

鍼通電刺激の刺激条件の違いが 遅発性筋痛の予防効果に及ぼす影響

若宮 啓司*

明治国際医療大学大学院鍼灸学研究科

要 旨 【目的】上腕屈筋群に遅発性筋痛を作成し、鍼の予防効果を検討した。
【方法】研究には健常人24名(23.17±3.06歳)を用い、コントロール群、局所(矩形波)群、遠隔(矩形波)群、遠隔(三角波)群の4群にランダム割付をした。研究対象者は、局所群では上腕二頭筋へ、また遠隔群では左右手三里-合谷にいずれも3Hz15分間の鍼通電刺激を行った後、上腕屈筋群に対して伸張性収縮運動を行った。評価は、運動負荷前、負荷後0, 24, 48, 72, 168時間後に、痛み(VASとペインビジョン)、肘関節屈曲・伸展時の疼痛誘発角度、上腕の体表温度・周径をそれぞれ測定した。
【結果】コントロール群では全例で運動負荷直後からVASに増加が見られ、負荷後72時間に最大になった。一方、痛みの評価に関しては各群で経時的な変化に差はないが、コントロール群と比べて疼痛誘発角度では局所(矩形波)群で有意な差が認められた(p=0.04)。
【考察】三角波は細径線維を選択的に刺激することで内因性オピオイドを放出し、炎症を抑えた可能性が、また局所の矩形波は局所血流や筋トーンを変化させることで、筋緊張が変化した可能性が考えられた。

Key words 遅発性筋痛 Delayed-onset muscle soreness, 鍼通電刺激 electro-acupuncture stimulation, 三角波 triangle wave, 伸張性収縮運動 stretching and contraction exercise, 予防 prevention

1. はじめに

運動後2-3日してから出現する筋の痛み、いわゆる遅発性筋痛(delayed onset muscle soreness: DOMS)は多くの人を経験する痛みである。この筋痛は坂道を下るなどの伸張性収縮を伴う運動や不慣れた運動後に出現し、筋を動かしたり圧迫したりすることで痛みを生じる^{1,2)}。DOMSは日常生活において大きな問題になることはほとんどない。しかしながら、競技やトレーニングを長期間行うスポーツ選手にとって、DOMSは運動パフォーマンスを低下させるだけでなく、運動意欲低下などの心理的ストレスにもつながる。よって、DOMSを予防・治療することはスポーツ選手にとって重要な課題である。そ

のため様々な角度からDOMSの予防や治療に関する研究が行われてきた³⁻⁵⁾。その中でも鍼治療はスポーツの現場でも容易に行え、ドラッグフリーで副作用の少ない治療法であることから多くのスポーツ選手が利用しており⁶⁾、良好な結果も得ている。しかしながら、鍼に関する研究はDOMS出現時の治療効果に関するものが多く⁷⁻⁹⁾、スポーツ選手にとって重要なDOMSの予防効果に関する研究は少なく、運動直後に行った鍼治療の研究のみである¹⁰⁾。実際、運動前の予防効果を検証する場合、運動の方法や強度によりどの部位にDOMSが出現するのかが明確でないため、どの筋肉をターゲットにコンデショニングを行うのかが明らかではない。

その一方、鍼通電刺激は末梢性、または中枢性にオピオイドを放出することで、オピオイドを介した抗炎症作用があることが知られており¹¹⁾、運動前に鍼通電刺激を行うことで運動に伴う筋肉の炎症を抑

*連絡先：〒629-0392 京都府南丹市日吉町
明治国際医療大学鍼灸学部はり・きゅう学講座
E-mail: k_itoh@meiji-u.ac.jp

制できる可能性は否定できない。また、直接神経を三角波で刺激した場合、C線維が賦活されやすいことが知られており¹²⁾、刺激波形を変化させることで、さらに炎症を抑えられる可能性があるが、それらを詳細に検討した報告はない。

そこで、伸張性収縮負荷によって上腕屈筋群にDOMSを作成した際、鍼通電刺激を行う部位や刺激条件により予防効果が異なるのかを検討した。

II. 方法

遅発性筋痛の作成方法

研究には、趣旨を十分に説明し、インフォームドコンセントの得られた健常人(n=24, 年齢: 23.2±3.1歳(mean±S.D.), 性別: 男21名, 女3名)を用いた。遅発性筋痛の作成は非利き手の上腕屈筋群とし、研究対象者ごとの負荷量の設定は、過去の運動経験(過去1年以内に上肢を使う競技を3か月以上継続しているものを経験あり)ならびに性別によって定めた。男性で運動経験のあるものは10kgの鉄アレイから開始とし、運動経験のないものは7kgの鉄アレイから開始した。女性は運動経験のあるものは7kgの鉄アレイから開始とし、運動経験のないものは5kgの鉄アレイから開始した。

運動負荷方法は、補助者が肘関節屈曲145度の位置までダンベルを持ち上げたところで手を離し、そのおもりの重さに耐えながら研究対象者は5秒間かけて肘関節を0度(過伸展にならないよう指示ならびに補助した)の位置まで伸展する伸張性収縮運動を1回とし、同様な方法で運動が出来なくなるまで行うことを1セットとした。その後、1分間の休憩をはさみ計3セット行った。なお、運動負荷は背もたれのない椅子に坐位で座り、運動負荷中は手関節による代償運動を防止する目的で、自作の装具を着用して運動負荷を行うと同時に、他の代償運動を防止するために肘関節の伸展までに要する時間が5秒間維持できなかった場合をall outとした。また、鉄アレイの重さは、疲労による筋力低下を考慮に入れて、セットごとに負荷量を設定し直した。

なお、本研究は明治国際医療大学ヒト研究審査委員会の承認を受けて行った(2018-072-1)。

測定項目

(1) 上腕の温度

筋肉への運動が適切に行えているかを把握する目的で、上腕の温度を測定した。測定部位は、運動負荷を行った非利き腕の上腕前面中央で、背臥位で肘関節伸展位脱力状態から最大周径となる位置の皮膚

表面温度を測定した。測定には放射温度計IT-340(堀場製作所製)を用い、測定値が十分安定するのを待って皮膚温度とした。

なお、測定場所の環境は25.0±1.0°Cの範囲で行うこととした。

(2) 上腕周径の測定

筋肉の炎症状態を間接的に把握する目的で上腕周径を測定した。測定部位は、上腕の温度測定部位と同様の位置で、上腕周径を測定した。測定はメジャーを用いて行い、メジャーが緩んだり、ねじれていないことを確認の上、測定を行った。

(3) 筋肉痛の評価

筋肉痛の主観的評価として、背もたれのない椅子に坐位で肘関節0度の状態から、自動運動で動かせるところまで肘関節屈曲(求心性収縮)・伸展(遠心性収縮)させた際に生じる痛みの程度を総合的に判断してもらい、Visual Analogue Scale(VAS)で評価した。VASは左端(0mm)には「痛みなし」、右端(100mm)には「想像しうる最大の筋肉痛」と記載した。

