



膝関節に対する超音波照射による大腿四頭筋筋力への影響

篠原, 英記 ; 中田, 雅子 ; 沖山, 努 ; 武政, 誠一 ; 吉田, 正樹 ; 嶋田, 智明 ; 武富, 由雄

(Citation)

神戸大学医療技術短期大学部紀要, 3:25-32

(Issue Date)

1987

(Resource Type)

departmental bulletin paper

(Version)

Version of Record

(JaLCOI)

<https://doi.org/10.24546/80070043>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/80070043>



膝関節に対する超音波照射による大腿四頭筋筋力への影響

篠原英記, 中田雅子, 沖山 努,
武政誠一, 吉田正樹, 嶋田智明,
武富由雄

はじめに

膝関節外傷の後療法として膝伸展筋力増強の目的で運動療法を行う際、膝関節伸展の最終域で遊びの運動、つまり extensor lag の現象がしばしば見られる。この現象は、最近まで、膝伸筋である大腿四頭筋、なかでも大腿内側広筋の筋力が不十分な場合にみられる、と解釈されていた。これに対して、Palmer,¹⁾ Hallen,²⁾ Krebs³⁾らは、この臨床症状を関節にある感覚受容器からの反射性抑制によるものと推論している。

この感覚受容器の重要性は、Gardner,⁴⁾ Beswick,⁵⁾ Freeman^{6,7)}らによる関節からの求心性神経線維に電気刺激を行うことによる研究や、Andrew,⁸⁾ Ekholm⁹⁾らの靭帯や関節包を直接刺激して行われた研究、Andrade,¹⁰⁾ Kennedy,¹¹⁾ Spencer,¹²⁾ 井上¹³⁾らによる人為的に造った関節水腫が関節周囲筋にどのような影響があるのかを調べた研究などから、次第に注目されるようになってきた。

関節包や靭帯などの関節周囲組織に局在する深部感覚受容器が関節周囲筋の筋作用に対していかなる影響があるのかを解明することは、extensor lag の現象の成因を究明する一助になると同時に、膝関節障害に対する治療計画の立案に役立てることができよう。

今回、我々は、膝伸筋の筋力低下と考える extensor lag の成因を調べる目的で、正常な膝関節に超音波エネルギーを負荷して関節周囲

の深部受容器に刺激を与え、それによって大腿四頭筋の筋力がどのように変化するかを調べ、その結果に検討を加えたので報告する。

対象と方法

対象となる被験者は無作意に選んだ健常者男性12名（平均年齢22歳）である。図1のように、被験者はLIC社製クワドリセップテーブル952-3の上で端座位をとる。測定中、股関節の代償運動を防ぐため大腿の近位部をバンドで固定した。被験者の両手でテーブルのハブをしっかり把持させた。実験では、大腿四頭筋の最大筋力を膝関節90度屈曲位で測定するため、レバーアームは床面に対して直角位で伸展を制限するように工夫した。レバーアームのハブから30cmの位置にロープを固定し、そのロープにプレストン社製テンシオメーターPC-5029を取り付け、床面に平行に引張力が加わるように配置した。

大腿四頭筋の最大筋力の測定は、以下の3つの方法で行った。初めに、1) 超音波エネルギーを負荷しない状態でいき、次に、2) ①超音波を照射し温かいと感じたとき、②熱いと感じたとき、③だるい痛みを感じたとき、④耐えられないほどの痛みを感じたとき測定し、最後に、3) 超音波を照射しない平常状態で測定した。それぞれの測定の間には60秒の休息期間を設けた。

本研究で用いた超音波刺激装置は理学療法で

治療に用いられている Birtcher 社製 Model 118を使用した。超音波の出力は、温かい・熱い・だる痛いという感覚を作り出すには 0.6 Watt/cm^2 とし、耐えられないほどの痛みを作り出すときは 1 Watt/cm^2 に設定された。超音波の照射部位は、そのエネルギーが膝蓋上囊付近に加えられるように導子を膝蓋骨上縁から3 cm離して皮膚に密着させて行う固定法を採用した。

