

《原 著》

スポーツ鍼灸の基礎的研究

— 筋疲労（大腿四頭筋部）にたいする鍼施術の効果 —

明治鍼灸大学・東洋医学教室

片山 憲史 大山 良樹 矢野 忠 森 和

要旨：疲労筋に対する鍼施術の除疲労効果を検討するため大腿四頭筋を標的筋として以下の実験を行った。まず、疲労筋を作る方法として足関節部に7.5kgの重量を負荷し、膝伸展保持を最大努力させた。大腿四頭筋の疲労判定は膝関節伸展位から膝関節屈曲20度に達するまでの時間（膝伸展保持時間）とした。鍼治療は雀啄施術群9名と低周波置鍼施術群9名の2群に分けて行った。実験手順は、まず最初に重量負荷にたいして膝伸展保持を最大努力させ、膝関節屈曲30度に達した時点で10分間の休憩に入った（第1回目）。その後再び同様の運動を行わせ、膝関節屈曲30度に達した時点で実験を終了した（第2回目）。これを対照群とし、一週間後に同様の運動を行った。この際、10分間の休憩時に鍼施術を行った。いずれの場合も膝伸展保持時間を測定し、第1回目の膝伸展保持時間に対する第2回目の百分率を求めた。その結果、鍼施術によって膝伸展時間の短縮率は小さくなり、除疲労効果のあることがわかった。

A Basic Study of Acupuncture in athletics

— The Effect of Acupuncture Treatment on
Fatigue of the Muscle (Musculus Quadriceps Femoris) —Kenji KATAYAMA, Yoshiki OHYAMA,
Tadashi YANO and Kazu MORI*Department of Oriental Medicine, Meiji College of Oriental Medicine*

Summary: Muscular fatigue induces various disorders. Especially for athletes who are liable to have acute muscular fatigue, development of effective countermeasures against fatigue is an important subject for making a new record and for preventing athletic disorders. Acupuncture treatment has recently been increasingly noted as the treatment of muscular fatigue and athletic disorders in the athletic field. However, there are few reports on the efficacy of acupuncture treatment for muscular fatigue.

Acute fatigue of the musculus quadriceps femoris was induced by continuous isometric loading. The reduction of fatigue by acupuncture was studied by using a superficial electromyogram and an articular angle as the index.

The "Sparrow pecking" needle technique and low-frequency electrical acupuncture treatment were found to be effective for reducing fatigue.

Key words: 急性筋疲労 acute fatigue of the muscle, 鍼施術 acupuncture treatment, 筋電図学 electromyography, スポーツ鍼灸 sports acupuncture.

I はじめに

スポーツ選手にとって運動後の筋疲労をいかに円滑に回復させるかは非常に重要な課題である。筋疲労の回復法として従来スポーツマッサージ等の理学的療法や休息法およびエネルギー物質の補給などが奨励されてきた。^{1,2)}なかでも競技間や競技後の筋疲労回復法としてスポーツマッサージが最も多く用いられてきた。スポーツマッサージの特徴は短時間内に筋疲労を改善し、コンディションの調整を行なうところにある。^{3,4)}

最近、このスポーツマッサージに変わるものとして鍼治療が注目されている。鍼治療はスポーツ外傷の治療に応用されるだけでなく、筋疲労の回復やコンディション作りにも応用され、高い臨床実績を挙げている。⁵⁾スポーツ外傷などの治療的効果は一般臨床に準ずるものと考えられるが、一過性の運動後に生ずる筋疲労効果については報告も少なく不明な点が多い。三浦は⁶⁾エルゴグラムによる筋疲労曲線から鍼刺激の除疲労効果を明らかにしているが、対象筋が小筋群であること、また等尺性運動負荷による疲労筋の除疲労効果について検討していない。そこで筆者らはスポーツ領域における鍼治療の応用（スポーツ鍼灸）を検討するため、できるだけ実際の競技に即した形で実験を行う必要があると考え、その基礎的研究を行うことにした。今回は重量負荷時の等尺性運動によって生ずる筋疲労に対する鍼治療（雀啄術と低周波置鍼療法）の除疲労効果を明らかにする目的で以下の実験を行った。