(4) 疼痛誘発角度(ROM)の測定

疼痛誘発角度の測定としては、背もたれのない椅子に坐位で肘関節0度の状態から、自動運動で一番初めに痛みを生じる場所まで肘関節を伸展および屈曲した際の肘関節の角度を1度刻みで計測した。なお、測定時の関節を動かす速度は1度刻みで測定するため、極力ゆっくり(完全屈曲までは約5秒、完全伸展までは数秒)と測定することとした。また、痛みを生じない場合は、肘関節の完全屈曲時ならびに完全伸展時の角度とした。

(5) 痛覚閾値の変化

運動負荷を行った上腕二頭筋上の皮膚表面で、電気刺激による痛覚閾値をペインビジョン(ニプロ社製)にて測定を行った。測定は刺激用電極を上腕二頭筋の中央付近に装着し、ペインビジョンにて電気(50Hz, 0-150 μ Arms, パルス幅0.3ms)を徐々に流した際に、痛みを感じたら時にボタンを押してもらい、感覚のばらつきを考慮して3回の平均を痛覚閾値とした。

なお、全ての評価は、同一研究対象者内は、同一測定者が行うこととした。

予防方法

全ての研究対象者は、①コントロール群、②局所

(矩形波)群, ③遠隔(矩形波)群, ④遠隔(三角波)群の4つの群に各群6名づつにコンピューター(SAMPLESIZE V2.0, Blackwell Science Ltd, UK)を用いてランダムに割付けた。

①コントロール群

運動負荷のみを行い, 触診や予防などは行わないまま経過観察のみ行った。

②局所(矩形波)群

運動負荷を行った上腕二頭筋の中央部(肘関節中央から結節部を結ぶ線の中央で長頭側と短頭側の2ヵ所)に2本の鍼をおよそ30mm間隔で20mm刺入し, 3Hzの矩形波で15分間鍼通電刺激を行った。予防にはステンレス製40mm・20号ディスポーザブル鍼(セイリン株式会社製)を使用し, 鍼通電刺激装置はピコリナ(セイリン株式会社製)を用いた。

③遠隔(矩形波)群

研究対象者の前腕にあたる手三里一合谷に20mm刺入し, 3Hzの矩形波で15分間鍼通電刺激を行った。鍼および鍼通電器は, 局所(矩形波)群と同様のものを用いた。

④遠隔(三角波)群

遠隔(矩形波)群と同様の部位に対して, 同様の鍼および鍼通電器, 同様の手順にて20mm刺入し, 3Hzの三角波で15分間鍼通電刺激を行った。

なお, 鍼通電刺激に関しては, いずれもパルス幅は200msとし, 刺激強度に関しては筋肉が軽く収縮する程度とした。

研究デザイン

各群ともそれぞれ運動負荷前, 運動負荷直後, 運動負荷24時間後, 運動負荷48時間後, 運動負荷72時間後, 運動負荷168時間後の計6回, 上腕の皮膚温度, 上腕周径, 疼痛誘発角度(ROM)(疼痛誘発角度: 屈曲, 疼痛誘発角度: 伸展), 筋肉痛の評価(VAS), 痛覚閾値をそれぞれ測定した(図1)。なお, 鍼通電刺激に関しては, いずれの群も運動負荷開始直前に行った。また, 研究期間中は極力日常生活を保ってもらふこととし, 運動負荷した筋肉に対して, ケアなどは行わないことを指示した。

統計学的処理

測定値はすべて平均±標準偏差(mean±S.D.)で表記した。なお, 統計処理にはStatView ver. 5(SAS Institute Inc, NC)を使用し, 反復測定分散分析を行った後にDunnett testを用いて群内比較を行った。また, 群間比較には, 各群の経過全体を面積化したArea Under the Curve(以下AUC)を用い, Bonferroni testを用いて比較を行った。また, AUCの値は任意であることから, 単位をArbitrary Unit(以下AU)とした。なお, 有意水準は $p < 0.05$ とした。

III. 結果(表1)

(1) 上腕表面温度の変化

運動負荷を行った上腕の皮膚表面の温度を測定した結果, コントロール群のみ運動直後に有意な増加を示したが($p < 0.05$, Dunnett), その他の群間, 群内のいずれにおいても有意な差は認められなかった(図2)。

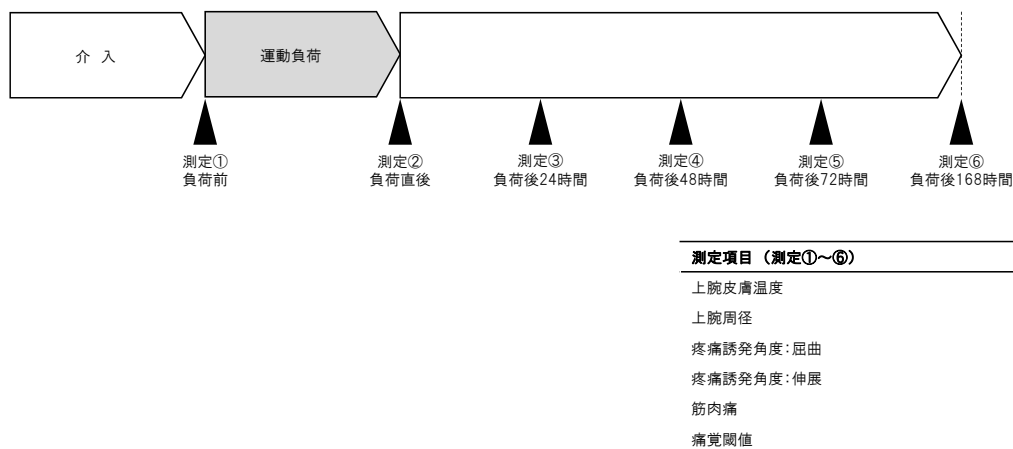


図1 研究プロトコール

図は研究プロトコールを示す。各群ともそれぞれ運動負荷前, 運動負荷直後, 運動負荷24時間後, 運動負荷48時間後, 運動負荷72時間後, 運動負荷168時間後の計6回, 上腕の皮膚温度, 上腕周径, 疼痛誘発角度(ROM), 筋肉痛の評価(VAS)をそれぞれ測定した。なお, 介入に関しては, いずれの群も運動負荷開始直前に行った。

(2) 上腕周径の変化

上腕周径では、いずれの群内比較においても有意な変化は認められなかったものの、どの群も全例で運動負荷直後に周径が増加した。統計的に有意ではなかったものの、局所(矩形波)群(2/6)と遠隔(三

角波)群(5/6)は初期値に±0.3mm以内に復する数値の変化が観測されたが、コントロール群(0/6)と遠隔(矩形波)群(0/6)では周径は増加が続く例が多かった(図3A)。