統計処理にはt-検定を用いた。

結 果

今回の実験で、超音波を膝部に照射した場合、すべての被験者がだるい痛みを感じたが、温かいと感じた被験者は9例・14肢であった。また、熱いと感じた被験者は3例・4肢にすぎないため、データ処理から除いた。

表1は、超音波照射前・照射中に温かいと感じたとき・だるい痛みを感じたとき・耐えられないほど痛いとき・照射後のそれぞれの状態における大腿四頭筋の最大筋力を集計し、統計処理した結果を示している。温かいと感じる程度の超音波エネルギーの照射では、その最大筋力は最初に測定した平常状態の最大筋力との比較で



図1.

有意差がなかった。だるい痛みを訴えるときの同筋の最大筋力は、最初に測定した平常状態の値と比較すると、危険率1%以下で有意差がみられた。

耐えられないほどの痛みを訴えるときの最大筋力は、最初の平常状態における測定値と比較すると、その約半分の筋力に低下した。図2は、この比較をより個別に観察できるようにしたものである。多くの肢では、超音波エネルギー

表1. 各種状態における大腿四頭筋の最大筋力（結果と統計）

	データ数	最大-最小値 (平均値) kg	標準偏差	危険率
照射前平常状態	24	84-38 (60.5)	11.32	
温かい	14	68-37.5 (55.39)	9.23	$P>0.05$
だるい痛み	24	80-26.5 (53.65)	13.30	$P<0.01$
耐えられない痛み	24	63- 0 (30.71)	18.41	$P<0.001$
照射後平常状態	24	83-36.5 (59.33)	9.92	$P>0.05$

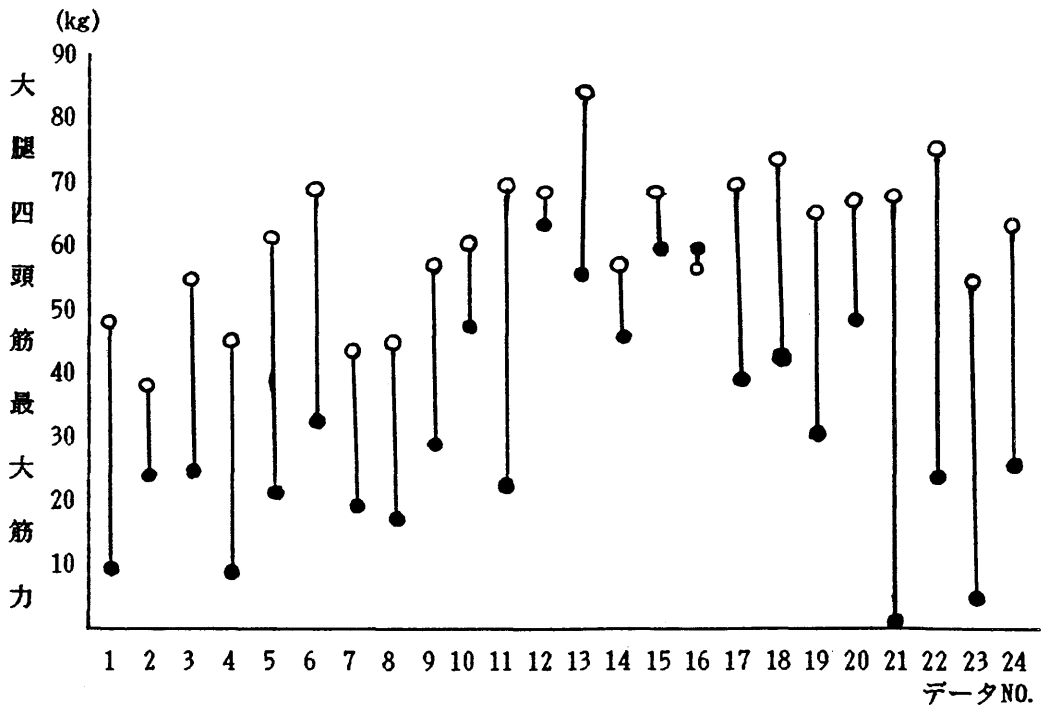


図2. 超音波照射により耐えられないほどの痛みを呈する際の大腿四頭筋の最大筋力
(平常状態における最大筋力との比較)

