

円皮鍼を用いた鍼刺激が筋疲労 による瞬発的筋力発揮能力低下に及ぼす影響 —二重盲検比較試験を用いた検討—

Effects of stimulation by press tack needle acupuncture on the decrease
in instantaneous muscle force generation due to muscle fatigue
—double-blind trial—

大隈祥弘*^{1,2}, 花岡裕吉*², 吉田成仁*¹
宮崎彰吾*¹, 久島達也*¹, 宮川俊平*²

キー・ワード：press tack needle, exhaustive exercise, muscle fatigue
円皮鍼, 運動負荷, 筋疲労

【要旨】 筋疲労は瞬発的筋力発揮能力の低下と定義されており、その低下に円皮鍼がどのような影響を及ぼすか二重盲検比較試験を用いて検討した。

成人男性 23 名を対象とし、鍼が付いた円皮鍼で刺激する真鍼群 12 名と真鍼と外見は同じであるが鍼を除外したプラセボ鍼で刺激するプラセボ鍼群 11 名とに割付けた。瞬発的筋力発揮能力の指標として、運動負荷前後の最大筋出力、筋の立ち上がり率を示す rate of force development (RFD) を測定した。

最大筋出力については両群ともに運動負荷によって有意な低下がみられたが、真鍼群の低下はプラセボ鍼群と比較してその低下が有意に少なかった。また、RFD についてはプラセボ群にのみ運動負荷後に有意な低下がみられた。

円皮鍼は、筋疲労を抑制すると示唆された。

背 景

鍼治療は、一般的に筋骨格系の痛みを取り除く手段として用いられている¹⁾。スポーツ領域に関しては、選手の腰痛²⁾や肩回旋筋腱板炎³⁾など傷害の治療に効果がみられ、その年間利用率は一般成人よりも高いと報告されている⁴⁾。しかし、鍼がスポーツ選手のコンディショニングやパフォーマンスに及ぼす影響について検討した報告はいまだ多くなく、一貫したエビデンスの究明が期待されている。

鍼の効果は、ある特定の部位を刺激した際に起こる特異的効果とされ、その作用機序に関しては、

主に痛みの抑制と血流の増加によるものとされている⁵⁾。特に、筋に対する鍼刺激の効果については、対象とする筋への局所刺激と遠隔部への刺激とでその機序が異なる。遠隔部への刺激では、コリン作動性の交感神経性血管拡張神経を遠心路とする体性—自律神経反射による筋血流の増加とされている⁶⁾。局所への刺激では、無髄 C 線維を求心路とする軸索反射によって放出された CGRP (カルシトニン遺伝子関連ペプチド) などの血管拡張物質が引き起こす筋血流量の増加⁷⁾とされている。筋に対する鍼刺激の効果としては、筋血流の増加による遅発性筋痛の抑制効果⁸⁾、筋出力の増加⁹⁾や筋活動量の増加¹⁰⁾などが報告されている。しかし、筋に対する鍼刺激の効果を検討したこれまでの先行研究では、毫鍼と呼ばれる鍼で筋中まで深く刺入したり、あるいは刺入した鍼に通電したりという

*1 帝京平成大学ヒューマンケア学部鍼灸学科

*2 筑波大学大学院人間総合科学研究科スポーツ医学専攻

表 1 被験者特性

	真鍼群 (n = 12)	プラセボ鍼群 (n = 11)
年齢 (歳)	24.03 ± 2.50	24.75 ± 2.01
身長 (cm)	173.6 ± 25.17	171.0 ± 4.56
体重 (kg)	67.62 ± 7.42	67.69 ± 11.62
等尺性最大筋出力 (Nm)	218.24 ± 48.24	226.48 ± 57.22
体重で補正した等尺性最大筋出力 (Nm/kg)	3.22 ± 0.59	3.39 ± 0.71
RFD (Nm/msec)	4.10 ± 1.91	2.93 ± 0.62

平均値 ± 標準偏差, RFD (rate of force development).
すべての項目において, 両群間に有意な差はみられなかった.

表 2 被験者が過去に実施していた競技種目とその競技歴

	真鍼群 (n = 12)	プラセボ鍼群 (n = 11)
野球	2	2
サッカー	4	6
バレーボール	2	1
バスケットボール	1	1
硬式テニス	1	0
アメリカンフットボール	1	0
柔道	0	1
レスリング	1	0
Total	12	11
競技歴 (年)	10.46 ± 2.54	10.36 ± 2.29

平均値 ± 標準偏差.

比較的刺激の強い方法である. 近年, この毫鍼よりも刺激の弱い円皮鍼が注目されている. この円皮鍼は, 絆創膏付きの鍼を皮膚に貼付する簡便な方法で, 貼付している間持続的に鍼刺激を与えることができ, かつ長さが 0.1mm~1.5mm と毫鍼と比較して低侵襲で貼付したまま運動実施が可能である. また円皮鍼は, 生体に与える刺激量の定量化が可能であることに加え, 鍼の介入研究でこれまで困難とされてきた二重盲検による臨床試験が実施可能である¹¹⁾ ことから研究分野での応用も期待されている. この円皮鍼に関しては, 遅発性筋痛の抑制効果¹²⁾ や筋疲労の回復促進効果^{13,14)} などが報告されているが, その数はいまだ少なく, また二重盲検を用いた検討も少ない.

一方で, 運動時の筋疲労は最大筋出力の低下と最大筋収縮速度の低下¹⁵⁾ といった瞬発的な筋力発揮能力の低下とされている. 先行研究では, 瞬発的な筋力発揮能力を評価する指標として最大筋出力, Rate of Force Development (以下, RFD) が用いられている. RFD は力の立ち上がり率や増加率を示し, その算出方法は Δ 筋出力/ Δ 時間である. この RFD は, 垂直跳びを代表とするジャンプ

パフォーマンスや最大筋出力と深く関係し, 様々なスポーツ動作に共通した瞬発的なパフォーマンスの指標と成り得ると報告されていること¹⁶⁾ に加え, 筋の疲労によって低下することが報告されている¹⁷⁾. その他, 運動時の筋疲労の尺度として筋電図測定による筋活動量の評価が用いられている. 特に積分筋電値は, 最大筋出力を繰り返し発揮する運動様式では, 筋の疲労によってその数値が低下するとされている¹⁹⁾. また, 筋出力の時間積分で仕事量をあらわす force-time integral を用いた筋疲労の評価もなされている¹⁹⁾.

