原 著

伸張性収縮運動負荷による トリガーポイントモデル作成の試み

伊藤 和憲 岡田 薫 川喜田健司
明治鍼灸大学 生理学教室

Examination of an Eccentric Contraction-induced Trigger Point Model Using Human Subjects

Kazunori ITOH Kaoru OKADA Kenji KAWAKITA
Department of Physiology, Meiji University of Oriental Medicine

Abstract

The nature of an experimental trigger point model produced by eccentric exercise was examined in seven healthy volunteers who gave their informed consent. Adjustable loads were set around the third finger and the subjects were asked to keep the position as long as possible. The loadings (about 10s) were continued until his all-out effort and were carried out 3 times interspersed with 5 min rest periods. Pressure pain thresholds (PPT) and deep pain thresholds (DPT) before exercise, and on the 2nd and 7th day after the exercise, were measured in the skin, fascia and muscles. On the 2nd day after the exercise, the PPT of the restricted area of the taut band was the minimum. A similar reduction of the DPT was observed only in the fascia of the restricted area. These results suggest that the present experimental model is useful for the further investigation of trigger points.

Key words: tender point, acupuncture point, trigger point, delayed onset muscle soreness

I. はじめに

圧痛点は現代医学のなかで診断点や治療点として用いられ、実験的にも他の部位に比べて効果が高いことが報告されている¹⁾。最近では筋筋膜性疼痛症候群や線維性筋痛症候群などの筋痛疾患において、圧痛点の臨床的有用性に関する研究が盛んに行われている^{2,3)}。一方、鍼灸医学においても圧痛点は阿是穴として古くから使われているほか、圧痛点の中でも筋筋膜性疼痛症候群に特徴的なトリガーポイントの出現部位は、経穴と高い確率で一致することが報告されており、ツボとの関連性が注目されている⁴⁾。

トリガーポイントは圧痛点の一種であるが、単なる圧痛点とは異なり索状硬結上に限局して圧痛閾値低下部位が出現し、その部位の圧迫により典型的な関連痛やジャンプサインと呼ばれる逃避反射が誘発される特徴的な部位である²⁾。またこれらの特徴はツボでいう経絡現象などの特徴ときわめて類似しており、トリガーポイントは単なる圧痛点よりもツボに近い存在であるように思われる。そこで今回、伸張性収縮運動負荷による遅発性筋痛モデルを用いて実験的に圧痛点を作成し、その特徴を詳細に検討することからトリガーポイントモデルとしての妥当性を検討した。

II. 方法

1. 圧痛点の作成方法

実験には実験の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康成人 (n=7、年齢: 23-47歳、性別; 男5名、女2名) を用いた。まず被験者は中指だけが自由に可動できるように作成した専用固定台に負荷側の手を固定し、移動式のおもり (総重量475g、長さ28.5 cm) を中指に装着した。負荷量はおもりの位置を変えることで調節し、中指安静位0度 (水平位) から伸展20度 (前方下垂位) の範囲に10秒間程度おもりが保持出来る条件とした。

運動負荷方法は、実験者が水平位まで被験者の中指を持ち上げて手を離し、そのおもりの重さに耐えながら被験者は中指を伸展する伸張性収縮運動をall outまで繰り返し行った。このall outまでの運動負荷を1セットとし、5分間の休憩をはさみ計3セット行った。なお、運動負荷中は目的筋とその周囲の伸筋の筋電図をモニターし、目的筋以外の筋が著しく代償し始めた場合はall outとした。

2. 測定項目

(1) 圧痛閾値の測定

圧痛閾値は指頭圧痛計を用いて測定した⁵⁾。指頭圧痛計のセンサーは測定部分が厚さ1mmで直径6mm (HV-2-556, SYOWA) のものを用い、測定値の表示、記録にはひずみ測定器 (SMD-10A, KYOWA) を用いた。測定部位は総指伸筋上で最も圧痛閾値が低い部位を探して3回測定し、その中で最も低い値を代表値として用いた。測定値は任意の単位 (AU: 任意単位) として表現した。なお、550AUは約1000gに相当する⁵⁾。