一方、経過全体を面積化したAUCの結果では、

表1 各評価項目の結果

	負荷前	負荷後	負荷後 24時間	負荷後 48時間	負荷後 72時間	負荷後 168時間	AU
上腕皮膚温度(°C)							
コントロール群	32.33±0.38	33.55±0.71 (p<0.05)	32.73±0.53	32.53±0.80	32.23±1.02	32.72±0.76	196.10±2.85
局所(矩形波)群	32.28±1.62	34.08±1.32	32.35±1.10	32.45±1.07	32.48±0.64	32.22±1.17	195.87±6.32
遠隔(矩形波)群	31.85±0.71	32.97±0.55	31.92±0.83	31.80±0.42	32.03±0.84	32.37±0.98	192.93±2.66
遠隔(三角波)群	32.47±1.21	34.10±0.80	32.48±1.02	32.60±0.54	31.90±1.39 (p<0.01)	32.52±1.23	196.07±5.33
上腕周径(cm)							
コントロール群	27.77±2.31	28.93±2.06	28.55±2.05	29.07±2.41	29.77±1.79	29.02±2.75	173.10±13.02
局所(矩形波)群	27.58±3.28	28.97±3.13	28.15±2.82	28.12±2.82	28.10±2.89	27.98±2.85	168.90±17.66
遠隔(矩形波)群	27.33±1.03	28.85±1.26	28.10±1.39	28.68±1.14	28.72±1.22	28.62±1.09	170.30±6.89
遠隔(三角波)群	25.88±2.01	26.67±2.27	26.02±2.20	26.20±1.99	26.43±2.11	26.15±2.00	157.35±12.51
疼痛誘発角度:屈曲(°)							
コントロール群	135.83±10.21	99.17±17.15 (p<0.01)	109.17±14.97 (p<0.01)	107.00±17.09 (p<0.01)	111.67±9.31 (p<0.05)	125.00±6.32	687.83±50.46
局所(矩形波)群	135.83±3.76	110.83±12.81 (p<0.01)	124.17±7.36	123.33±8.76	124.17±7.36	131.67±6.83	750.00±32.25
遠隔(矩形波)群	136.67±9.83	100.00±20.25 (p<0.01)	110.83±14.63 (p<0.05)	116.67±15.38	123.33±10.33	131.67±8.16	719.17±70.10
遠隔(三角波)群	138.33±8.76	106.67±19.41 (p<0.01)	114.17±9.17	118.33±7.53	113.33±22.73	126.67±4.08	717.50±26.79
疼痛誘発角度:伸展(°)							
コントロール群	3.33±6.06	-19.17±16.86	-20.83±19.85	-31.67±29.10 (p<0.05)	-31.67±29.10 (p<0.05)	0.00±10.00	-100.00±103.44
局所(矩形波)群	3.33±8.76	-0.83±6.65	-6.67±11.69	-5.00±5.48	-6.67±13.29	3.33±8.16	-12.50±38.83
遠隔(矩形波)群	4.17±4.92	-18.33±35.31	-25.00±22.14	-35.83±9.70 (p<0.01)	-20.00±17.32	-0.83±6.65	-95.83±73.85
遠隔(三角波)群	-0.83±2.04	-9.17±11.14	-14.17±9.70	-16.67±14.72	-20.83±19.85	-1.67±9.31	-63.33±42.50
筋肉痛(mm)							
コントロール群	0.50±1.22	10.17±16.28	34.17±22.20 (p<0.05)	49.17±24.00 (p<0.01)	51.00±29.53 (p<0.01)	7.83±8.54	152.83±71.77
局所(矩形波)群	3.83±7.52	21.83±20.05	43.33±28.51 (p<0.05)	43.33±33.82 (p<0.05)	42.83±23.74 (p<0.05)	3.00±3.79	158.17±105.23
遠隔(矩形波)群	1.67±3.20	19.00±14.11	43.50±24.27 (p<0.01)	65.83±12.67 (p<0.01)	38.67±18.50 (p<0.01)	4.50±6.12	173.17±66.77
遠隔(三角波)群	0.00±0.00	3.17±7.76	48.83±31.90 (p<0.01)	61.33±23.08 (p<0.01)	60.33±21.24 (p<0.01)	2.17±4.02	175.83±74.78
痛覚閾値(μA)							
コントロール群	11.82±3.28	14.68±4.45	9.97±2.86	11.25±3.80	9.87±3.16	15.27±4.29	72.86±11.48
局所(矩形波)群	11.74±5.50	15.94±9.12	12.21±6.22	10.94±2.29	14.55±5.10	11.43±7.87	76.80±30.22
遠隔(矩形波)群	10.48±3.16	10.61±2.47	9.97±1.74	11.43±3.05	12.47±2.80	11.47±2.29	66.44±10.90
遠隔(三角波)群	16.42±9.85	15.76±7.83	15.49±10.60	16.25±10.19	13.38±4.53	16.37±11.31	93.66±49.92

* : p=0.05, Bonferroni

** : p<0.05, Bonferroni

p-value . . . Area Under the Curve を用いた群間比較の p 値

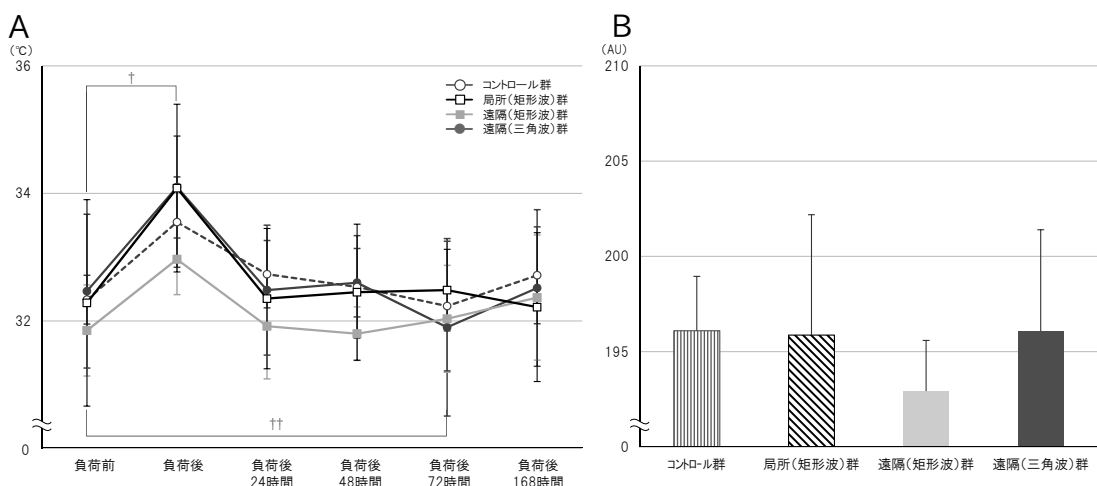


図2 上腕表面温度の変化

図は上腕皮膚温度の変化を示す。図のAは各群の経時的変化(群内比較), BはAの経時的変化を面積化したArea Under the Curveの結果(群間比較)を示す。

その結果、コントロール群のみ運動直後に有意な増加を示したが(p<0.05, Dunnett), その他の群内、群間のいずれにおいても有意な差は認められなかった。

† : p<0.05, Dunnett

コントロール群 173.1 ± 13.0 AU, 局所(矩形波)群 168.9 ± 17.7 AU, 遠隔(矩形波)群 170.3 ± 6.9 AU, 遠隔(三角波)群 157.4 ± 12.5 AU となり, 群間の比較において, コントロール群と遠隔(三角波)群の間に有意な傾向が認められた ($p=0.05$, Bonferroni: 図 3B).

(3) 疼痛誘発角度の変化

a. 屈曲角度

肘関節伸展時の疼痛誘発角度を測定したところ, どの群も運動負荷直後に角度が低下する傾向にあり, コントロール群では運動負荷 72 時間後まで有意な低下を示した ($p<0.05$, Dunnett). しかし, その他の群では運動負荷 24-48 時間後には初期値に復する傾向にあった (図 4A).