II 大腿四頭筋の疲労の作り方および筋疲労の判定法について

鍼刺激の除疲労効果の実験に先立ち、大腿四頭筋部に適当な筋疲労を短時間内に発生させるための条件と等尺性運動による筋疲労の判定法について検討した。

1. 材料および方法

18才～27才（平均年齢22才）の本学に在籍する健康成人男子ボランティア9名を実験対象とした。大腿四頭筋の疲労を人為的に作るには姿勢と重量

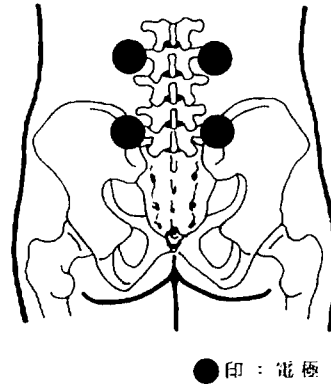


図1 筋電図導出部位
腰筋部の筋電図導出部位を図示する。

負荷が重要な要因になると考えた。そこで仰臥位、腰掛け位および椅子腰掛け位の3つの測定姿勢について膝伸展保持時に他の筋の協同運動が混入するかどうかを検討する目的で腰筋部を代表部位として表面筋電図（以下、筋電図）を測定した。腰筋部の筋電図はL2とL5の外側3cmから導出し、⁷⁾足関節部に7.5kgの負荷をかけ、膝関節伸展時の筋活動を測定した（図1）。

次いで大腿四頭筋に適切な疲労を発生させるため足関節部にかかる重量について検討した。まず適量の負荷重量を決めるための参考値として椅子腰掛け位の姿勢で各被験者の意志による大腿四頭筋の最大筋力を背筋力計を応用して測定した（図2）。筋力測定は5分間隔で3回行い、その平均値を最大筋力の代表値とした。負荷重量は被験者全員の平均最大筋力値の $\frac{1}{6}$ 、 $\frac{1}{2}$ に設定した。

これらの重量負荷に対し、大腿四頭筋部に適当な筋疲労が発生するかどうかをみる目的で大腿四頭筋の筋電図と膝関節角度を同時に測定し検討した。なお、筋電図は5秒間の振幅を積分計で積分し、これを筋活動量の指標とした。大腿四頭筋の筋電図の導出部位は図3に示す通り、大腿直筋と外側広筋および内側広筋の3ヶ所とし、膝蓋骨上縁上方

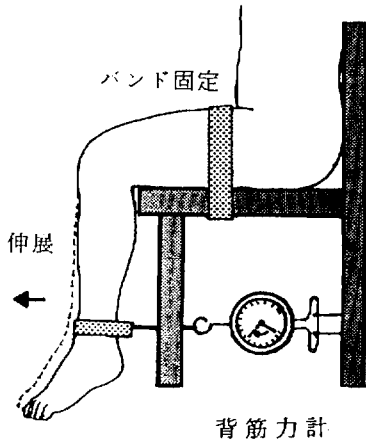


図2 大腿四頭筋の最大筋力測定

大腿四頭筋部に短時間で適切な筋疲労を発生させるのに適した重量負荷を設定するため、大腿四頭筋力の最大筋力を測定した。

7 cmの部位に皿電極を置き⁷⁾、電極間距離 5 cmの双極導出法^{8,9)}で記録した。膝関節角度の測定は日本電気三栄測器製角度トランスデューサ45313型を使用した。固定軸、移動軸、支点の位置は日本整形外科学会¹⁰⁾で決められた方法を採用した。なお、筋電図および膝関節角度の測定は日本電気三栄測器製ポリグラフ142-8を使用し、実験はすべて恒温シールド室内(26±0.5℃)で行った。

2. 結 果

図4は仰臥位、腰掛け位および椅子腰掛け位の3姿勢における腰筋部の筋電図を示す。仰臥位では腰筋部から明瞭な筋電図が記録された。このことは足関節部に負荷した重量にたいし、膝伸展位を保持するために腰部の筋群を協同させていることを示す。実際、実験中に腰痛を訴える被験者が多く、腰部の負担が大きいことが分かった。したがって仰臥位は大腿四頭筋だけに疲労を発生させるには不適切な姿勢であることが明らかとなった。腰掛け位の場合も腰筋部から筋電図が記録されたが、その振幅は仰臥位に比べてやや小さかった。しかし、重量負荷ににきる膝伸展位を保持するため反

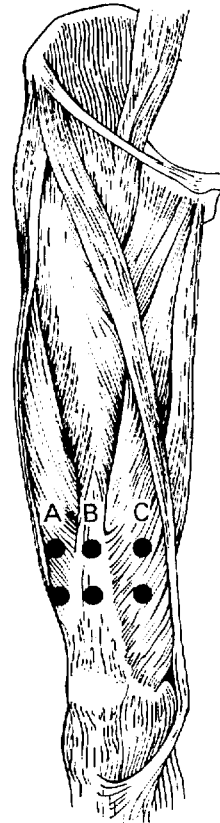


図3 大腿四頭筋部の筋電図測定部位

大腿四頭筋のうち、筋電図測定部位として、A—外側広筋、B—大腿直筋、C—内側広筋の3箇所とした。図は表面電極導出部位を表わす。

射的に上体を反り返し、ベッドの両端を手でつかみ、腹筋を協同させる動作をとる被験者が多かった。したがってこの姿勢も大腿四頭筋だけに疲労を作るには不適切な姿勢である。一方 椅子腰掛け位では腰部からの筋電図はほとんど記録されなかった。

