 13) Lance JW, Gail PD, Neilson PD: Tonic and phasic spinal cord mechanisms in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1966, 29(6): 535-544.
- 14) Eklund G, Hagbarth KE: Normal variability of tonic vibration reflexes in man. *Exp Neurol*. 1966, 16(1): 80-92.
- 15) Mottram CJ, Maluf KS, Stephenson JL, et al.: Prolonged vibration of the biceps brachii tendon reduces time to failure when maintaining arm position with a submaximal load. *J Neurophysiol*. 2006, 95(2): 1185-1193.
- 16) Ciscar ER, Butler JE, Thomas CK: Facilitation of triceps brachii muscle contraction by tendon vibration after chronic cervical spinal cord injury. *J Appl Physiol*. 2002, 94(6): 2358-2367.
- 17) M. Kouzaki, M. Shinohara, T. Fukunaga: Decrease in maximal voluntary contraction by tonic vibration applied to a single synergist muscle in humans. *J Appl Physiol*. 2000, 89(4): 1420-1424.
- 18) 千野直一：臨床筋電図・電気診断学入門。医学書院，東京，2005，pp24-28.
- 19) 鈴木俊明，才藤栄一：誘発筋電図検査（F波，H波）の検査方法に関するガイドライン—国際臨床神経生理学会の報告から—。理学療法科学，2000，15(4)：187-192.
- 20) 田中励作：H反射—ヒトにおける神経生理学研究の一技法。日本生理誌，1986，48：713-734.