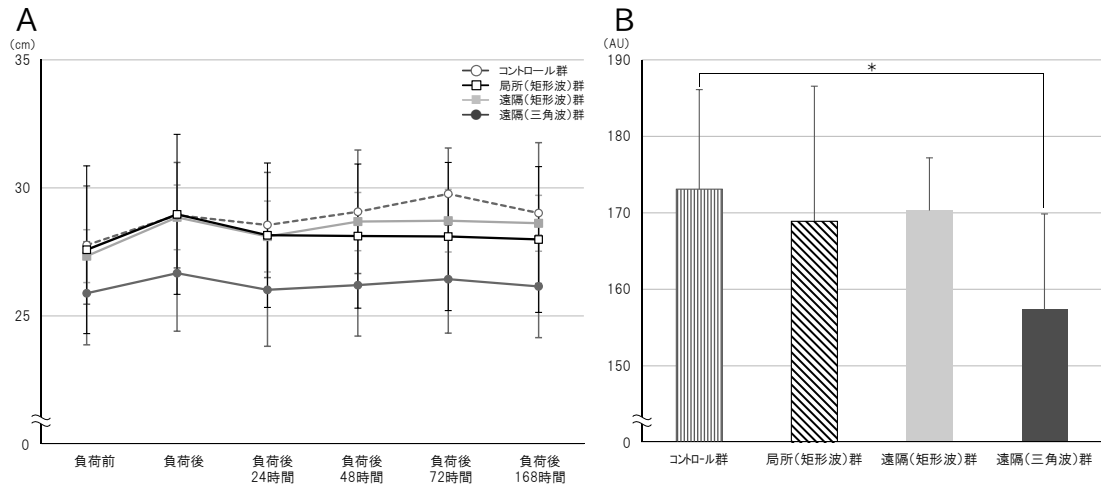


図 3 上腕周径の変化

図は上腕周径の変化を示す. 図の見方は図 2 と同様である.

上腕周径では, いずれの群内比較においても有意な変化は認められなかったものの, 群間比較ではコントロール群と遠隔(三角波)群の間に有意な傾向が認められた ($p=0.05$, Bonferroni).

* : $p=0.05$, Bonferroni

†† : $p<0.01$, Dunnett

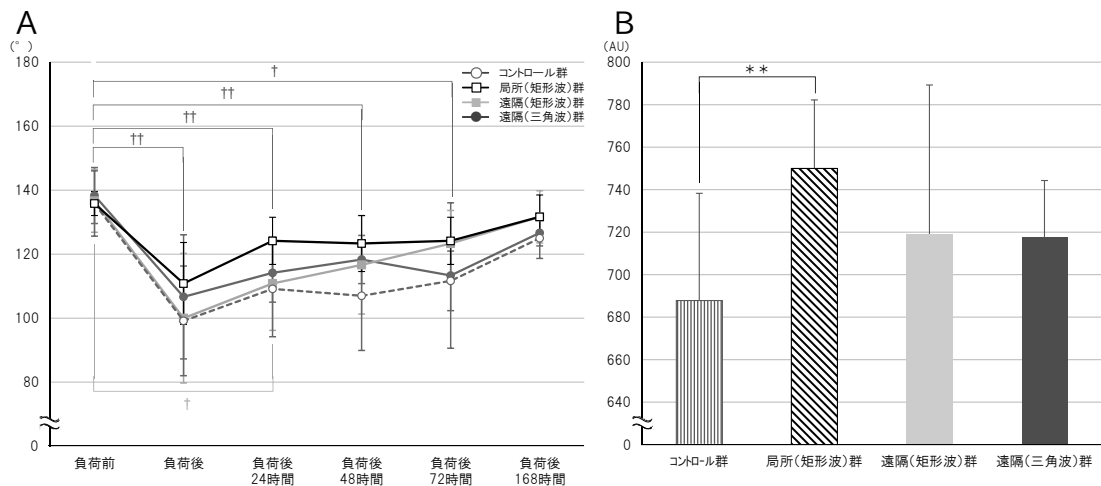


図 4 疼痛誘発角度 (屈曲) の変化

図は疼痛誘発角度 (屈曲) の変化を示す. 図の見方は図 2 と同様である.

疼痛誘発角度 (屈曲) は, 群内比較ではコントロール群で運動負荷 72 時間後まで有意な低下を示し ($p<0.05$, Dunnett), 群間比較ではコントロール群と局所(矩形波)群の間に有意な差が認められた ($p=0.03$, Bonferroni).

† : $p<0.05$, Dunnett

†† : $p<0.01$, Dunnett

** : $p<0.05$, Bonferroni

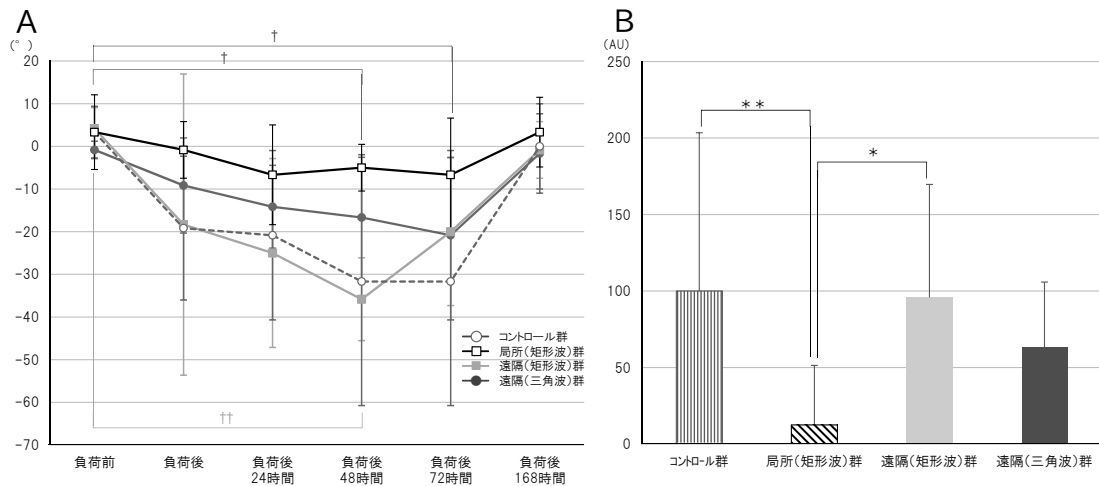


図5 疼痛誘発角度（伸展）の変化

図は疼痛誘発角度（伸展）の変化を示す。図の見方は図2と同様である。

疼痛誘発角度（伸展）は、群内比較では、コントロール群で運動負荷48-72時間後に有意な低下が認められ（ $p < 0.05$, Dunnett）、群内比較ではコントロール群と局所（矩形波）群（ $p = 0.04$, Bonferroni）と局所（矩形波）群と遠隔（矩形波）群（ $p = 0.05$, Bonferroni）の間に有意な傾向が認められた。