以上のことから大腿四頭筋の除疲労実験には椅子腰掛け姿勢が最も適した姿勢であると判定し、以下の実験はすべて椅子腰掛け姿勢とした。

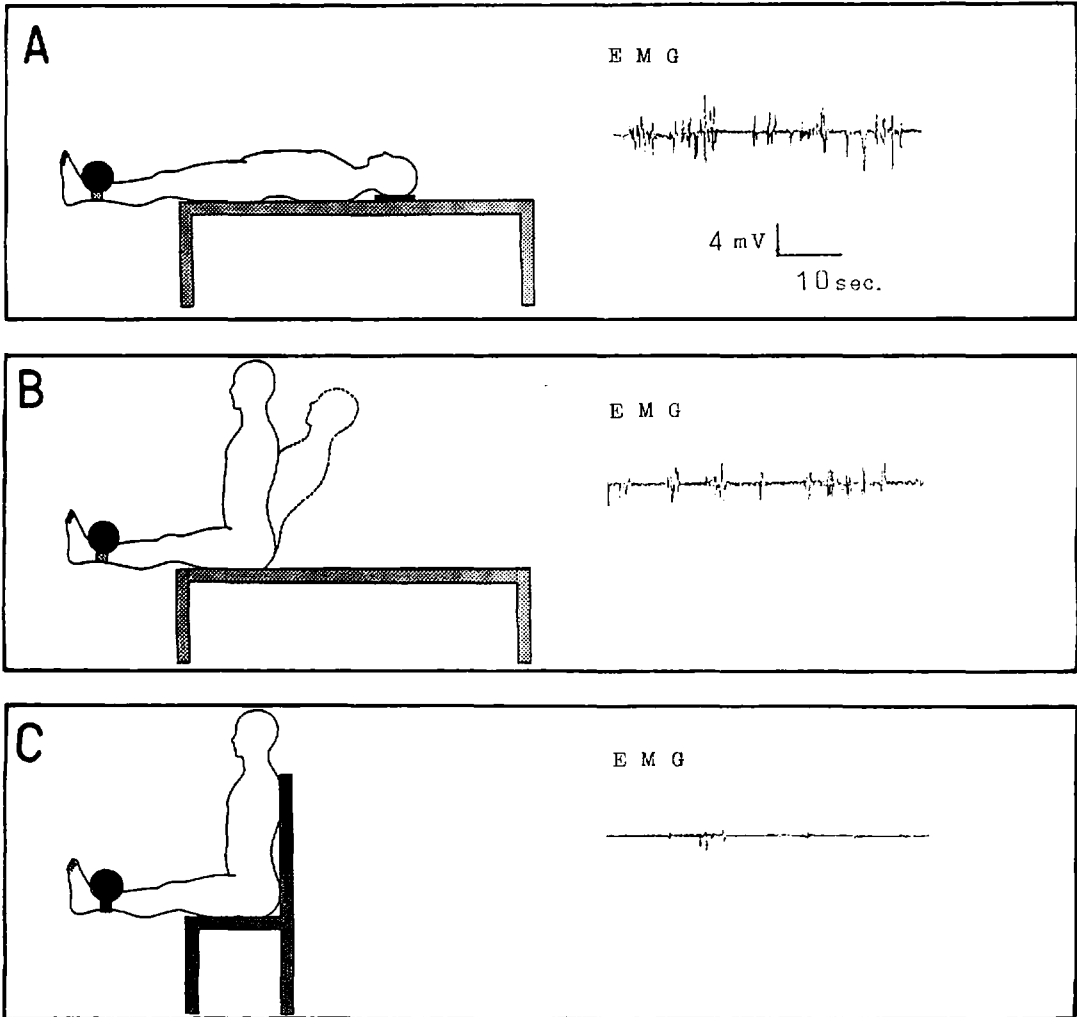


図4 筋疲労の測定における姿勢の影響

実験に先立ち、A—仰臥位、B—腰掛け位、C—椅子腰掛け位の3姿勢で筋疲労の測定における姿勢の影響を表面筋電図で検討した。

次に大腿四頭筋に適切な筋疲労を発生させるために適した重量負荷について検討した。まず最初に各被験者の意志による最大筋力を測定した。その結果、 $59.0 \pm 7.7 \text{kg}$ (平均 \pm S D, $n = 9$) であった。一般的に等尺性収縮の筋力トレーニングでは最大筋力の $\frac{2}{3}$ 程度の負荷をかける(ルーの法