○……平常状態の最大の大腿四頭筋筋力

●……耐えられない痛みのときの大腿四頭筋筋力

により耐えられないほどの痛みが加えられたとき、大腿四頭筋の筋力は著しい低下を示していた。ときには、まったく力を出し得ないこともあった。

中には、超音波照射によりほとんど筋力の低下を示さなかったものも3肢あるが、このうちの2肢については、大腿四頭筋の筋力を測定するとき、導子の位置にずれが生じ、そのために容易に力を入れることができたとの被験者からの情報を得た。

また、筋収縮を繰り返すことによる筋の疲労が本研究結果に影響を与えているかどうかを検討するために初回測定値と最終測定値とを比較した。その結果、最終時の最大筋力は、初回測定値とのあいだに有意差はみられないことから、測定期間中に大腿四頭筋の筋力低下が生じたと

は考えにくい。

考 察

今回、深部感覚受容器を刺激する一手段として、超音波エネルギーの深達性のあることを利用し、本研究を行ってきた。本研究を理解するために、はたして超音波が深部受容器に影響を及ぼしているかどうか検討する必要がある。Herrick¹⁴⁾は、照射中の痛みが骨膜に生じる温熱のせいであるとし、また、Lehman^{15, 16)}は、超音波を照射したときの選択的溫度上昇は、滑膜や関節包そして骨膜などの骨の周辺にみられ、だるい痛みとして感じられるとしている。今回の被験者も同様に、だるい・重い痛みを訴え、本研究において我々が刺激しようとする関節包

などの関節周囲組織に振動エネルギーかあるいは熱エネルギーが作用していると考えられる。

その関節周囲組織には多数の感覚受容器が存在している(図3)。Freeman¹⁷⁾は各種受容体をタイプIからIVに分類している。それによれば、タイプIはルフィニ様受容体を主とした終末であり、関節包の表面に局在する。Skoglund¹⁸⁾はルフィニ様の受容体が引張力に対してゆっくり反応するを見だし、登米¹⁹⁾によれば、この受容器は関節に関わる姿勢の保持に重要であるとしている。タイプII終末はパチニ様受容体を主とした終末で、関節包の滑膜付近にあり、刺激に対して急速に反応する。この終末は、O'conner²⁰⁾によれば、骨格筋反射を調節し、関節運動に重要な役割を果たす。タイプIIIはゴルジ様で、主に靭帯に局在する。また、タイプIVは自由神経終末であり、関節包や靭帯の線維組織に局在し痛覚を受容する。Rowinski²¹⁾によれば、この自由神経終末は他の受容器に比べて最も閾値が高いという。

これらの多数の受容器の役割のなかで注目すべきことは、これらの受容器がただ単に関節の角度を感じ、それによって筋の協調性の維持や身体イメージの形成にあずかるのみでなく、姿勢反射にも重要な役割を果たすことである。Gardner⁴⁾は早くからこのことに注目し、また、Freeman⁶⁾は関節神経 (articular nerve) の切除により動物の姿勢や歩行に変化がみられたとしている。Rowinski²¹⁾もまた、歩行反射を形成する因子としての関節受容器の重要性を述べている。