本研究では, 筋疲労が引き起こす瞬発的筋力発揮能力の低下を前途した指標によってとらえ, その低下に対する円皮鍼刺激の影響について二重盲検比較試験を用いて検討した.

■ 目 的

本研究の目的は, 円皮鍼が筋疲労による瞬発的筋力発揮能力低下に及ぼす影響について二重盲検比較試験を用いて明らかにすることである.

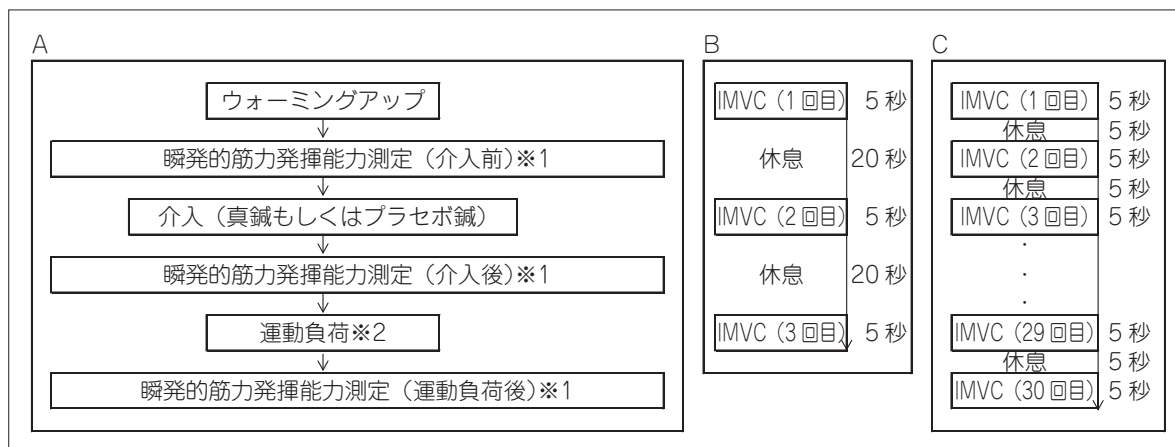


図1 実験プロトコルと運動負荷のプロトコル

(A) 実験プロトコル.

(B) ※1 瞬発的筋力発揮能力測定のプロトコル. ブザー音が聞こえたら直ちに最大努力でできる限り素早く強く膝を伸展する動作を開始し, ブザーが鳴りやむまでの5秒間継続して等尺性最大随意筋出力 (Isometric Maximum Voluntary Contraction : IMVC) を実施させた. この測定を20秒間のセット間休息を取り, 計3回実施した.

(C) ※2 運動負荷のプロトコル. 5秒間のIMVCを実施した後に5秒間の休息をとり, その後再び5秒間のIMVCを実施する負荷を計30回実施させた.

方法

1. 対象および研究デザイン

対象者は, 外傷や障害を有しない健康成人男性とした. 被験者の特性を表1に, 被験者が過去に実施していた競技種目とその競技歴を表2に示す. また, すべての被験者は鍼治療を経験したことのある者とした. 予備実験から算出されたサンプルサイズ24名を対象とし, Microsoft Excelにて発生させた乱数を用いて24名を鍼のある円皮鍼で刺激する真鍼群12名と真鍼と外見上は全く同じであるが鍼だけ除去したプラセボ鍼で刺激するプラセボ鍼群12名との2群に無作為割付けを行い, 比較検討した. 割付けに関しては, 測定実施者および円皮鍼を対象者に貼付する介入実施者とは別の第3者が, 被験者の過去に実施していた競技種目を基に層別無作為割付けを実施した. 全対象者に本研究への内容を十分に説明し書面により参加の同意を得た. なお, 本研究は筑波大学研究倫理審査委員会(体25-62号)の承認を得て実施した.

2. 瞬発的筋力発揮能力の測定

瞬発的筋力発揮能力を測定するために, 本研究では音刺激に対する反応動作を測定した. その運動様式は, Yeung¹⁸⁾らの方法を参考に, 右膝関節伸展動作における等尺性最大随意筋収縮 (Isometric

Maximum Voluntary Contraction, 以下 IMVC) とした. また, 膝関節は屈曲位 80 度とし, 対象者は 1.0m 前方に設置されたブザーから音が聞こえたら最大努力でできる限り素早く強く膝を伸展する動作を開始し, ブザーが鳴りやむまでの 5 秒間継続して IMVC を行うように指示をした. 5 秒間の IMVC は, 20 秒の休息時間をはさんだ 3 回の実施を 1 セットとし, 後述する実験プロトコルの各タイミングで計 3 セット実施した (図 1).

3. 運動負荷

筋疲労を引き起こすことを目的に行った運動負荷は, Yeung¹⁸⁾らの方法を参考に, 5 秒間の IMVC と 5 秒間の休息とを 1 セット (10 秒間) とし, 計 30 セット継続して行う運動負荷を実施した (図 1).

4. 測定項目

以上の測定試技を用いて, 以下のものを測定項目として算出した.

4-1. 最大筋出力

本研究では, 先行研究²⁰⁾を参考に 7.5Nm の筋出力が発生した時点を筋出力の発生と定義した. また, すばやい動作を行う際に発生する最大筋出力は, 動作開始から約 400 から 600msec の間に観察される²¹⁾ため, 本研究では筋出力が発生 (7.5Nm に達した時点) してから 500msec の間に観察される最大筋出力を記録した. 筋出力の測定には