則)¹¹⁾が、本実験の場合、筋疲労を発生させるため負荷時間を長くする必要があることから最大筋力の $\frac{1}{2}$ (10kg)と $\frac{1}{2}$ (5kg)に設定した。その結果、10kgの重量負荷では重すぎたために膝伸展位を保持することができず急激に膝が屈曲し、疲労を発生させることができなかった。そこでその

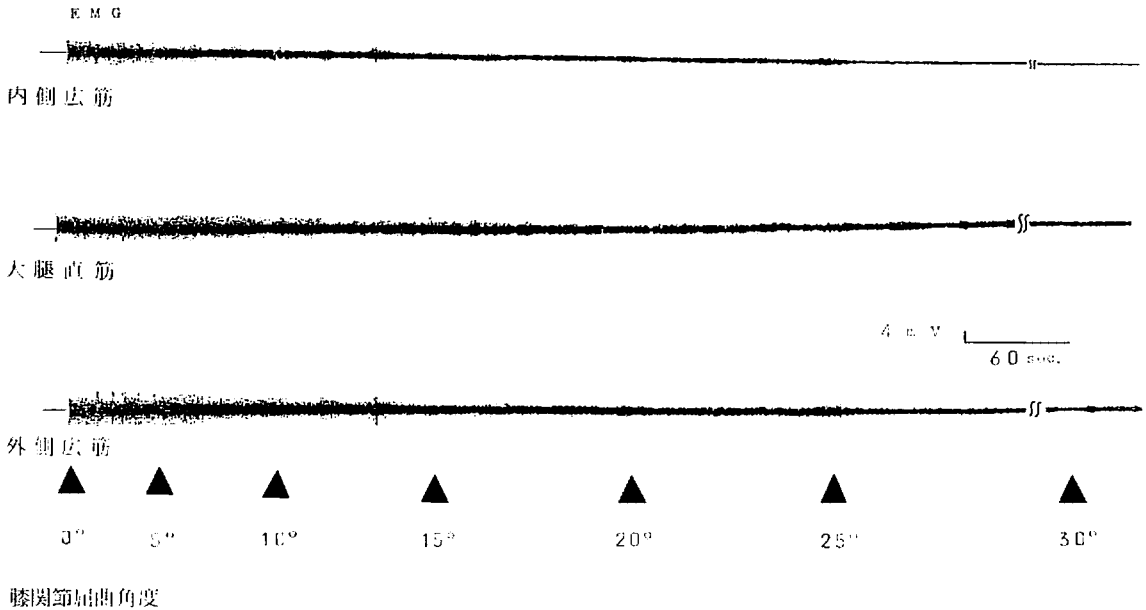


図5 筋疲労の判定

大腿四頭筋の筋電図と膝関節の屈曲角度を同時に記録した。膝関節の屈曲角度が30度以上になると活動電位が平坦化する。

半分の5kgとしたが、この重量は逆に軽すぎたために大腿四頭筋に疲労を発生させるには10分以上の時間を要した。そこでその中間値の7.5kgとしたところ3～5分程度で大腿四頭筋に疲労を発生させることができたので足関節部にかかる重量を7.5kgとして以下の実験を行った。なお、負荷重量による筋疲労の判定は次のように行った。

図5は負荷重量7.5kg時の時間経過とともに筋電図と膝関節角度の推移を示す。図に示すように大腿四頭筋の筋電図は時間経過とともにその振幅は減少するものの完全に消失することにはなかった。それは関節角度の変化にともない筋肉にかかるトルクが小さくなることによる。したがって筋電図の振幅だけで疲労の発生を判定することは困難であると考え、膝関節角度から判定することにした。そこで下腿長30cm、7.5kg負荷時の大腿四

頭筋にかかるトルク¹²⁾(トルク(N) = $\cos \theta \times$ 下腿長 \times 負荷量 \times 重量加速度)を求めた(図6)。図から明らかなように膝関節屈曲20度以上になると大腿四頭筋にかかるトルクは急激に減少する。このことから大腿四頭筋の疲労の判定は膝関節屈曲20度に達するにまでの時間とし、以下の実験ではこの時間を膝伸展保持時間として筋疲労発生の判定として使用した。