(2) 各組織における深部痛覚閾値の測定

皮膚、筋膜、筋肉の各組織における痛覚閾値 (深部痛覚閾値) は、測定部分に絶縁鍼灸針 (直径180 μ m、先端直径1 μ m、日進医療器株式会社) を刺入し、パルスアルゴメーター (UPA 100, Unique Medical社) を用いて測定した⁶⁾。電気刺激の条件は漸増電流パルス (期間1ms、矩形波、間隔2ms、2Hz、トレインパルス3、最大強度2mA) を流し、痛みを感じた時の電流量を各組

織の痛覚閾値として記録した。各組織の同定は、予め超音波エコー装置 (LOGIQ™400, GE Medical Systems) により測定した各組織までの距離と各組織を刺激した時に生じる特有な感覚⁶⁾を参考にしながら行い、鍼を0.5mmずつ刺入することで皮膚、筋膜、筋肉の3カ所で測定した。また同時に深部痛覚閾値測定時の刺激感覚や関連痛の有無を口頭で答えてもらった。

1つの組織で複数回測定を行った場合は、その中央値を代表値として用いた。

3. 実験のデザイン

実験はクロスオーバーデザインを用い、被験者は次の3つの実験にランダムに参加した。

①運動負荷実験

運動負荷を行う前に総指伸筋上の圧痛閾値低下部位を触察し、その圧痛閾値と深部痛覚閾値を測定した。その後運動負荷を行い出現した圧痛閾値低下部位に対し、運動負荷直後、運動負荷1-4及び7日後に圧痛閾値を、また運動負荷前、運動負荷2日、7日後に深部痛覚閾値を測定した。

②対照実験

総指伸筋上の圧痛閾値低下部位を探し、運動負荷群と同じく経時的に圧痛閾値と深部痛覚閾値を測定した。

③圧痛点及びその周囲の深部痛覚閾値の測定

運動負荷2日、7日後に最も圧痛閾値が低下している部位 (圧痛点) とその上下左右10mm離れた部位で圧痛閾値と深部痛覚閾値を測定した。なお、圧痛閾値や深部痛覚閾値の各組織における測定順序は、順序効果を避けるためにランダムに測定を行った。

4. 結果の表記および統計検定の方法

測定値はすべて平均値 $\pm$ 標準偏差 (mean $\pm$ S.D.) で表記した。また、統計処理にはYukms ver 5 (Yukms社) を使用し、圧痛閾値や深部痛覚閾値の経時的変化の解析にはWilcoxon Sign法の両側検定を、圧痛閾値低下部位とその周囲における圧痛閾値や深部痛覚閾値の統計解析にはノンパラメトリックのTukey法による多重比較検定を行った。

Ⅲ. 結果

(1) 圧痛点の作成ならびにその経時的変化の観察

圧痛点作成のために行った運動負荷回数は、どの被験者も1セット20回前後で、合計の運動回数は60回前後であった。また、この運動負荷を行った7人すべてで肘関節の末梢側約50mmの総指伸筋上に圧痛点が出現した。

作成した圧痛点の圧痛閾値は運動負荷前に比べて、運動負荷2日後には有意に低下し ($p < 0.01$)、運動負荷7日後には元の値まで回復した (図1上段、表1)。一方、圧痛点における各組織の痛覚閾値は、皮膚と筋肉では運動負荷による経時的変化は殆ど認められず、統計学的にも運動負荷前と運動負荷2日後では有意な差は見られなかった (図1下段、表1)。しかし、筋膜の痛覚閾値だけは運動負荷前に比べ有意に低下し ($p < 0.05$)、運動負荷7日後には元の値まで回復

し圧痛閾値と類似した変化を示した。

また深部痛覚閾値測定時に誘発される痛み感覚は、皮膚では測定期間中ほとんど変わらず限局した表面の鋭い感覚であった。しかし、筋膜と筋肉では圧痛閾値が最も低下する運動負荷2日後で痛みの質が変化し、筋膜では広範囲に生じる重だるい感覚からさらに重だるい感覚や鋭い灼熱痛に、筋肉では通電により生じる筋肉が引っ張られるような感覚から筋膜様の重だるい感覚に変化する傾向にあった。