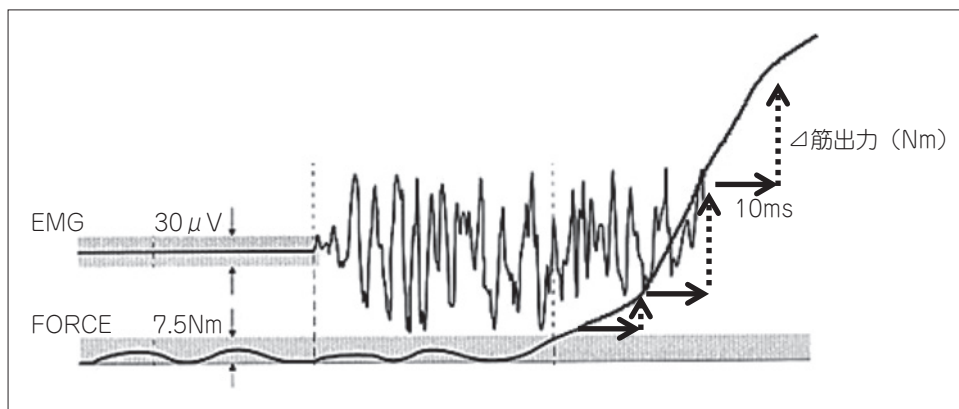


図2 RFD算出方法の模式図
EMG：筋電値，FORCE：筋出力。
筋出力が7.5Nmに達した時点から10msec毎にRFDを算出し，その最大値をRFDの記録とした。

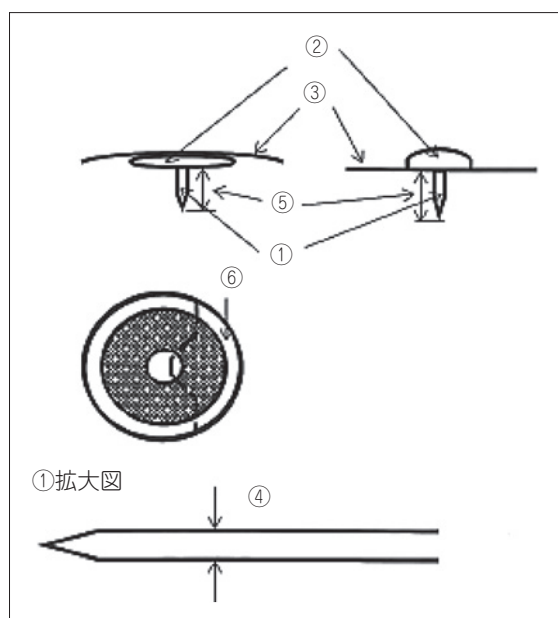


図3 円皮鍼（セイリン社製パイオネックス）
長さ0.6mmの円皮鍼（セイリン社製パイオネックス）
①鍼体（ステンレス製，プラセボ鍼はこの鍼体
が取り除かれている），②鍼柄，③テープ，④線径，
⑤鍼長（長さ0.6mm，プラセボ鍼は鍼がない），
⑥剥離紙（取外し部）

Biodex System3（Biodex Medical Inc., Shirley, NY）を用いた。

4-2. RFD

RFDは，一定時間内に变化した筋出力の变化量をそれに要した時間で除して算出する^{16,17)}。本研究では，先行研究^{16,17)}を参考に筋出力の発生（筋出力7.5Nmに達した時点）から10msec毎にRFDを算出し，その最大値を記録した（図2）。

4-3. 積分筋電値

測定中の筋活動量を推定するために，積分筋電値を算出した。筋電図測定にはBiometrics社製表面筋電図計（Biometrics Ltd., Cwmfelinfach, Gwent, UK）およびDKH社製TRIAS解析プログラムTRIAS System（DKH Ltd., Tokyo, Japan）を用い，被検筋は大腿直筋²²⁾とした。音刺激の信号，筋電信号，筋出力信号を同期させ1000Hzでコンピューターに入力した。最大筋出力と同様に，筋出力が発生してから500msecの積分筋電値を算出した。

4-4. 仕事量（force-time integral）

Biodex System3より得られたデータをもとに，瞬発的筋発揮能力測定および運動負荷中に繰り返し実施した5秒間のIMVCにおける仕事量（force-time integral）を算出した。

5. 鍼刺激およびプラセボ鍼による介入

本研究の介入で用いた円皮鍼は，セイリン社製パイオネックス（図3）で長さ0.6mmの鍼がついた真鍼と真鍼と外見上はまったく同じであるが鍼の部分だけ除去されたプラセボ鍼とした。使用する全ての円皮鍼は1つずつ同型のパッケージに密封され，それぞれには番号が記載された状態で保管された。円皮鍼の貼付は，測定実施者とは異なる介入実施者が行い，貼付の際に介入実施者は鍼の有無を確認しないこととし，調査期間中はいずれの者に対しても割付けの結果を知らせることはなかった。よって本研究の介入は，対象者，測定実施者および介入実施者がどちらの鍼で刺激しているか知りえない状況下で実施された。

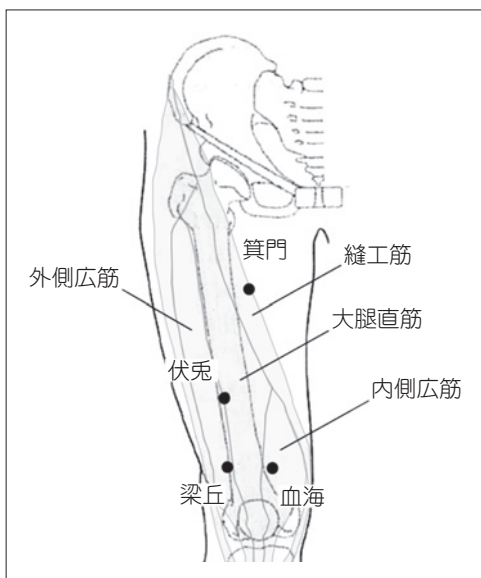


図4 円皮鍼の貼付部位
血海（内側広筋の隆起部），箕門（縫工筋と長内転筋の間），梁丘（外側広筋と大腿直筋の間），伏兎（大腿直筋上）の4経穴に円皮鍼を貼付した。

先行研究を参考に本研究では、被験側となる右大腿前面部にあり、測定試技の主動筋となる大腿四頭筋上の「血海 (SP10)」、「箕門 (SP11)」、「伏兎 (ST32)」、「梁丘 (ST34)」²³⁾ に真鍼もしくはプラセボ鍼を貼付した (図4)。貼付に要する時間は、5分間とした。いずれの円皮鍼も貼付したまま運動負荷およびその後の測定を行い、すべての測定が終了した後に取り除いた。