III 鍼治療の除疲労効果について

上述の実験結果をもとに鍼治療(雀啄術と低周波置鍼療法)の除疲労効果について検討した。

1. 材料および方法

18才～27才(平均年齢22才)の本学に在籍する健康成人男子ボランティア18名を実験対象とし、雀啄施術群9名と低周波置鍼施術群9名に分けて

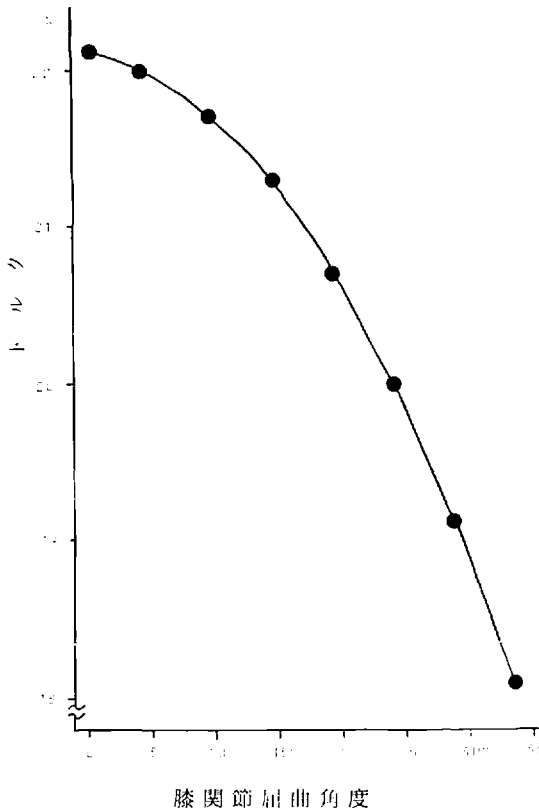


図6 膝関節角度にともなう大腿四頭筋部のトルクの変化

縦軸は大腿四頭筋部のトルク、横軸は膝関節屈曲角度を表わす。足背部に7.5kgの負荷を与え、下腿長を30cmとした場合の理論値の変化を表わす。

実験を行った。

右足関節にかかる重量負荷量は7.5kgとし、測定姿勢は椅子腰掛位とした。大腿四頭筋の筋電図の導出は図3と同様、大腿直筋、内側広筋および外側広筋の3ヶ所とし、同一方法で測定した。膝関節角度も同様な方法で記録した。使用した機器も同様である。

実験手順はまず最初に7.5kgの重量に対し、膝伸展保持を最大努力させ、膝関節屈曲30度に達した時点で10分間の休憩に入った。その後、再び同

様の運動を行わせ、膝関節屈曲30度に達した時点で実験を終了した。これを対照群とし、膝関節屈曲20度に達するまでの時間（膝伸展保持時間）を測定した。ついで日を変えて（第1実験の1週間後の同一時刻）第2実験を行った。第2実験に際し被験者に1週間筋疲労を起こすことのないよう指示し、協力を求めた。第2実験も第1実験と同様の運動を行わせたが、10分間の休憩に雀啄施術または低周波置鍼施術を行った。これを雀啄施術群と低周波置鍼施術群とし、それぞれの施術における膝関節屈曲20度に達するまでの時間を測定した。

施術方法は雀啄施術では膝蓋骨内外側の上方5cmと上縁中央の上方5cmの3ヶ所を施術部位とし、1Hzで1ヶ所につき1分間タッピングした。低周波置鍼施術では上述の部位を陰極とし、陽極をそれぞれの上方5cmにとり、2Hzで軽度の筋収縮が生ずる程度の強度で10分間通電した。低周波通電にはポインタードー3（東京医研製）を使用し、鍼はセイリン製1寸6分2番（ $\phi 0.25 \times 50\text{mm}$ ）を使った。

2. 結果

図7は雀啄施術の除疲労効果を示す。図は第1回目の膝伸展保持時間に対する第2回目の膝伸展保持時間の百分率を算出し、グラフ化したものである。無処置群では9例中2例において膝伸展保持時間が延長しているが、他の7例ではいずれも著明に短縮しており、第2回目の重量負荷によって筋疲労が増長されたものと考えられる。一方、雀啄施術群でも9例中2例は膝伸展保持時間の延長を示したが、残る7例も短縮を示した。しかし、無処置群と雀啄施術群の増減率を比較してみると無処置群では $-22.7 \pm 19.5\%$ （平均 \pm SD）、雀啄施術群では $-3.5 \pm 21.3\%$ （平均 \pm SD）となり、明らかに雀啄施術群の方の短縮率が小さくなっている。このことは雀啄施術は第1回目の重量負荷によって生じた筋疲労を完全に回復させることができないが、相当に疲労を回復させる効果があることを示す。