関節の深部感覚受容器への刺激が生理的範囲内であれば、それによる反射は正常な筋緊張の調節にあずかっている。このことは、Dehne²²⁾、Andrade¹⁰⁾、Kelso²³⁾が述べるように、深部受容器からのインパルスが inter neural pool を同調することで中枢からの筋に対する命令を適正に補正しているものと考えられる。非生理的刺激状態においては、井上¹³⁾はこれらの受容器が鋭敏に反応するとし、Kennedy¹¹⁾、Rowinski²¹⁾

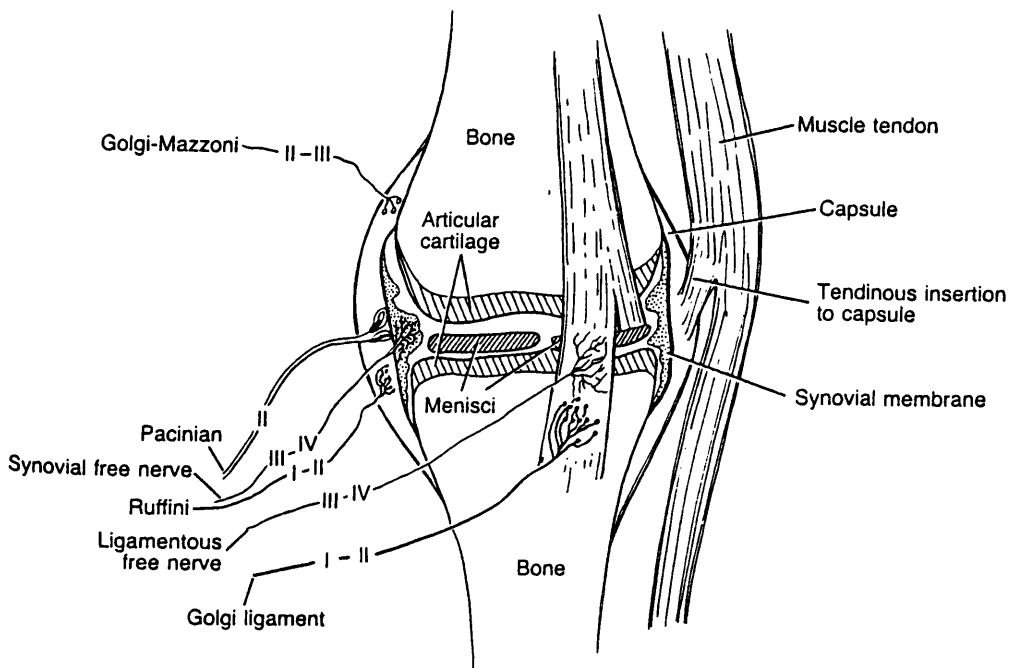


図3. 各種関節受容器 (Rowinskiより)

らは、このような状況では、同側の伸筋に対しては抑制に、屈筋に対しては促進にはたらくと述べている。

同様の非生理的刺激を受けたとき、これらの受容器から出る関節神経は線維組織よりも引張力に対して弱いので、関節包や靱帯の損傷と同時にたやすく断裂してしまう。^{8,24)}このような異常な様態が引き起こされると、前述したごとく随意運動に対して反射的の抑制がかかる。^{5,22)}

本研究においては、筋による関節の不動作用はみられなかったが、だるい痛みを呈する以上の刺激が加わるとき、大腿四頭筋の力は有意に抑制された。つまり、だるい痛みを感じさせる以上の深部感覚受容器への刺激は侵害性のものであり、そのような状態では筋の作用を減じるといえる。耐えられないほどの痛みを呈した状態では筋力の低下はさらに激しかった。このことは、Robert²⁵⁾や Krebs³⁾の指摘するように、筋活動の抑制はストレスが加わった結果どれだけの感覚受容器が関与したかによると考えられる。また同様に、井上¹³⁾は関節水腫の圧上昇に応じて神経インパルス発射が高頻度になることを報告している。