一方、運動負荷2日後に圧痛点の筋膜部分に深部痛覚閾値記録用の電極が刺入されただけで、手首から中指にかけて響き感覚に似た重だるい痛みを生じる例が2例存在した。また電極が筋膜部分に刺入されただけでは関連痛を生じない例でも、深部痛覚閾値の測定時に電気刺激を与えることにより関連痛を生じる例が3例存在し

図1 運動負荷実験群の圧痛閾値と各組織の深部痛覚閾値の変化

上段:圧痛点の圧痛閾値の経時的変化を示し、下段:運動負荷前、運動負荷2日後、7日後の皮膚、筋膜、筋肉における各組織の深部痛覚閾値 (mean±S.D.,n=7)を示す。なお、各組織の深部痛覚閾値に対する統計は、各組織ごとに運動負荷前と運動負荷2日後で行ったものである。

前:運動負荷前、後:運動負荷直後、数字:運動負荷後の日数、*: $p < 0.05$ を示す。

図2 電気刺激により誘発された関連痛の分布

総指伸筋上に出現した圧痛閾値低下部(●)の筋膜部分を電気刺激したときに出現する関連痛の分布を示す。中指(斜線部)に関連痛を感じる例が最も多かったが、手全体から前腕尺側(点部)にかけて関連痛を感じる例も存在した。

図3 対照実験群の圧痛閾値と各組織の深部痛覚閾値の変化

対照実験群における圧痛閾値低下部位の圧痛閾値の経時的変化と各組織の深部痛覚閾値 (mean±S.D., n=7)。表記は図1と同じ。

表 1

【圧痛点の経時的変化】

		負荷前	2日後	7日後
圧痛閾値(AU)	負荷群	972±436	274±140 **	979±359
	対照群	901±191	979±147	882±181
皮膚(mA)	負荷群	1.24±0.51	1.04±0.41	1.38±0.26
	対照群	1.02±0.26	1.12±0.29	0.92±0.33
筋膜(mA)	負荷群	0.99±0.49	0.37±0.23 *	1.08±0.36
	対照群	0.68±0.43	0.85±0.33	0.83±0.40
筋肉(mA)	負荷群	1.38±0.50	1.61±0.34	1.76±0.23
	対照群	1.35±0.50	1.48±0.47	1.60±0.51

mean±S.D.

た。関連痛はどちらの場合も中指から手関節にかけて生じる例が多かったが、手全体や前腕尺側に関連痛を訴える例も存在した（図2）。

(2) 対照実験

対照実験を行った7人すべてにおいて圧痛閾値の経時的変化は殆どなく、ほぼ一定の値であった（図3上段、表1）。一方、組織ごとの痛覚閾値の経時的な変化も、圧痛閾値の経時的変化と同様に殆ど変化なくほぼ一定であった（図3下段、表1）。

また、その深部痛覚閾値測定時に誘発される痛み感覚は運動負荷前とほぼ同様の感覚であり、その傾向は測定期間中殆ど変わらなかった。

(3) 圧痛点及びその周囲の深部痛覚閾値の測定

圧痛閾値が最も低下する運動負荷2日後には、総指伸筋上に索状硬結が出現し、その索状硬結は長さ33.00±1.86mm、幅4.43±0.57mmであった。索状硬結上には圧痛閾値が特に低下しているポイント（圧痛点）が存在し、圧痛点は周囲の4箇所比べて有意に圧痛閾値が低下していた（ $p<0.01$ ）（図4右上段、表2）。一方、圧痛点出現時のそれぞれの部位における各組織の痛覚閾値は、皮膚、筋肉では圧痛点とその周囲で有意な差はなくほぼ一定だった。しかし、筋膜では圧痛閾値同様、圧痛点直下の筋膜の痛覚閾

値のみが有意に低下していた（ $p<0.05$ ）（図4下段、表2）。

一方、運動負荷7日後になると、運動負荷2日後に存在していた索状硬結はなくなるか、または小さくなる傾向にあった。また運動負荷2日後に生じていた圧痛点とその周囲における圧痛閾値や各組織の深部痛覚閾値の差は殆どなくなり（図5右上段、表3）、圧痛点の局所的な閾値低下は周囲と同じ位まで回復した（図5下段、表3）。