図8は低周波置鍼施術の除疲労効果を示す。図

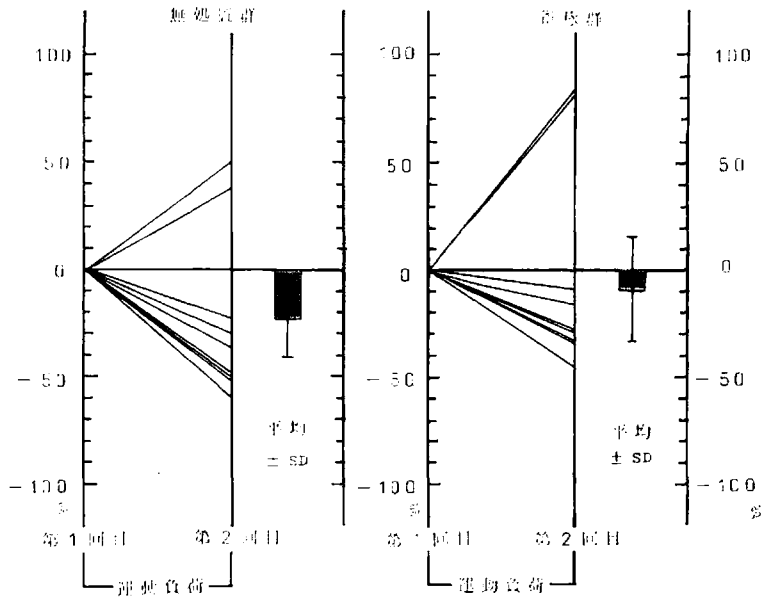


図7 筋疲労に対する雀啄施術の効果

無処置群（対照群）と雀啄群における重量負荷に対する膝伸展保持時間を表わす。第1回目に対する第2回目の増減率で示した。

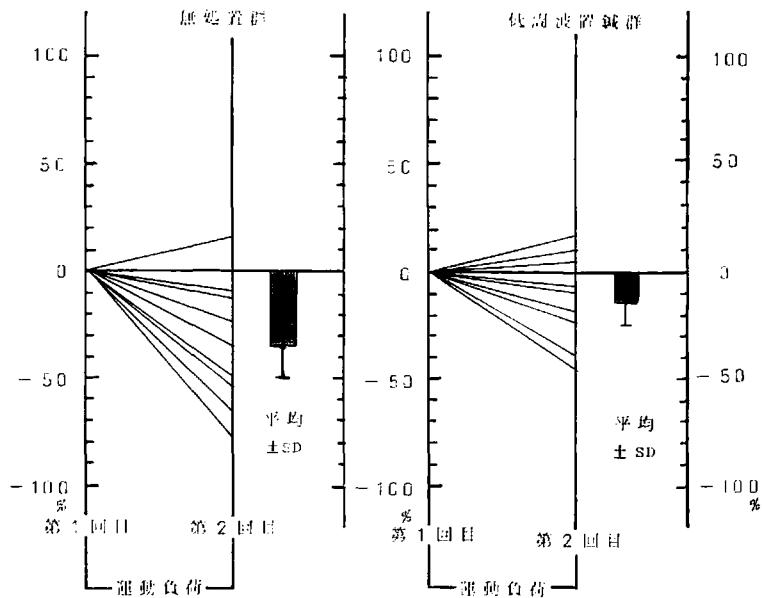


図8 筋疲労に対する低周波置鍼施術の効果

無処置群（対照群）と低周波置鍼群における重量負荷に対する膝伸展保持時間を表わす。第1回目に対する第2回目の増減率で示した。

7と同様、第1回日の膝伸展保持時間に対する第2回日の膝伸展保持期間の百分率を算出し、グラフ化したものである。無処置群では9例中1例、低周波置鍼施術群では9例中3例で膝伸展保持時間の延長を示し、他はいずれも短縮を示した。無処置群と低周波置鍼施術群の増減率を比較してみると、無処置群では $-34.2 \pm 12.5\%$ (平均 \pm SD)、低周波置鍼施術群では $-12.1 \pm 10.4\%$ (平均 \pm SD)となり、明らかに低周波置鍼施術群の方の短縮率が小さくなっている。このことから雀啄施術群と同様に疲労筋の除疲労効果があると考えられる。

IV 考 察

筋疲労の判定法としてよく用いられる指標は、エルゴメータに代表されるように、筋肉の機械的収縮運動による作業量である。この作業量の減少率から筋肉の疲労度を定量的に測定しようとするものである。この場合、筋肉の収縮運動は意志による最大収縮を行わせる方法と、電気刺激による最大収縮を行わせる方法がある。¹³⁾しかし、これらの方法はいずれも小筋群の等張力性収縮による疲労測定に適しているが、大筋群の等尺性収縮の疲労測定には適していない。そこで大筋群の等尺性収縮による疲労測定法として重量負荷にたいする保持時間を指標とした。本実験では大筋群として大腿四頭筋を標的筋とし、膝伸展保持時間を疲労の指標とした。(これは各種スポーツで共通に使用する筋肉であり、走行運動で中心となる筋肉であることから選択したものである)。