6. 貼付された円皮鍼に関する質問

対象者に対して正しく盲検化がなされたかどうかについて、自記式質問紙を用いて調査した。対象者は、「貼付された円皮鍼はどちらの鍼だと感じましたか (質問1)」、「鍼が刺さった感覚がありましたか (質問2)」について、「1. 真鍼を貼付された・はい」、「2. プラセボ鍼を貼付された・いいえ」、「3. わからない」のいずれかで回答した。

7. 実験プロトコル

実験のプロトコルを図1に示す。まずウォーミングアップとして、50Wに負荷を設定した自転車エルゴメーターにて、ペダル回転数60rpmで10分間ペダリングさせた後、実際の測定試技を3回実施させた。ウォーミングアップ終了後、1回目の瞬発的筋力発揮能力を測定した。測定終了後、5分間で真鍼群には真鍼を、プラセボ群にはプラセボ鍼を貼付した。鍼を貼付した後、2回目の瞬発的

筋力発揮能力を測定し、運動負荷を行った。その後、3回目の瞬発的筋力発揮能力を測定した。すべての測定が終了した後に、円皮鍼に関する自記式質問紙を用いた調査を実施した。

8. 比較方法と統計処理

それぞれの測定項目において、介入前・介入後・運動負荷後の各3回の平均値を用いて比較した。介入前の測定値をbaselineとし、baselineからの変化率を算出して比較した。

円皮鍼による介入がそれぞれの測定項目に影響を及ぼすかどうかについて、介入（真鍼刺激、プラセボ鍼刺激）、時間（介入前、介入後、運動負荷後）の2要因分散分析を用いて確認した。また、事後検定において多重比較を行う場合にはBonferroniの方法を用いた。群間比較に用いる2群比較には、対応のないt検定を用いた。また、5秒間のIMVCにおける仕事量 (force-time integral) については、計30回の5秒間IMVCを実施した運動負荷中の測定値における3回毎の平均値を算出し、介入前・介入後・運動負荷後の測定値に加えて比較した。その際、群内比較にはBonferroniの方法による多重比較を用い、群間比較には対応のないt検定を用いた。自記式質問紙の回答については、Fisherの確率検定を用いて両群の比率を比較した。統計処理にはSPSS22.0を用い、有意水準は5%とした。

■ 結 果

1. 対象者

割付けられた24名の全対象者のうち、真鍼群1名（割付け後に参加拒否）、プラセボ鍼群2名（1名割付け後に参加拒否、1名理由不明）、計3名が脱落となり、実際の対象者は真鍼群12名、プラセボ鍼群11名であった。対象者の特性 (表1) において、両群に有意な差はみられなかった。

2. 貼付された円皮鍼に関する質問

盲検化が正しく行われたかどうか検討するために実施した自記式質問票の結果を表3に示す。

「貼付された円皮鍼はどちらの鍼だと感じましたか」という質問1に対して、真鍼群 (n=12) の6名 (50%) は「真鍼を貼付された」、2名 (17%) は「プラセボ鍼を貼付された」、4名 (33%) は「わからない」と回答した。プラセボ鍼群 (n=11) は、6名 (55%) は「真鍼を貼付された」、4名 (36%) は「プラセボ鍼を貼付された」、1名 (9%) は「わ

表 3 真鍼もしくはプラセボ鍼を貼付された際の感覚について

質問 1. 貼付された円皮鍼はどちらの鍼だと感じましたか.

	真鍼	プラセボ鍼	わからない	計
真鍼群 (n=12)	6	2	4	12
プラセボ鍼群 (n=11)	6	4	1	11
計	12	6	5	23

質問 2. 鍼が刺さった感覚がありましたか.

	はい	いいえ	わからない	計
真鍼群 (n=12)	6	5	1	12
プラセボ鍼群 (n=11)	4	7	0	11
計	10	12	1	23

質問 1 においては、回答の比率に有意差はなかった (Fisher の正確確率検定, $p=0.638$).

質問 2 においては、回答の比率に有意差はなかった (Fisher の正確確率検定, $p=0.670$).

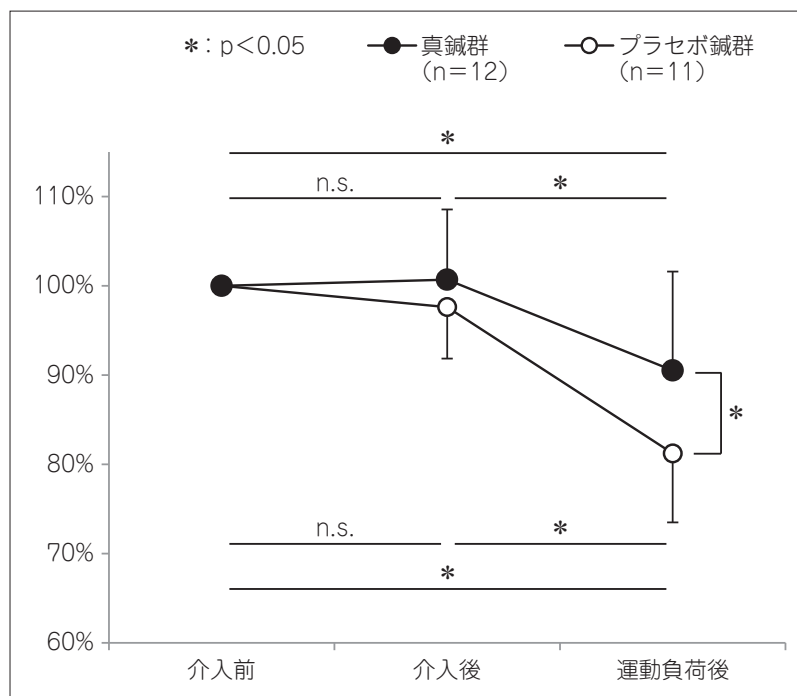


図 5 筋出力発生から 500msec までの最大筋出力の変化

2 要因分散分析の結果、時間 ($F(2.00)=41.28, p<0.05$) と介入 ($F(1.00)=4.10, p<0.05$) に有意な主効果がみられ、かつ有意な交互作用 ($F(2.00)=3.68, p<0.05$) が認められた.

からない」と回答した。以上の結果について、両群の回答の比率に有意な差はなかった ($p=0.638$).