IV. 考察

1. 作成した圧痛点について

今回用いた伸張性収縮運動は、運動してから数日して起こる筋の痛み、いわゆる遅発性筋痛（DOMS：delayed onset muscle soreness）を誘発することが知られている。三浦らは⁷⁾この伸張性収縮運動を行って実験的にDOMSモデルを大腿四頭筋に作成したとき、大腿前面に自発痛が生じる一方、同時にいくつかの圧痛点が出現することを報告している。圧痛点の発現には、過度の筋使用や阻血状態での持続的収縮などによる筋細胞膜の損傷が一つの要因であると考えられている⁸⁾。今回行った伸張性収縮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

表 2

【運動負荷2日後の各部位における閾値変化】

	中央(圧痛点)	末梢側10mm	内側10mm	中枢側10mm	外側10mm
圧痛閾値(AU)	296±79	534±150	839±361	561±173	775±274
皮膚(mA)	0.81±0.27	0.65±0.27	0.76±0.46	0.85±0.43	0.83±0.35
筋膜(mA)	0.45±0.20	0.45±0.20	0.82±0.50	0.72±0.36	0.79±0.15
筋肉(mA)	1.26±0.34	1.38±0.51	1.28±0.50	1.38±0.32	1.40±0.44

(mean±S.D.)

表 3

【運動負荷7日後の各部位における閾値変化】

	中央(圧痛点)	末梢側10mm	内側10mm	中枢側10mm	外側10mm
圧痛閾値(AU)	994±314	982±290	973±333	1057±430	1345±461
皮膚(mA)	1.13±0.43	0.81±0.23	1.01±0.64	0.83±0.26	1.00±0.33
筋膜(mA)	0.83±0.42	0.73±0.55	0.80±0.59	0.80±0.67	0.82±0.54
筋肉(mA)	1.41±0.58	1.32±0.54	1.29±0.52	1.45±0.55	1.73±0.32

(mean±S.D.)

は大きく、また筋損傷も強く起こるとされている⁹⁾。このことから、今回使用した伸張性収縮運動は簡便に圧痛点を作成する運動負荷方法として有用であると考えられる。

今回作成したモデルでは圧痛閾値低下部位が索状硬結上に限局して出現し、その部位に記録電極を刺入したり、電気刺激すると多くの例で関連痛が出現した。これらの現象はトリガーポイントで見られる特徴ときわめて類似している²⁾。今回の実験ではトリガーポイントのすべての特徴に関して検討を行ったわけではないが、索状硬結上に圧痛閾値低下部位が限局して出現し、その部位を刺激して関連痛が誘発されることは、トリガーポイ

ントと見なす重要な根拠になりうると考えられる¹⁰⁾。また深部痛覚閾値測定時に関連痛が誘発されなかった場合でも、痛覚閾値以上の強い刺激を与えることで関連痛が誘発されることを別の実験で確認している。以上のことから今回作成した圧痛点はトリガーポイントとしての特徴を兼ね備えており、本モデルはトリガーポイントモデルとして有用であると考えられた。

2. 圧痛閾値低下の原因

今回作成したトリガーポイントの圧痛閾値は運動負荷2日後に最も低下し、その変化は筋膜の痛覚閾値の変化とほぼ一致していた。このことから

今回作成したモデルはDOMSによる一過性のモデルであり、トリガーポイントの圧痛閾値低下は筋膜の痛覚閾値低下による可能性が強く示唆された。

痛覚閾値の低下した原因として、プロスタグランジン E_2 (PGE_2) の発現とDOMSの時期が一致することから¹¹⁾、筋損傷により炎症物質が遊離され、痛覚受容器が感作されたためと考えられている¹²⁾。痛覚受容器には様々なものがあるが、炎症物質により痛覚受容器が感作されるという点から考えるとポリモーダル受容器の関与が示唆される。この受容器は炎症時に産生されるブラジキニンなどの発痛物質に反応する他、プロスタグランジンなどにより感作することが報告されている¹³⁾。運動負荷により組織が損傷され局所炎症が起こると、その部位に分布するポリモーダル受容器が感作され、その結果通常痛みを伴わないような圧刺激に対しても痛みを訴える圧痛閾値低下部位が形成される