この大腿四頭筋の等尺性収縮による疲労を短時間内に発生させるためには適切な重量を負荷させることが重要となる。この際、重要なことは標的とした筋肉のみを収縮させ、疲労を作ることにある。そのため3種類の姿勢について検討したところ、椅子腰掛け位が他の筋肉の協同運動をとまなうことがなく、最も適した姿勢であることがわかった。この姿勢は大腿四頭筋が2関節筋と1関節筋から構成されていることから考えても合理的である。そこで椅子腰掛け位における負荷重量を求め

るために各被験者の意志による最大筋力を測定した。一般的には等尺性運動のトレーニングには最大筋力の $\frac{1}{2}$ を適切な負荷量とする。¹¹⁾しかし、本実験の場合、疲労を発生させるために負荷時間が長くなることを考慮して最大筋力の $\frac{1}{2}$ で行ったところ負荷量が大きすぎて膝伸展保持ができなかった。そこで負荷量を $\frac{1}{2}$ に下げたところ、疲労発生に10分以上を要した。さらにその中間値の $\frac{1}{2}$ の負荷にしたところ3~5分で疲労を起こさせることができた。そして、この負荷量で予備実験を行ったところ、第1回日の運動によって生ずる筋疲労は10分間の休憩では十分回復せず、第2回日の同一運動により第1回目より20~30%早く疲労が発生することが確認できたので、本実験では被験者の平均最大筋力の $\frac{1}{2}$ の7.5kgとした。

次に重量負荷による等尺性運動の筋疲労をどの時点で判定するかが重要な問題となる。エルゴメータのように作業量に変換して筋疲労度を測定することはこの場合は不可能である。そこで筋電図の振幅から判定しようとしたが、図5にみられるように筋電図の振幅は時間経過とともに減少するものの完全に消失することはない。この現象は関節角度の変化にともない筋肉にかかるトルクが減少することによるものである。したがって筋電図の振幅の減少率から疲労度を判定することは困難であると考え、適当な重量がかかっている角度に達するまでの時間から判定する法を採用した。そこで大腿四頭筋にかかるトルクの理論値を求めたところ、膝関節屈曲20度以上になると急激にトルクが減少することが分かった。このことから膝関節屈曲20度に達するまでの膝伸展保持時間を大腿四頭筋の疲労発生の指標とした。

以上の成績を踏まえ、大腿四頭筋の筋疲労にたいする鍼施術の効果について検討したところ、雀啄施術群、低周波置鍼施術群ともに除疲労効果が認められた。一般的にスポーツにともなう筋疲労は、疲労物質(特に乳酸)の蓄積、エネルギー源(特にグリコーゲン)の消耗、神経筋接合部における伝達物質の欠乏および細胞膜の興奮性低下などが原因して発生するといわれてい

る。^{1,14,15,16,17,18)}なかでも等尺性運動のような持続運動負荷による一過性の急性筋疲労は、疲労物質の蓄積が大きな原因と考えられている。したがって疲労筋の回復には疲労物質を除去し、エネルギー源を補給することが基本となるが、一過性の急性筋疲労の場合には疲労物質の蓄積を除去するために筋血流量を増加させることが効果的となる。このことは筋血流量を遮断して筋運動を行わせると、すみやかに筋疲労が発生することからもうかがわれる。つまり筋血流量の増減は疲労の原因、回復の重要な要因として作用することを示すものである。³⁾

今回の鍼施術の除疲労効果も筋血流量の増加によるものではないかと考えられる。鍼刺激における筋血流量への影響については次のような報告がある。松本らは^{19,20)}水素クリアランス法および静脈閉鎖ストレンゲージプレチスモグラフを用いて鍼刺激における筋血流量を測定したところ、有意な増加を示したと報告している。また、木下らは^{21,22)}動物を対象に鍼刺激による筋血流量増加の作用機序について軸索反射を通してアセチルコリンの遊離が促進されるためであると報告している。さらに三浦は⁶⁾刺鍼によって動的筋持久力が増大することについてサーモグラムの所見から筋血流量の増大が示唆されると報告している。したがって本実験における鍼施術の除疲労効果も筋血流量増大が関与するものであろうと考えられるが、この点については測定していないので断定はできない。