「鍼が刺さった感覚がありましたか」という質問 2 に対して、真鍼群 (n=12) の 6 名 (50%) は「はい」、5 名 (42%) は「いいえ」、1 名 (8%) はわからないと回答した。プラセボ鍼群 (n=11) は、4 名 (36%) は「はい」、7 名 (64%) は「いいえ」、0 名 (0%) はわからないと回答した。以上の結果

について、両群の回答の比率に有意な差はなかった ($p=0.670$).

3. 最大筋出力 (図 5)

2 要因分散分析の結果、時間 ($F(2.00)=41.28, p<0.05$) と介入 ($F(1.00)=4.10, p<0.05$) に有意な主効果がみられ、かつ有意な交互作用 ($F(2.00)=3.68, p<0.05$) が認められた。各群において、時間 (介入前, 介入後, 運動負荷後) について多重比較を行った結果、プラセボ鍼群の運動負荷後の最大

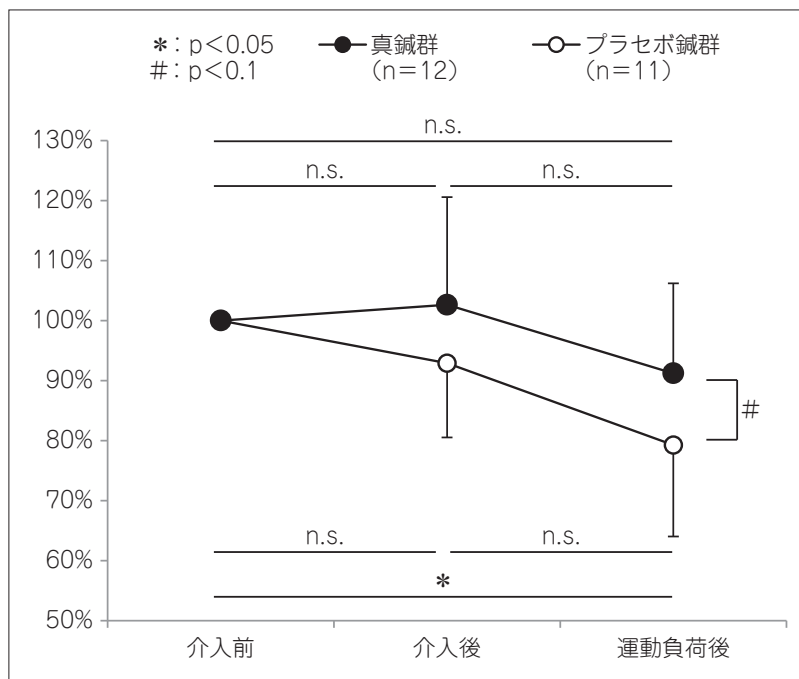


図6 RFD (Rate of Force Development : 筋の立ち上がり率) の変化
 2 要因分散分析の結果, 時間 (F(1.55) = 9.31, p < 0.05) に有意な主効果がみられたものの, 有意な介入の主効果 (F(1.00) = 2.83, n.s.) および交互作用 (F(1.55) = 1.75, n.s.) はみられなかった.

筋出力は, 介入前および介入後と比較して有意に低下していた. 真鍮群においても同様に運動負荷後の最大筋出力は, 介入前および介入後と比較して有意に低下していたが, 運動負荷後ではプラセボ群と比較して有意に高値を示した.

4. RFD (図6)

2 要因分散分析の結果, 時間 (F(1.55) = 9.31, p < 0.05) に有意な主効果がみられたものの, 有意な介入の主効果 (F(1.00) = 2.83, n.s.) および交互作用 (F(1.55) = 1.75, n.s.) はみられなかった. 各群において, 時間 (介入前, 介入後, 運動負荷後) について多重比較を行った結果, プラセボ群の運動負荷後の RFD は, 介入前と比較して有意に低下していた. しかし, 真鍮群においては RFD の有意な低下はみられなかった. 運動負荷後においては, 真鍮群はプラセボ群と比較して高値を示したがその差は統計学的に有意な差ではなかった (p = 0.07).

5. 積分筋電値 (図7)

2 要因分散分析の結果, 時間 (F(2.00) = 9.76, P < 0.05) に有意な主効果がみられたものの, 有意な介入の主効果 (F(1.00) = 0.41, n.s.) および交互作用 (F(2.00) = 0.82, n.s.) は認められなかった. 各群において, 時間 (介入前, 介入後, 運動負荷後) に

ついて多重比較を行った結果, プラセボ群の運動負荷後の積分筋電値は, 介入前および介入後と比較して有意に低下していた. 真鍮群の運動負荷後の積分筋電値は, 介入前および介入後と比較して低下していたが統計学的に有意な低下ではなかった. 運動負荷後には, 真鍮群がプラセボ群と比較して高値を示したが, 統計学的に有意な差ではなかった.

6. 仕事量 (force-time integral) (図8)

両群ともに運動負荷中の 13~15 回以降では, 介入前よりも有意な仕事量の低下がみられた. 運動負荷後の測定において, 真鍮群の仕事量は運動負荷中 28~30 回の平均値よりも有意に増加 (回復) していたが, プラセボ群においては有意な増加 (回復) がみられず, 真鍮群の仕事量はプラセボ群と比較して有意に高値を示した. また, プラセボ群における運動負荷後の仕事量は, 介入前と比較して有意に低値を示したが, 真鍮群においては有意な差はみられなかった.