と考えられている¹⁴⁾。一方、痛覚受容器であるポリモーダル受容器は、筋膜だけでなく皮膚や筋肉内にも広く存在することが知られているが、今回の結果では筋膜の痛覚閾値だけが低下した。筋膜の痛覚閾値は皮膚や筋に比べてもともと痛覚閾値が低いことが報告されており⁶⁾、今回の結果でも運動負荷前及び対照群において、筋膜の痛覚閾値は他の組織に比べ一番低かった。筋膜にはポリモーダル受容器をはじめとする痛覚受容器の分布密度が高い可能性が示唆されており¹⁵⁾、そのために筋損傷により生じた発痛物質で感作される痛覚受容器も他の組織に比べて多く、筋膜の痛覚閾値が著明に低下した可能性が考えられる。

しかし近年、ラットの筋に発痛物質であるブラジキニンを注入すると脊髄の収束ニューロンに新しい筋の受容野が出現したり¹⁶⁾、ラットの下肢に急性炎症を起こすとそれまで反応が記録できな

図4 運動負荷2日後の圧痛閾値低下部位及びその周囲における圧痛閾値と深部痛覚閾値の変化

左上段:測定した部位 (●) の模式図を示す。圧痛部位と1cm離れた4ヶ所測定した。右上段:模式図に示したそれぞれの測定部位の圧痛閾値。下段:同部位の各組織の深部痛覚閾値 (mean±S.D.,n=7)。

った脊髄分節の後角から筋刺激に対する反応が得られたという報告は¹⁷⁾、中枢における痛覚感受性の可塑性を示唆している。今回作成したモデルも運動負荷による筋損傷で導かれた筋肉の炎症により中枢の可塑的变化を引き起こし、痛覚閾値の低下を導きトリガーポイントが出現した可能性も否定できない。しかし、トリガーポイントが極めて局在して出現したことや運動負荷7日後には元に戻ることから、その可能性は極めて低いと考えられる。

3. トリガーポイントとツボの関係

トリガーポイントのような圧痛閾値低下部位は昔から阿是穴とも呼ばれ、経穴の一つとして重視されてきた¹⁴⁾。また筋筋膜性疼痛症候群の患者に出現するトリガーポイントは経穴と71%の高い一致率があったという報告がある⁴⁾。

一方、ツボを特徴づけるものとして、ツボを刺激したときに得られる得気感覚やある種の感覚が経絡に沿って伝播する循経感伝現象などの存在が知られている。今回の実験でもトリガーポイントの筋膜を刺激したとき重だるい得気に似た感覚を生じ、その感覚は圧痛閾値が低下するとともに強くなる傾向にあった。また部分的に経絡と一致した関連痛が誘発される例もあった。

このようにツボとトリガーポイントはかなりの類似性があり、今回作成したモデルを利用してトリガーポイントを詳細に研究していくことは、鍼灸医学における診断・治療部位としてのツボの解明に大いに役立つものと思われる。

V. 結語

今回我々は中指を選択的に伸張性収縮運動させることによりトリガーポイントモデルを作成した。

図5 運動負荷7日後の圧痛閾値低下部位及びその周囲における圧痛閾値と深部痛覚閾値の変化
測定部位および表記は図6と同じ場所である (mean±S.D., n=7)。

作成したトリガーポイントは索状硬結上の限局した範囲に出現し、運動負荷2日後で圧痛閾値が最も低くなることからDOMSによるトリガーポイントであると考えられた。一方、各組織の深部痛覚閾値は皮膚と筋肉では経時的に殆ど変化が見られなかったが、筋膜の痛覚閾値だけは圧痛閾値と同様、運動負荷2日後で最も低下し、7日後には元に回復する傾向にあった。このことから、トリガーポイントの圧痛閾値低下は筋膜の痛覚閾値低下が原因であり、その成因には限局した部分の痛覚受容器の感作が関与している可能性が示唆された。

謝辞

稿を終えるにあたり、多大なる御助言を頂いた明治鍼灸大学基礎鍼灸医学教室尾崎昭弘教授、同整形外科教室勝見泰和教授に深謝します。また、本実験に協力していただきました鹿児島鍼灸専門学校村瀬健太郎氏、明治鍼灸大学老年医学教室鶴浩幸氏、同生理学教室桑野素子氏、萩原裕子氏、金本貴行氏に深謝します。