† : $p < 0.05$, Dunnett

* : $p = 0.05$, Bonferroni

** : $p < 0.05$, Bonferroni

一方、AUCの結果では、コントロール群 687.8 ± 50.5 AU、局所（矩形波）群 750.0 ± 32.3 AU、遠隔（矩形波）群 719.2 ± 70.1 AU、遠隔（三角波）群 717.5 ± 26.8 AU となり、コントロール群と局所（矩形波）群の間に有意な差が認められた（ $p = 0.03$, Bonferroni : 図4B）。

b. 伸展角度

運動負荷を行った肘関節伸展時の疼痛誘発角度を測定したところ、コントロール群では運動負荷48-72時間後に有意な低下が認められた（ $p < 0.05$, Dunnett）。しかしながら、局所（矩形波）群、遠隔（三角波）群、遠隔（矩形波）群では角度の有意な低下は認められなかった（図5A）。

一方、AUCでは、コントロール群 -100.0 ± 103.4 AU、局所（矩形波）群 -12.5 ± 38.8 AU、遠隔（矩形波）群 -95.8 ± 73.8 AU、遠隔（三角波）群 -63.3 ± 42.5 AU となり、コントロール群と局所（矩形波）群（ $p = 0.04$, Bonferroni）と局所（矩形波）群と遠隔（矩形波）群（ $p = 0.05$, Bonferroni）の間に有意な傾向が認められた（図5B）。

(4) 筋肉痛の変化

運動負荷を行った筋肉の痛みを測定したVASにおいては、各群の群内比較では、運動負荷24-72時間後に有意な増加が認められた（ $p < 0.01 \sim 0.05$, Dunnett）が、群間比較においては有意な変化は認

められなかった（図6）。

(5) 痛覚閾値の変化

痛覚閾値において、各群の群内比較および群間比較では有意な変化は認められなかった（図7）。

IV. 考察

1. 遅発性筋痛（DOMS）について

今回用いた伸張性収縮運動は、運動後数日経ってから起こる筋の痛み、いわゆる遅発性筋痛（DOMS）を誘発することが知られている^{1,2)}。この運動は等尺性収縮や短縮性収縮など他の運動よりも筋線維あたりに発生する張力は大きく、また筋損傷も強く起こることが知られている¹³⁾。今回の運動負荷においても、コントロール群では運動負荷直後から自覚的な筋痛が出現し、運動負荷3日後には最大となったことから、今回用いた伸張性収縮運動は簡便にDOMSを作成する負荷方法として有用であると考えられた。

他方、運動した筋肉の表面温度は運動直後に上昇した。筋肉の表面温度は運動負荷に応じて筋肉が熱産生することで上昇することが知られており、筋肉が正しく運動を行っているのかの指標となる¹³⁾。今回どの群でも運動直後に平均で $1.0 \sim 2.0^\circ\text{C}$ 程度上昇したことから、上腕二頭筋に適切な運動負荷が与えられていたものと考えられる。さらに、運動した上

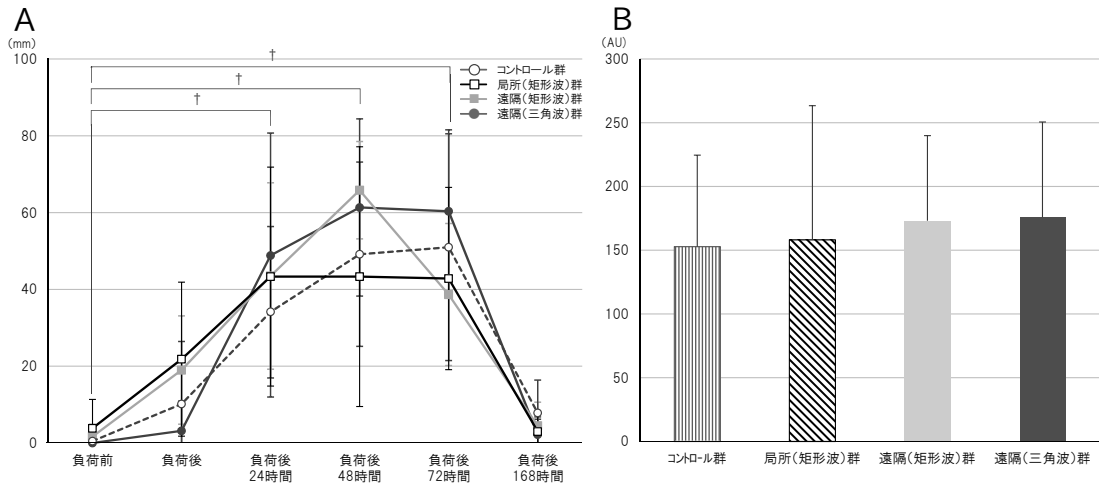


図6 筋肉痛の変化

図は筋肉痛の変化を示す。図の見方は図2と同様である。

運動負荷を行った筋肉の痛みを測定したVASにおいては、各群の群内比較では、運動負荷24-72時間後に有意な増加が認められた ($p < 0.01 \sim 0.05$, Dunnett) が、群間比較においては有意な変化は認められなかった。

† : $p < 0.05$, Dunnett

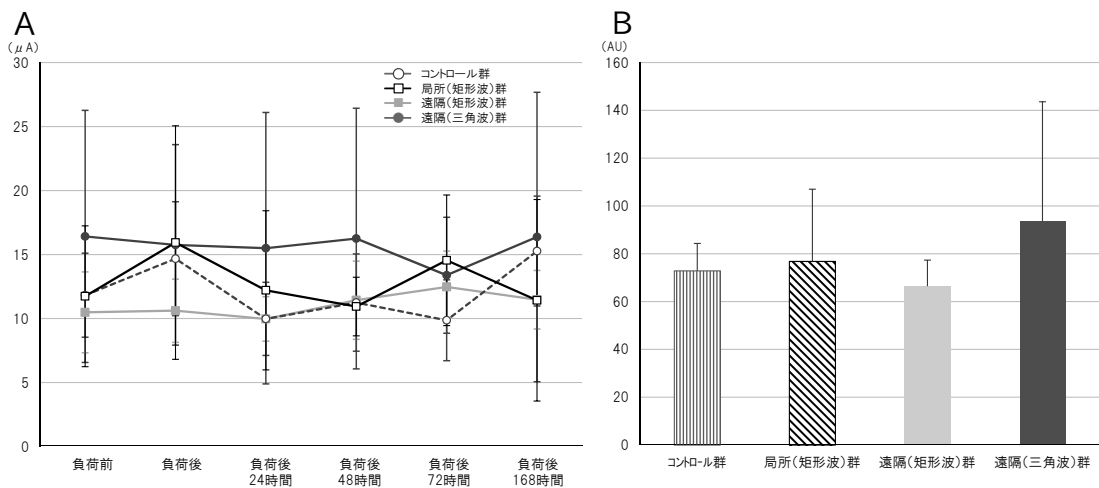


図7 痛覚閾値の変化

図は痛覚閾値の変化を示す。図の見方は図2と同様である。

痛覚閾値において、各群の群内比較および群間比較では有意な変化は認められなかった。

腕二頭筋の周径に関しても運動直後に最も増加した。周径が変化する理由に関しては、運動直後から数日は筋肉の炎症に伴うものと考えられている¹³⁾。今回、コントロール群では平均で10mm程度周径が増えていたことから、筋損傷が起こるような適切な運動ができていたものと考えられる。さらに、炎症は運動負荷に伴う筋損傷によるものであり、その1つに指標に肘関節の疼痛誘発可動域が知られている¹³⁾。今回は一般的な関節可動域測定とは異なり、疼痛の詳細な角度を調べるために1°刻みで測定を行ったが、肘関節疼痛誘発角度に関しては、屈曲・伸展共にコントロール群では運動負荷により関節可