■ 考 察

本研究では, 最大筋出力や RFD といった瞬発的筋力発揮能力の筋疲労による低下に対して円皮鍼がどのような影響を及ぼすかについて二重盲検

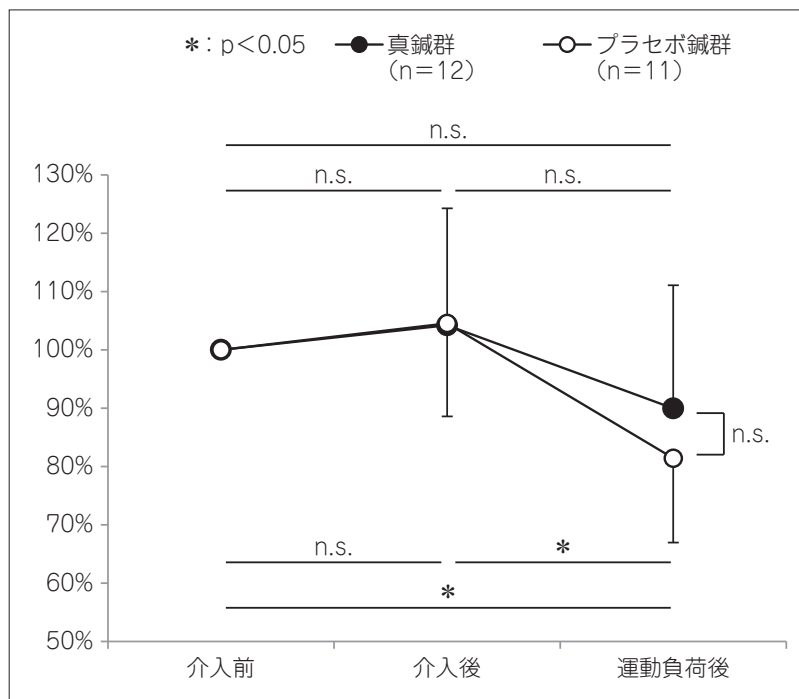


図7 筋電発生から500msecまでの積分筋電値の変化
 2要因分散分析の結果、時間 (F(2.00)=9.76, P<0.05) に有意な主効果がみられたものの、有意な介入の主効果 (F(1.00)=0.41, n.s.) および交互作用 (F(2.00)=0.82, n.s.) は認められなかった。

比較試験を用いて検討した。その結果、鍼のついた通常の円皮鍼は、運動負荷による最大筋出力と立ち上がり率・増加率 (RFD) の低下を抑制し、かつ筋疲労による筋放電量および仕事量 (force-time integral) の低下を抑制することが示唆された。

貼付された鍼に関する質問では、真鍼群とプラセボ鍼群の回答の比率に差はなく、正しく盲検化されており、本研究の介入は二重盲検の条件下で実施されたと考えられる。また先行研究同様、円皮鍼が二重盲検比較試験を可能とするツールであることが示唆された。

最大筋出力やRFDは、動員される運動単位と発火頻度に影響されている^{24,25)}。また、鍼刺激は筋放電量増加を引き起こし、筋の活動に影響を及ぼすことが報告されている¹⁰⁾。本研究では、運動負荷によりプラセボ鍼群の積分筋電値は有意に低下していたが、真鍼群の積分筋電値においては有意な低下がみられなかった。このことから、本研究で観察された円皮鍼による最大筋出力およびRFDの低下抑制は、筋疲労によって引き起こされる動員される運動単位の減少や発火頻度の低下が抑制されたことによる効果と考えられ、円皮鍼は筋疲

労による筋放電量低下を抑制する可能性があるかと推察される。また、円皮鍼による介入直後において積分筋電値への影響は観察されていないことから、円皮鍼は筋疲労を引き起こすような負荷が生じた場合に筋活動の低下を抑制する効果を有するのではないかと推察される。しかし、その機序については明らかにされておらず筋活動に対する円皮鍼の影響については推察の域を脱しないが、本研究と同様の先行研究において、円皮鍼の筋疲労による瞬発的筋発揮能力の低下抑制効果は、発火頻度の増加や同期化による運動単位の増加によるものと考察されている^{13,26,27)}。一方で、5秒間IMVCの仕事量の変化において、運動負荷中の低下に両群間の差はみられず同様の負荷が実施できたと考えられるが、運動負荷後の真鍼群の仕事量は運動負荷終了直前の測定値よりも有意に増加 (回復) し、かつプラセボ鍼群と比較して有意に高値を示していた。これらのことから、円皮鍼には筋疲労を抑制する効果あるいは疲労状態からの回復を促進する効果を有することが示唆された。

筋に対する鍼刺激の効果の機序として、局所の血流増加反応があげられる。本研究では測定試技の主動筋である大腿四頭筋に対する円皮鍼刺激を

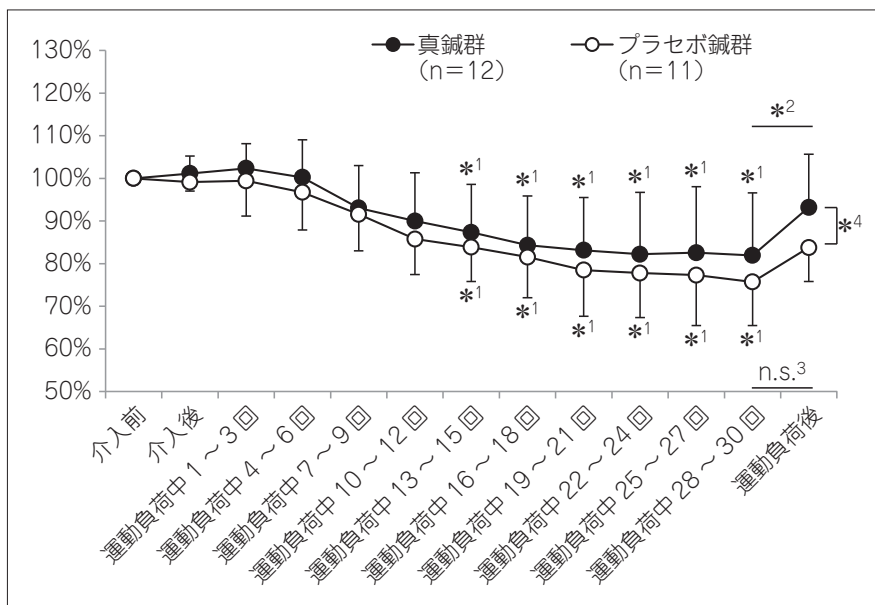


図8 5秒間のIMVC時の仕事量 (force-time integral)

両群ともに運動負荷中の13~15回以降では、介入前よりも有意な仕事量の低下がみられた。運動負荷後の測定において、真鍼群の仕事量は運動負荷中28~30回の平均値よりも有意に増加(回復)していたが、プラセボ鍼群においては有意な増加(回復)がみられず、真鍼群の仕事量はプラセボ鍼群と比較して有意に高値を示した。また、プラセボ鍼群における運動負荷後の仕事量は、介入前と比較して有意に低値を示したが、真鍼群においては有意な差はみられなかった。

*1: 各群において介入前と比較した際の結果を示す (p<0.05)

*2: 真鍼群において運動負荷28~30回平均値と運動負荷後を比較した結果を示す (p<0.05)

n.s.³: プラセボ鍼群において運動負荷28~30回平均値と運動負荷後を比較した結果を示す (n.s.)