最後に、実験に協力していただきました多数の被験者の皆様に深謝いたします。

引用文献

- 1) 伊藤和憲, 村瀬健太郎, 岡田薫, 川喜田健司. 屈曲反射を指標とした刺激部位と刺激強度による抑制効果の違いの検討. 全日本鍼灸学会誌. 1998;48(1):10-6.
- 2) Simons D G, Travell J G, Simons L S. Myofascial pain and dysfunction: The trigger point manual. Baltimore. Williams & Wilkins. 1998.
- 3) Tunks E, Crook J, Norman G, Kalaher S. Tender points in fibromyalgia. Pain. 1988;34:11-9.
- 4) Melzack R, Stillwell D M, Fox E J. Trigger points and acupuncture points for pain: correlations and implications. Pain. 1977;3:3-23.
- 5) 中澤寛元, 勝見泰和, 川喜田健司. 指頭圧痛計の信頼性について. 明治鍼灸医学. 1997;20:29-36.
- 6) Kawakita K, Miura T, Iwase Y. Deep pain measurement at tender points by pulse algometry with insulated needle electrodes. Pain. 1991;44:235-9.
- 7) 三浦敏弘, 川喜田健司, 北小路博司, 人見智. 実験的遅発性筋痛に対するストレッチングの効果. 第11回西日本臨床スポーツ医学研究会報告集. 1990;133-6.
- 8) 川喜田健司, 岡田薫. ポリモデル受容器の感作. 丹澤章八, 尾崎昭弘編: 鍼灸最前線. 東京. 医道の日本. 1997:26-7.
- 9) Armstrong R B. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. Med Sci Sports Exerc. 1984;16(6):529-38.
- 10) Njoo K H, Does E V. The occurrence and inter-rater reliability of myofascial trigger points in the quadratus lumborum and gluteus medius: a prospective study in non-specific low back pain patients and controls in general practice. Pain. 1994;58:317-23.
- 11) Smith L L. Acute inflammation: the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness? Med Sci Sports Exerc. 1991;23(5):542-51.
- 12) 川喜田健司. 筋痛のメカニズム. 神経進歩. 1998;42(3):475-82.
- 13) Kumazawa T, Mizumura K. Thin-fibre receptors responding to mechanical, chemical, and thermal stimulation in the skeletal muscle of the dog. J Physiol. 1977;273:179-94.
- 14) 川喜田健司. 鍼灸刺激の末梢受容機序とツボの関連. 日本生理誌. 1989;51:303-15.
- 15) 水村和枝. 筋肉痛のメカニズム. セラピスト. 1988;9:18-23.
- 16) Hoheisel U, Mense S, Simons D G, Yu X-M. Appearance of new receptive fields in rat dorsal horn neurons following noxious stimulation of skeletal muscle: a model for referral of muscle pain? Neurosci Lett. 1993;153:9-12.
- 17) Hoheisel U, Sander B, Mense S. Myositis-induced functional reorganization of the rat dorsal horn: effects of spinal superfusion with antagonists to neurokinin and glutamate receptors. Pain. 1997;69:219-30.

要 旨

トリガーポイントは、鍼灸などの臨床において診断点や治療点として重視されている。そのトリガーポイントのメカニズムを解明するため、中指に伸張性収縮運動負荷を与え実験的なトリガーポイントモデルの作成を試みた。実験には健康成人7名を用い、中指に可変式のおもりを装着して運動負荷を行った。その後、作成された圧痛閾値低下部位に対し、指頭圧痛計と深部痛覚計を用いて、圧痛閾値と各組織の痛覚閾値の経時的変化をそれぞれ記録した。その結果、作成した圧痛閾値低下部位は索状硬結上に限局して出現し、同部位の電気刺激により典型的な関連痛を誘発した。圧痛閾値は運動負荷2日後で最も低下し、7日後には運動負荷前の値まで回復する経時的変化を示した。またその変化は筋膜の痛覚閾値の変化と一致していた。以上のことから今回作成した実験的モデルはトリガーポイントモデルとして有用であり、その成因には遅発性筋痛が関与することが示唆された。

キーワード：圧痛点、経穴、トリガーポイント、遅発性筋痛