動域は運動直後から20~30°ほど減少していたことから、筋拘縮や浮腫、さらには炎症に伴う疼痛が生じ、関節可動域が減少したものと考えられる。以上のことから、今回の運動負荷は、筋肉の損傷や炎症を伴う運動負荷であったことがわかる。

他方、近年遅発性筋痛が生じる理由に関しては様々な議論があり、ラットやマウスにおいて伸張性収縮がかかる下り坂走行をさせた後には、筋線維の断裂、Z帯の破壊、炎症性細胞の浸潤などの形態学的変化、血中クレアチニンキナーゼ (CK)、乳酸脱水酵素 (LDH) などの上昇が起こることが報告されていることから、これらに基づき遅発性筋痛の発

生機序には、乳酸説、筋スパズム説、筋・または結合繊維損傷説、炎症説、酵素流出説、酸化ストレス説などの仮説が唱えられてきた^{14,15)}。しかしながら、最近では運動前にシクロオキシゲナーゼ2阻害薬である消炎鎮痛薬を投与すると、遅発性筋痛は抑制されるが、運動後に投与した場合は無効であることから、炎症説には否定的な見解が多い¹⁶⁾。さらに、ブラジキニン B₂受容体の拮抗薬を運動前に投与した場合、遅発性筋痛の発生を抑制するが、運動後に投与した場合は無効であることを踏まえて考えると、遅発性筋痛の形成過程には、運動中から運動直後に生成されるプロスタグランジンやブラジキニンが関わっているが、遅発性筋痛の維持にはそれらは関わっていないと考えられる¹⁷⁾。

また、筋肉の痛みには主として細径神経受容器(A δ , C)で伝えられると考えられてきたが、A β などの太径神経をコンダクションブロックで遮断することで遅発性筋痛の痛みが増強するとの報告もあり、神経損傷後のアロディニアと同様に、遅発性筋痛にはA β 線維が重要な役割をしているとの報告も存在している¹⁸⁾。そのため、今回主観的な痛みに加えて、ペインビジョン(電気刺激)を用いてA β 線維を含めた皮膚表面の痛覚閾値を測定したところ、痛覚閾値は運動負荷後に若干低下したのみで、経時的に大きな変化はなかつた。Taguchiらは、運動負荷2日後で痛覚過敏状態となった筋の単一C線維受容器活動を取り出し標本にて調べたところ、機械反応閾値が低下し、同じ機械刺激に対する反応の大きさが2倍に増大していたことから、この機械痛覚過敏は細径線維上の機械刺激に対する反応性の増大が大きな役割を担っていると報告しており¹⁹⁾、A β 線維そのものの影響ではなく、細径線維の反応性増大に関する一過性の変化であるとしている。このことから、遅発性筋痛発現時の初期には、筋損傷により生成されるブラジキニンやプロスタグランジンなどが、筋肉だけでなく、皮膚表面の痛覚閾値に一過性に影響を与えた可能性はあるが、その後は皮膚表面の痛覚閾値に影響を与えないものと考えられた。

以上のことから、今回の運動負荷は筋損傷を伴うことで炎症を生じ、その結果痛みを生じたことから、遅発性筋痛モデルとして妥当であるが、主観的な痛みの変化に関しては上腕周径や角度など経時変化とは異なる変化を示したことから、筋損傷に伴う炎症と遅発性筋痛の痛みには関連性は低いと考えられた。また、A β などの太径線維の関与も、運動直後には影響を与えるのみであったことから、運動直後に皮膚表面の閾値を変化させる可能性があるもの

の、その後の痛みには大きな影響はないことが明らかとなった。

2. 運動前の鍼通電刺激が遅発性筋痛に与える影響

鍼治療はDOMSに対して予防効果や治療効果のある方法であると考えられており、多くのスポーツ選手が鍼治療を利用している⁶⁾。そのため鍼治療の有用性に関する臨床試験もいくつか行われてきたが、今のところ一定の見解を得ていない⁷⁻⁹⁾。その理由の1つとして鍼治療のタイミングや刺激方法などが論文により様々であり、どのような条件下で鍼治療を行うのが最も効果的であるのかという基本的な研究が行われていないことが挙げられる。

一方、スポーツ選手にとって重要な予防効果に関しては、運動で使われる筋肉の種類や活動様式によりDOMSの発現部位も異なるために、鍼治療の際にどのような部位にどのような刺激を行うべきか、明確になっていない。このことから鍼治療がより多くのスポーツ選手のコンディショニングに応用されるためには、DOMSに対する鍼刺激の特性を理解し、より効率的な治療条件を確立することが必要となる。そこで、今回はDOMSに対する鍼の予防効果に焦点をあて、運動負荷直前に鍼を行う意義について検討を行った。また、今回は刺激量を一定にする目的で鍼通電刺激を用いることとし、鍼通電刺激の刺激部位、ならびに鍼通電刺激の刺激波形で効果に差が認められるかを検討した。

今回、DOMSに伴って変化する様々な要因(主観的・客観的な痛み、温度、周径、関節可動域)について①コントロール群、②局所(矩形波)群、③遠隔(矩形波)群、④遠隔(三角波)群の4群で比較したところ、主観的・客観的な痛みや筋肉の温度に関しては4群に差は認められなかったが、上腕周径に関しては遠隔(三角波)群が、肘関節の角度に関しては局所(矩形波)群でコントロール群と比べて軽減する傾向が認められた。

上腕周径の増加は筋損傷に伴う炎症が原因であると考えられている¹³⁾。そのため、炎症の予防には筋損傷を防止するか、炎症を抑制することが求められるが、今回の場合は、全ての群で適切に伸張性収縮運動を行っているため、筋損傷が起こらないことは考えづらい。よって、上腕周径の変化は、鍼通電刺激により炎症が抑制されたものと考えられる。炎症に関しては鍼通電刺激により炎症が抑制されることが報告されており、その機序に中枢性と局所性の2つの機序が関与していると考えられている^{20,21)}。中枢性に関する研究では、関節炎の動物では脊髄後角の μ オピオイド受容体の発現が増加するが、低周