一方、鍼施術の除疲労効果を詳細に検討すると、対照群では2回目の運動でかえって膝伸展保持時間が増大している症例が2例みられたが、これは一種のトレーニング効果によるものと考えられる。また、低周波置鍼施術によって膝伸展保持時間が短縮した症例は2例であったが、このことは電気刺激のためにかえって筋疲労が増長された結果によるものであろう。このように鍼施術の内容や刺激量によって除疲労効果に差が生ずることは、一つには被験者の大腿四頭筋における筋線維構成の差、つまり速線維と遅線維の割合の差にもよるの

ではないかと考えられる。²³⁾したがって今後、鍼施術の除疲労効果を検討する場合、被験者を瞬発型と持久型に分けて実験を行う必要があり、そうすることによってスポーツ種目にあった鍼施術方法を確立することができる。また、筋疲労の程度は「やる気」を含めた精神的要素(中枢性因子)がかなり影響するといわれている。¹³⁾本実験の場合、意志による持続的な等尺性収縮を行わせているため、電気刺激による筋収縮と違い、精神的要素の関与は免れない。したがって鍼施術の除疲労効果にも中枢神経系への賦活作用や疲労感の軽減などの精神的要素の関与は少なからず関係するものと考えられるが、この点については今後の研究課題として検討する予定である。

本研究は昭和60年度専攻科生岡本善志一、小林光幸両君の協力を得て行われたものであり、両君に対し深甚なる感謝を申し上げます。

文 献

- 1) 松井秀治：スポーツにおける疲労。臨床スポーツ医学。3(5)：495, 1986。
- 2) 鈴木克也、高橋晴夫、遠藤芳郎：図解スポーツマッサージ。不味堂出版。第12版。東京：156, 1968。
- 3) 藤田紀盛、芹沢勝助：循環系、とくに末梢循環流に及ぼす影響。スポーツマッサージの研究(1)。東洋医学研究集成。医歯薬出版株式会社。東京：24, 1979。
- 4) 藤田紀盛、芹沢勝助：末梢循環流を指標としたマッサージの効果。スポーツマッサージの研究(2)。東洋医学研究集成。医歯薬出版株式会社。東京：26, 1979。
- 5) 西条一止、宮本俊和、小林英大他：スポーツ障害に対する鍼治療の試み、陸上選手112名の障害度。セラピスト。6(10), 1985。
- 6) 三浦敏弘：鍼刺激による動的筋持久力増大現象について。明治鍼灸大学紀要。創刊号：117, 1985。
- 7) Edward F. Delagi, Johe Lazzetti：筋電図のための解剖ガイド。田島達也訳。西村書店。新潟：180, 1985。
- 8) 堀 浩：筋電図の手引き。南山堂。東京：15, 1984。

- 9) J. A. R. Lenman, A. E. Ritchie, 津山直一 : 臨床筋電図. 同医書出版社. 東京 : 19, 1982.
- 10) 柳田喜三郎, 平沢泰介 : 図解整形外科エッセンシャル : 33, 1982.
- 11) 中野昭一 : 図説・運動の仕組みと応用. 医歯薬出版株式会社. 東京 : 121, 255, 1982.
- 12) 中村隆一, 斎藤 宏 : 臨床運動学. 医歯薬出版株式会社. 東京 : 17, 1981.
- 13) 矢部京之助 : 疲労と体力の科学. 講談社. 東京 : 84, 1986.
- 14) W. Hort, R. Flothner, 黒田善雄 : スポーツ選手の筋肉学. オーム社. 東京 : 70, 1984.
- 15) 伊藤郎, 奏野信二 : 最近の疲労の測定. 臨床検査, 29(10) : 1153, 1985.
- 16) 真島英信 : 生理学. 文光堂. 第17版. 東京 : 68, 1985.
- 17) 岡田三郎 : スポーツと疲労. 不味堂出版. 東京 : 17, 1979.
- 18) 大橋正光, 山岡誠一 : スポーツ科学講座 4, スポーツと疲労. 栄養. 大修館書店. 東京 : 17, 1984.
- 19) 松本 勅, 篠原昭二, 池内隆治他 : 鍼灸刺激と筋血流. 全日本鍼灸学会雑誌, 35(2) : 159, 1985.
- 20) 松本 勅 : 筋疲労に対する鍼灸治療の効果. 日本温泉気候物理医学会雑誌, 50(138) : 1986.
- 21) 木下晴都 : 強縮後の短縮高回復過程に及ぼす置針の作用. 局所疼痛に対する針作用の実験的研究. 昭代会誌, 41 : 393, 1981.
- 22) 木下晴都 : 強縮によって減少した収縮高の回復に対する傍脊椎施針の促進作用, 局所疼痛に対する針作用の実験的研究. 昭代会誌, 42 : 441, 1982.
- 23) 明石 謙 : 運動学. 医歯薬出版株式会社. 第5版. 東京 : 6, 1977.