*4: 運動負荷後において両群の比較結果を示す (p<0.05)

実施したが、局所への鍼刺激の効果については、無髄C線維を求心路とした軸索反射によって放出されたCGRP(カルシトニン遺伝子関連ペプチド)などの血管拡張物質が引き起こす筋血流量の増加によるものとされている⁷⁾。しかし、先行研究で検証されたこの作用機序は、毫鍼と呼ばれる鍼を筋中まで深く刺した場合に観察されたものであり、本研究で使用した長さ0.6mmの円皮鍼による刺激とは異なると考えられる。鍼先が皮膚組織で留まる円皮鍼の作用機序に関する報告は多くないが、後藤らは従来使用されている毫鍼を筋中まで刺さずに、円皮鍼のように皮膚に留めた場合でも皮膚C線維侵害受容器の興奮・発射を微小神経電図により観察している²⁸⁾。また近年、円皮鍼を貼付した場合でもC線維侵害受容器の興奮・発射を確認した²⁹⁾と報告されている。さらに、Hottaらは長さ0.3mmの突起が付いた樹脂製の機器にて皮膚を刺激することで、C線維侵害受容器の興

奮を観察している³⁰⁾。以上のことから、皮膚への微細な刺激であっても筋中まで深く刺す毫鍼を用いた場合と同様に、C線維侵害受容器興奮による軸索反射が起こり、局所循環の改善が生じると考えられ、本研究で得られた結果に関してもこれと同様の機序による効果ではないかと推察される。本研究で実施したIMVCのような高強度運動時にみられる筋疲労は、筋収縮に必要なエネルギー源であるATPの減少とATP再合成に必要なクレアチンリン酸の減少によるものとされている³¹⁾ほか、H⁺の増加と蓄積によるpHの低下とされている^{32,33)}。また、運動負荷が引き起こす最大筋出力の低下は局所の循環血流量と深く関係し、運動中の血流循環不全によるH⁺などの筋内代謝物の蓄積増加が筋疲労時の筋力低下の要因となると報告されている³⁴⁾。等尺性の運動では、50~60%IMVC以上の強度で血流は遮断され、血流の循環不全が生じるとされており^{35,36)}、本研究で計30回繰り返

し実施した5秒間IMVCでは血流循環不全によりH⁺の増加と蓄積によるpHの低下が生じたと考えられる。また、Nelsonら³³⁾によると、筋内pHの低下による筋出力の低下は特にtypeIIx線維での低下が著しいとされ、瞬発的筋力発揮能力となる最大筋出力および最大筋収縮速度の低下が生じると予測される。以上のことから、前述した最大筋出力およびRFDの低下抑制や仕事量の回復促進効果は、円皮鍼による血流循環の改善がひとつの要因となると考えられる。しかし、これらの機序に関する考察は推察の域を脱しない。

本研究では、円皮鍼が運動負荷による筋疲労を抑制する効果および疲労状態からの回復を促進する効果を観察することができた。スポーツ現場での応用として、試合やトレーニングの際に事前に円皮鍼を貼付することで筋疲労によるパフォーマンス低下の抑制や効率の良いトレーニングの実施を可能にすると考えられる。特に、高強度の運動を短時間の休息をはさみながら繰り返し実施する間欠的高強度運動を必要とする競技種目においてその効果が期待される。しかし、本研究で実施した運動負荷および瞬発的筋力発揮能力の測定で用いたIMVCは、実際のスポーツ動作とは異なる。今後は、様々な運動様式を用いた測定試技による検討や円皮鍼が運動時の筋血流量に及ぼす影響について検討するなど、さらに詳細な検証が必要であると考えられる。

文 献

- 1) Yamashita, H. et al.: Popularity of complementary and alternative medicine in Japan a telephone survey. *Complement Ther Med* 10(2): 84-93, 2002.
- 2) 泉 重樹ほか：スポーツ選手の腰痛に対する低周波鍼通電療法の効果—練習状況, RDQ, JOA スコアを指標にした検討—。全日本鍼灸学会雑誌 5: 775-784, 2008.
- 3) Kleinhenz, J. et al.: Randomised clinical trial comparing the effects of acupuncture and a newly designed placebo needle in rotator cuff tendinitis. *Pain* 83(2): 235-241, 1999.
- 4) 大隈祥弘ほか：大学生スポーツ選手の相補・代替医療利用状況。日本臨床スポーツ医学会誌 20(2): 351-359, 2012.
- 5) 川喜田健司：鍼鎮痛機序に関する研究の現状とポリモーダル受容器の関与。慢性疼痛 26(1): 9-14, 2007.
- 6) 佐藤三千雄, 武重千冬：局所疼痛に対する針作用の実験的研究—4—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。昭和医学会雑誌 42(4): 441-447, 1982.
- 7) Shinbara, H. et al.: Effects of manual acupuncture with sparrow pecking on muscle blood flow of normal and denervated hindlimb in rats. *Acupunct Med* 26(3): 149-159, 2008.
- 8) 寺田和史ほか：エキセントリック運動により生じた遅発性筋痛に対する鍼刺激の効果。体力科学 50: 583-592, 2001.
- 9) Hubscher, M. et al.: Immediate effect of acupuncture on strength performance: a randomized, controlled crossover trial. *Eur J Appl Physiol* 110: 353-358, 2010.
- 10) Toma, K. et al.: The Effects of Acupuncture Needle Stimulation on Skeletal Muscle Activity and Performance. *Journal of Strength & Conditioning Research* 12(4): 253-257, 1998.
- 11) Miyazaki, S. et al.: Applicability of Press Needles to a Double-blind Trial: A Randomized, Double-blind, Placebo-controlled Trial. *The Clinical Journal of Pain* 25(6): 438-444, 2009.
- 12) 宮本俊和ほか：マラソン後の筋痛と筋硬度に対する円皮鍼の効果：二重盲検ランダム化比較試験による検討。日東医誌 54(5): 939-944, 2003.
- 13) 古屋英治ほか：ランダム化比較試験による筋疲労の回復に及ぼす円皮鍼の効果—shamを用いた比較試験—。全日本鍼灸学会雑誌 59(4): 375-383, 2009.
- 14) 大隈祥弘ほか：M-Testを用いた円皮鍼治療が筋出力および反応時間に及ぼす影響。日本臨床スポーツ医学会誌 20(1): 87-95, 2012.
- 15) Bigland-Ritchie, B: Muscle fatigue and the influence of changing neural drive. *Clin Chest Med* 5: 21-34, 1984.
- 16) McLellan, CP. et al.: The role of rate of force development on vertical jump performance. *J Strength Cond Res* 25(2): 379-385, 2011.
- 17) Zhou, S. et al.: Effects of fatigue and sprint training on electromechanical delay of knee extensor muscles. *Eur J. Appl. Physiol* 72: 410-416, 1996.
- 18) Yeung, S.S. et al.: Effects of fatigue on the temporal neuromuscular control of vastus medialis muscle in humans. *Eur J. Appl Physiol* 80: 379-385, 1999.