波通電により内因性オピオイドが賦活されると、脊髄後角の μ オピオイド受容体の発現が減少することが報告されている^{20,21}。Goffらは、炎症モデルにおける μ オピオイド受容体の増加について、末梢からの侵害刺激の入力が増加すると、脊髄レベルで抑制しようとするため受容体が増加すると考察している²²。そのため、鍼通電刺激などで μ オピオイド受容体の増加が抑制されるのは、鎮痛効果が得られた指標と考えることができる。なお、今回はいくつかの鍼通電刺激を行ったが、その中でも前腕に三角波鍼通電刺激を行ったものが最も上腕周径の増加を抑制した。一般的に、前腕は脳の感覚エリアが広いことから、脳へ強い影響を与えると考えられている²³。そのため、疼痛局所への鍼通電刺激よりも、前腕への鍼通電刺激の方が脳を介した鎮痛である下行性疼痛抑制系を賦活しやすいと考えられているため²³、前腕への鍼通電刺激がオピオイドを放出させた可能性が高い。さらに、下行性疼痛抑制系の賦活には、細径線維の興奮が必要不可欠であるが²³、今回用いた三角波は、極性を加味して直接神経電気刺激した場合、矩形波よりも細径神経を興奮させやすい可能性が報告されている^{12,24,25}。しかしながら、今回の刺激は交流刺激であるため極性がない上、神経の直接的な刺激ではない。そのため、今回の方法でどこまで細径線維を興奮させたかは明確ではないが、矩形波よりも上腕周径を抑制できたことを考えると、矩形波よりも細径線維が興奮していた可能性は否定できない。以上のことから、今回運動負荷に伴う上腕周径の増加が遠隔部への三角波鍼通電刺激により抑制されたのは、他の刺激よりも内因性オピオイドが放出され、炎症が抑制されたのではないかと考えられた。しかしながら、中枢性のオピオイドが放出されるにはある程度の時間経過が必要であるため、研究期間全体でコントロール群と比較して遠隔（三角波）群で周径が増加しなかったことに関しては中枢性のオピオイドで説明できるが、遠隔（三角波）群の群内比較では運動負荷24時間後でも周径の変化が認められなかったことから、中枢性以外にも局所性の炎症抑制も関与していた可能性は高い。実際に、炎症モデルを用いた動物実験では、鍼通電刺激は下行性疼痛抑制系の賦活だけでなく、末梢神経に存在する μ オピオイド受容体を介して引き起こされる局所性（末梢性）のオピオイド鎮痛が関与しているとの報告もある¹¹。以上のことより、運動直後で周径の増加が認められなかったのは、局所性のオピオイド放出が関与しているものと考えられた。

他方、前腕への三角波鍼通電刺激により炎症が抑

制されたにもかかわらず、主観的な痛みや客観的な痛みには変化が認められなかった。主観的な痛みである遅発性筋痛は、炎症の程度や経時的变化と関係ないとする報告が多く、炎症とは直接的な関連性は低いと考えられている^{13,15,26}。特に、遅発性筋痛発現時の初期には、筋損傷により生成されたブラジキニンやプロスタグランジンは筋肉や皮膚の閾値を変化させるきっかけとなるが、その後の痛みの持続には影響を与えない^{14,16,17}。今回は、どの群も伸張性収縮運動により筋肉を損傷させるような運動を行ったため、筋損傷が生じ、ブラジキニンやプロスタグランジンが放出されたものと考えられるため筋肉痛は生じたが、遠隔（三角波）群は刺激直後に局所にオピオイドが放出されたことにより、一時的に炎症を抑制したため、介入直後では遠隔（三角波）群で主観的な痛みが一番少なかったものの、その後は筋損傷によりブラジキニンなどが放出されたことにより、遅発性筋痛のきっかけができてしまったために、炎症は抑えられても痛みは他の群と同様に生じたものと考えられた。

最後に、肘関節の疼痛誘発角度に関しては、運動した筋肉に直接鍼通電刺激を行った局所（矩形波）群が他の群より改善を示した。疼痛誘発角度は筋肉の緊張や拘縮などの硬さの状態に変化するものと考えられている。筋緊張は、粘力と弾力からなり、粘力は血流量などで大きく変化するのに対し、弾性に関しては筋トーンで大きく変化する²⁷。両者ともに、筋肉を直接刺激する方が、治療した筋肉では筋血流量の増加^{28,29}、ならびに腱紡錘を介したIb抑制によって、また拮抗筋に対しては、相反抑制であるIa抑制によって筋緊張を緩和することが可能である²⁹。今回も、運動した上腕二頭筋に鍼通電刺激を行ったにもかかわらず、拮抗筋の疼痛誘発角度にまで影響を及ぼしたことから、局所の筋緊張緩和はIb抑制による筋緊張緩和よりも局所の血流改善による可能性が、また、拮抗筋に関してはIa抑制を介して筋緊張を緩和が起こったためと思われる。よって、疼痛誘発角度の改善には、ターゲットとなる筋肉に直接鍼通電刺激を行うことが良いと思われた。

以上のことから、遅発性筋痛の予防のようなスポーツ選手のコンディショニングとして鍼治療を用いることはとても効果的であり、スポーツによる炎症の抑制には前腕への三角波が、また可動域制限に関しては運動した筋肉に直接鍼通電刺激をすることが効果的であると考えられた。特に、スポーツではどのような筋肉に損傷を生じるかは、スポーツの種類だけでなく、その選手のフォームやポジションなど

により大きく異なる。よって、鍼治療をスポーツ選手のコンディショニングに用いる場合は、ターゲットとなる筋肉が明確ではないことから、上肢へ三角波を流すことで、炎症を防止することが最も効率的な予防法になると考えられた。

しかしながら、筋肉痛に関しては今回の刺激方法では、軽減は認められなかった。そのため、今後は刺激時間や刺激のタイミング、周波数など、鍼通電刺激の条件を変えることで、詳細に検討していく必要があると考えられた。また、本研究は鍼灸学部の学生を対象とした研究であり、鍼治療に関する期待度も大きいと思われる。そのため、今回の結果を一般化するためには sham 治療を用いたプラセボ効果に関する検討、さらには鍼灸学部の学生以外での検討が必要であると考えられる。

V. 結語

今回スポーツ選手のコンディショニングに応用する目的で、遅発性筋痛に対する鍼通電刺激の予防効果を検討した。

その結果、運動前に行った鍼通電刺激は、筋肉痛そのものには影響しないが、遠隔（前腕）に行った三角波鍼通電刺激では、運動負荷に伴う上腕周径の増加を抑制したとともに、局所（運動負荷筋）に行った矩形波鍼通電刺激では、運動負荷に伴う疼痛誘発角度の増加を抑制することができた。

以上のことから、鍼通電刺激を行う部位や波形により、運動負荷に伴う炎症や疼痛誘発角度を抑制できる可能性がある。

謝辞：稿を終えるにあたり、本研究の遂行にご助言を賜りました明治国際医療大学鍼灸学部山崎翼講師、吉田行宏講師、木村啓作講師、伊藤和憲教授に深く感謝します。また、多大なるご協力いただきました山崎万代先生、梶谷聖先生にも深謝申し上げます。