これらの要因により引き起こされる臨床症状に対して、いかに対処すべきであろうか。Dehne²²⁾によれば、侵害刺激と随意インパルスは互いに競合して働いており、どちらが勝つかによって正常な機能が回復するか侵害受容状態が続くかが決まるとしている。Andrade¹⁰⁾も、患者の十分な努力がこの抑制に打ち勝つ場合があるとしており、いままでの訓練のように、十分なモチベーションを持って訓練にあたることは非常に重要である。しかしながら、一方では、extensor lagなどを引き起こす原因を熟知すれば、他の方法が見いだされよう。Rowinski²¹⁾は正しい知覚のフィードバックの必要性を強調し、そのうえでの適切な筋活動が必要であると述べている。また、Robert²⁵⁾は、障害膝関節に対してよりいっそうのストレスを負荷することを避け、訓練の最初から自動運動の範囲内で動きを確立することによって、より早く正常な機

能に回復できるとしている。感覚受容器を破壊する猛激的運動療法はよりいっそうこの抑制反射を促す結果となろう。また、Kennedy¹¹⁾は電氣的に筋を刺激することで、筋の萎縮を防ぎ、これらの臨床症状の回復を早めるとしている。

いままで行われてきた関節の努力性随意運動と共に、感覚受容器に加わる負荷をできる限り除去し、筋や支配する運動神経に対して電気刺激を与えることは意義あることと考える。

お わ り に

関節周囲の深部感覚受容器に対する刺激がその関節の筋に対してどのような影響があるのかを知るために、正常膝関節24肢の膝蓋上囊付近に超音波を負荷し、そのときの大腿四頭筋の最大筋力を測定した。

その結果、超音波照射中にだるい痛みを訴えたとき、その最大筋力は有意($P<0.01$)に低下した。さらに、耐えられないほどの痛みを訴えたとき、平常状態の約半分の筋力しか出せなかった($P<0.001$)。これらのことから、関節周囲の深部感覚受容器は関節周囲筋と密接な関係があり、大腿四頭筋に対して抑制的に働いていることが推察される。また、extensor lagの成因を検索し、その対策を考察した。

謝 辞

本研究にあたり、被験者として協力を惜しまなかった本学学生、ならびに、快く文献収集戴いた本短期大学部図書館職員、酒巻女史、宮本女史に感謝致します。

文 献

- 1 Palmer, I.: Pathophysiology of the medial ligament of the knee joint. Acta. chir. scandinav. 115: 312, 1958