- 19) 内山 靖ほか：計測法入門—計り方, 計る意味. 協同医書出版, 東京, 第3版, 58-85, 2005.
- 20) Conchola, EC. et al.: Effects of neuromuscular fatigue on the electromechanical delay of the leg extensors and flexors in young and old men. *Eur J Appl Physiol* 113(9): 2391-2399, 2013.
- 21) Suetta, C. et al.: Training-induced changes in muscle CSA, muscle strength, EMG, and rate of force development in elderly subjects after long-term unilateral disuse. *J Appl Physiol* 97(5): 1954-1961, 2004.
- 22) Perotto, AO.: 筋電図のための解剖ガイド—四肢・体幹. 西村書店, 新潟, 第3版, 176-177, 1997.
- 23) WHO 西太平洋地域事務局：WHO/WPRO 標準経穴部位 日本語公式版. 医道の日本社, 神奈川, 61-75, 2009.
- 24) Häkkinen, K, Komi, PV.: Training-induced changes in neuromuscular performance under voluntary and reflex conditions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 55(2): 147-155, 1986.
- 25) Van Cutsem, M. et al.: Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol* 513(Pt 1): 295-305, 1998.
- 26) 安達 淳ほか：実験的急性筋疲労モデルに及ぼす鍼刺激の影響（第7報）大腿四頭筋の筋疲労に及ぼす円皮鍼の効果. *東洋療法学校協会学会誌* 20: 27-33, 1996.
- 27) 有竹英彦ほか：実験的急性筋疲労モデルに及ぼす鍼灸刺激の影響（第8報）下腿三頭筋の筋出力に及ぼす円皮鍼の効果. *東洋療法学校協会学会誌* 22: 64-68, 1998.
- 28) 後藤和廣：微小神経電図の鍼灸研究への応用. 鍼灸臨床の科学(西篠一止, 熊澤考朗監修). 医歯薬出版, 東京, 451-468, 2000.
- 29) Kawakita, K. et al.: EXAMINATION OF PHYSIOLOGICAL ACTIVITY OF VARIOUS SHAM DEVICES USED IN CLINICAL TRIALS OF ACUPUNCTURE. 5th international Medical Acupuncture Congress of Barcelona, Barcelona, 5-6 November 2011.
- 30) Hotta, H. et al.: Gentle mechanical skin stimulation inhibits the somatocardiac sympathetic C-reflex elicited by excitation of unmyelinated C-afferent fibers. *Eur J Pain* 14(8): 806-813, 2010.
- 31) Hargreaves, M. et al.: Muscle metabolites and performance during high-intensity, intermittent exercise. *J Appl Physiol* 84(5): 1687-1691, 1998.
- 32) Knuth, ST. et al.: Low cell pH depresses peak power in rat skeletal muscle fibres at both 30 degrees C and 15 degrees C: implications for muscle fatigue. *J Physiol* 15(575): 887-899, 2006.
- 33) Nelson, CR, Fitts, RH.: Effects of low cell pH and elevated inorganic phosphate on the pCa-force relationship in single muscle fibers at near-physiological temperatures. *Am J Physiol Cell Physiol* 306(7): 670-678, 2014.
- 34) 菅谷正人ほか：外部圧迫による筋血流量の変化が低強度運動時の筋放電量と最大筋力に及ぼす影響. *体育学研究* 56: 481-489, 2011.
- 35) Royce, J.: Isometric fatigue curves in human muscle with normal and occluded circulation. *Res Quart* 29(2): 204-212, 1958.
- 36) Stephense, J, Taylor, A: Fatigue of maintained voluntary muscle contraction in man. *J Physiol* 220: 1-18, 1972.

(受付：2014年10月2日, 受理：2015年4月7日)

Effects of stimulation by press tack needle acupuncture on the decrease in instantaneous muscle force generation due to muscle fatigue —double-blind trial—

Okuma, Y.^{*1,2}, Hanaoka, Y.^{*2}, Yoshida, N.^{*1}
Miyazaki, S.^{*1}, Hisajima, T.^{*1}, Miyakawa, S.^{*2}

^{*1} Faculty of Health Care, Department of Acupuncture and Moxibustion, Teikyo Heisei University, Tokyo, Japan

^{*2} Division of Sports Medicine, Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan

Key words: press tack needle, exhaustive exercise, muscle fatigue

[Abstract] Muscle fatigue during exercise is defined as a reduction in instantaneous muscle force generation. This study was a double-blind trial to investigate the effects of stimulation by press tack needle acupuncture on the decrease in instantaneous muscle force generation due to muscle fatigue.

Twenty-three healthy young adult men were randomly assigned to a press tack needle group (n = 12) and a placebo needle group (n = 11). The press tack needle group subjects were stimulated using an actual press tack needle with a 0.6 mm long needle. The placebo group subjects were stimulated with a placebo needle that was identical to the press needle, except that the needle had been removed. To assess instantaneous muscle force generation, peak muscle force and rate of force development (RFD) were measured after exhaustive exercise.

The peak muscle force values after exhaustive exercise decreased significantly compared to before exhaustive exercise in both groups. The peak muscle force after exhaustive exercise in the press tack needle group was significantly greater than that in the placebo group. The RFD values after exhaustive exercise decreased significantly as compared to before exhaustive exercise in the placebo group, but significant differences were not observed in the press tack needle group.

It was suggested that press tack needle acupuncture can prevent exercise-induced muscle fatigue.