文献

1. Jones DA, Newham DJ, Torgan C: Mechanical influences on long-lasting human muscle fatigue and delayed-onset pain. *J Physiol*, 421: 415-427, 1989.
2. Jones DA, Newham DJ, Obletter G, et al.: Nature of exercise-induced muscle pain. *Adv Pain Res Ther*, 10: 207-218, 1987.
3. Barlas P, Craig JA, Robinson J, et al.: Managing delayed-onset muscle soreness: Lack of effect of selected oral systemic analgesics. *Arch Phys Med Rehabil*, 81: 966-972, 2000.
4. Craing JA, Bradley J, Walsh DM, et al.: Delayed onset muscle soreness: Lack of effect of therapeutic ultrasound in humans. *Arch Phys Med Rehabil*, 80: 318-323, 1999.
5. Smith LL, Keating MN, Holbert D, et al.: The effects of athletic massage on delayed onset muscle soreness, creatine kinase, and neutrophil count: A preliminary report. *JOSPT*, 19: 93-99, 1994.
6. 森山朝正：リコンディショニングとコンディショニングに応用する鍼の役割. *臨床スポーツ医学*, 17: 1051-1062, 2000.
7. Barlas P, Robinson J, Allen J, et al.: Lack of effect of acupuncture upon signs and symptoms of delayed onset muscle soreness. *Clin Physiol*, 20: 449-456, 2000.
8. Lin J-M, Yang S-H: Effects of acupuncture on exercise-induced muscle soreness and serum creatine kinase activity. *Am J Chinese Med*, 27: 299-305, 1999.
9. 寺田和史, 向井直樹, 宮本俊和ら：エキセントリック運動により生じた DOMS に対する鍼刺激の効果. *体力医学*, 50: 583-592, 2001.
10. 伊藤和憲, 河本真, 藤原仁美ら：遅発性筋痛に対する鍼治療の予防効果 圧痛点治療の有用性に関する比較試験. *明治鍼灸医学*, 37: 11-17, 2005.
11. 村上晋介, 関戸玲奈, 石丸圭荘ら：フロイント完全アジュバントにより引き起こされた炎症性痛覚過敏に対する鍼通電の効果について. *明治鍼灸医学*, 32: 37-48, 2003.
12. Accornero N, Bini G, Lenzi GL, et al.: Selective activation of peripheral nerve fibre groups of different diameter by triangular shaped stimulus pulses. *J Physiol*, 235: 539-560, 1977.
13. Armstrong RB: Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. *Med Sci Sports Exerc*, 16(6): 529-538, 1984.
14. 水村和枝：筋性疼痛のメカニズムはどこまでわかってきたのか. *医学のあゆみ*, 223(9): 731-735, 2007.
15. Mizumura K, Taguchi T: Delayed onset muscle soreness: Involvement of neurotrophic factors. *J Physiol Sci*, 66: 43-52, 2016.
16. Murase S, Terazawa E, Hirate K, et al.: Upregulated glial cell line-derived neurotrophic factor through cyclooxygenase-2 activation in the muscle is required

- for mechanical hyperalgesia after exercise in rats. *J Physiol*, 591: 3035-3048, 2013.
17. Murase S, Terazawa E, Queme F, et al.: Bradykinin and Nerve Growth Factor Play Pivotal Roles in Muscular Mechanical Hyperalgesia after Exercise (Delayed-Onset Muscle Soreness). *J Neurosci*, 30(10): 3752-3761, 2010.
 18. Weeraklcody NS, Whitehead NP, Canny BJ, et al.: Large-fiber mechanoreceptors contribute to muscle soreness after eccentric exercise. *J Pain*, 2: 209-219, 2001.
 19. Taguchi T, Matsuda T, Tamura R, et al.: Muscular mechanical hyperalgesia revealed by behavioural pain test and c-Fos expression in the spinal dorsal horn after eccentric contraction in rats. *J Physiol*, 564(Pt 1): 259-268, 2005.
 20. Kim HW, Roh DH, Yoon SY, et al.: The anti-inflammatory effects of low- and high-frequency electroacupuncture are mediated by peripheral opioids in a mouse air pouch inflammation model. *J Altern Complement Med*, 12(1): 39-44, 2006.
 21. 池本英志, 砂川正隆, 片平治人ら: 内因性オピオイド系を介した慢性炎症性疼痛に対する低周波経皮的神経電気刺激 (TENS) の鎮痛作用. *昭和学士会誌*, 75(2): 213-221, 2015.
 22. Goff JR, Burkey AR, Goff DJ, et al.: Reorganization of the spinal dorsal horn in models of chronic pain: correlation with behaviour. *Neuroscience*, 82(2): 559-574, 1998.
 23. 伊藤和憲: 痛みの機序を踏まえた治療. *理療*, 49(2): 3-12, 2019.
 24. 川喜田健司, 船越正也: 鍼麻醉における Polymodal receptor の役割. *自律神経*, 27(2-3): 317-321, 1980.
 25. Okada K, Oshima M, Kawakita K: Examination of the afferent fiber responsible for the suppression of jaw-opening reflex in heat, cold, and manual acupuncture stimulation in rats. *Brain Res*, 740(1-2): 201-207, 1996.
 26. Rodenburg JB, Bar PR, De Boer R: Relationship between muscle soreness and biochemical and functional outcomes of eccentric exercise. *J Appl Physiol*, 74: 2976-2983, 1993.
 27. Simons DG, Mense S: Understanding and measurement of muscle tone as related to clinical muscle pain. *Pain*, 75(1): 1-17, 1998.
 28. 宮本俊和, 濱田淳, 和田恒彦ら: 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. *日本東洋医学誌*, 54(5): 939-994, 2003.
 29. 太田喜穂子, 矢野忠: 頸肩部の筋緊張に対する鍼刺激の効果. 筋硬度, 深部血液量および筋電図を指標として. *日温気*, 68(2): 122-133, 2005.

Influence of different stimulating conditions of electro-acupuncture stimulation on the prevention of delayed-onset muscle soreness

Keiji Wakamiya

Graduate School of Acupuncture and Moxibustion, Meiji University of Integrative Medicine

Abstract

Purpose: We therefore examined whether acupuncture stimulation prior to the induction of delayed-onset muscle soreness (DOMS) in the flexor muscle of the upper limb is effective, using different needle positions and waveforms of electro-acupuncture stimulation (EAS).

Methods: Twenty-four healthy subjects (23.17 ± 3.06 years old: mean \pm S.D.) participated in this study and provided informed consent. The biceps muscle was chosen to produce the exercise load; therefore, after EAS, the subjects performed 3 sets of stretching/contraction exercises of the flexor muscle of the upper limb until failure. Before performing the DOMS-inducing exercise, the subjects were randomly assigned to one of four groups. The Control group had no EAS before exercise. The Local group received EAS (square-wave signal) on the biceps muscle. The Distant groups received EAS on the forearm (between LI10 and LI4 acupuncture points), either as a square-wave signal or as a triangle-wave signal. The three groups received 15 minutes of EAS at 3 Hz. Evaluation of DOMS was made by the subjective extent of pain using the visual analogue scale (VAS), objective extent of pain by Pain Vision, angle of the elbow joint during its flexion/extension at which there is pain induced in the upper arm (a measure of muscle pain), and surface temperature at the centre of the front face of the upper arm and the circumference of the upper arm (measures of inflammation). These items were all measured prior to exercise, after exercise, as well as 24, 48, 72 and 168 hours after exercise.

Results: The VAS value increased in the control group immediately after the exercise, reaching a maximum level 72 hours later and disappearing 168 hours after the exercise. Although there were no differences over time between the groups regarding the objective extent of pain, there were significant differences in the angle of elbow joint between the Control group and the Local (square wave) group ($p = 0.04$).

Discussion: Since the triangle wave, which is a stimulatory waveform, may release endogenous opioids through selective stimulation of small nerve fibres, muscle tone could have changed by suppressing inflammation. In the case of direct application of a square wave signal, the local blood flow and muscle tone could have been changed.