- 2 Hallen, L. G., Lindahl, O. : Muscle function in knee extension. *Acta. orthop. scandinav.* 38 : 434, 1967
- 3 Krebs, D. E., Staples, W. H., Cuttita, D. : Knee joint angle : its relationship to quadriceps femoris activity in normal and postarthrotomy limbs. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 64 : 441, 1983
- 4 Gardner, E. : Reflex muscular responses to stimulation of articular nerves in the cat. *Am. J. Physiol.* 161 : 133, 1950
- 5 Beswick, Blocky, N. J., Evanson, J. M. : Some effects of the stimulation of articular nerves. *J. Physiol.* 128 : 83, 1955
- 6 Freeman, M. A. R., Wyke, B. : Articular contributions to limb muscle reflexes. *Brit. J. Surg.* 53 : 61, 1966
- 7 Freeman, M. A. R., Wyke, B. : Articular contributions to limb muscle reflexes. An electromyographic study of the influence of ankle-joint mechanoreceptors upon reflex activity in the gastrocnemius muscle of the cat. *J. Physiol.* 171 (a) : 20, 1964
- 8 Andrew, B. L. : The sensory innervation of the medial ligament of the knee joint. *J. Physiol.* 123 : 241, 1954
- 9 Ekholm, J., Eklund, G., Skoglund, S. : On the reflex effects from the knee joint of the cat. *Acta. physiol. scand.* 50 : 167, 1960
- 10 Andrade, J. R., Grant, C., Dixon, A. ST. J. : Joint distension and reflex muscle inhibition in the knee. *J. Bone Joint Surg.* 47 A : 313, 1965
- 11 Kennedy, J. C., Alexander, I. J., Hayes, K. C. : Nerve supply of the human knee and its functional importance. *Am. J. Sports Med.* 10 : 329, 1982
- 12 Spencer, J. D., Hayes, K. C., Alexander, I. J. : Knee joint effusion and quadriceps reflex inhibition in man. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 65 : 171, 1984
- 13 井上廣司 : イヌ膝関節の Mechanoreceptor に関する電気生理学的研究 *日整会誌* 59 : 641, 1985
- 14 Herrick, J. F., Janes, J. M., Ardan, N. I. : Experimental studies relative to the therapeutic use of ultrasound. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 128 : 571, 1956
- 15 Lehmann, J. F., Delateur, B. J., Silverman, D. R. : Selective heating effects of ultrasound in human beings. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 47 : 331, 1966
- 16 Lehmann, J. F., Delateur, B. J., Warren, C. G., et al. : Heating produced by ultrasound in bone and soft tissue. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 48 : 397, 1967
- 17 Freeman, M. A. R., Wyke, B. : The innervation of the knee joint. An anatomical and histological study in the cat. *J. Anat.* 101 : 505, 1967
- 18 Skoglund, S. : Anatomical and physiological studies of knee joint innervation in the cat. *Acta. Physiol. Scand.* 36 : 5, 1956
- 19 登米祐也 : 関節包における知覚小体の形態－電顕的・組織科学的研究, *日整会誌*, 59 : 397, 1985
- 20 O'Connor, B. L., Gonzales, J. : Mechanoreceptors of the medial collateral ligament of the cat knee joint. *J. Anat.* 129 : 719, 1979
- 21 Rowinski, M. J. : Afferent neurobiology of the joint. In *Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. Edited by J. A. Gould, G. J. Davis. Toronto, The C. V. Mosby Company, 1985, P. 50-64
- 22 Dehne, E., Colonel, L. : The spinal adaptation syndrome. *Clin. Orthop.* 5 : 211, 1955
- 23 Kelso, J. A. S., Holt, K. G., Flatt, A. E. : The role of proprioception in the perception and control of human movement : Toward a theoretical reassessment. *Per-*

cept. Psychophys. 28 : 45, 1980

- 24 Freeman, M. A. R., Dean, M. R. E.,
Hanham, I. W. F. : The etiology and pre-
vention of functional instability of the foot.
J. Bone Joint Surg. 47 B : 678, 1965
- 25 Robert, C., Swearingen, L., Dehne, E.
: A study of pathological muscle function
following injury to a joint. J. Bone Joint
Surg. 46 A : 1364, 1964

Effects on Strength of Quadriceps Femoris Muscle by the Application of Ultrasound to Normal Knees

Hideki Shinohaya, Masako Nakata, Tsutomu Okiyama,
Seiichi Takemasa, Masaki Yoshida, Tomoaki Shimada,
Yoshio Taketomi,

ABSTRACT : Extensor lag of the knee joint is a well-known phenomenon. This requires intensive physical therapy. One of the important factors of this phenomenon is believed to be reflex inhibition of voluntary movement due to stimulus to mechanoreceptor in the soft tissue around the knee joint.

In order to clarify the effect of ultrasound on the mechanoreceptor in the normal knee joint, strength of quadriceps femoris of 24 knees was investigated by the application of ultrasound.

As a result, it was revealed when subjects complained of dull-pain or intolerable pain during exposing ultrasonic energy to the region of the supra-patellar pouch, maximum voluntary forces of quadriceps femoris decreased significantly.

This result suggests that muscle strength of quadriceps femoris was affected by the stimulation of mechanoreceptor by ultrasound application.

Key Words :Extensor lag,
Reflex inhibition,
Mechanoreceptor,
Ultrasound,
Quadriceps femoris.