

微小突起による機械的皮膚刺激の筋疲労の予防と回復

有馬義貴¹⁾ 木村啓作²⁾ 日野こころ¹⁾ 新原寿志¹⁾

1) 健康鍼灸学科 2) 明治国際医療大学

Prevention and Treatment of Muscle Fatigue Using Microprojections for Mechanical Cutaneous Stimulation

Yoshitaka ARIMA, Keisaku KIMURA, Kokoro HINO and Hisashi SHINBARA

要旨

この研究では筋疲労の予防と回復を目的とした微小突起の使用を電気刺激誘発筋疲労モデルの硬さ測定で検討した。微小突起刺激にはエラストマー製のソマレゾン L (東洋レジン、以下 SR) もしくはソフトピソマ V (皮膚考学研究所、以下 SP) を用い、足三里穴 (ST36) に行った。SR は直径 7mm のディスクに高さ 300 μm のマイクロコーンが格子状に 177 本配置されている。SP は直径 4mm のディスクに高さ 150 μm のマイクロコーン 2960 本が等ピッチ 0.07mm で六角形に配置されている。上巨虚穴 (ST37) の硬さは連続測定装置で計測した。前脛骨筋の筋疲労は 100Hz 電気刺激で誘発した。筋収縮時と弛緩時の硬さを 20 分間連続的に測定し、1 分毎の収縮時硬度、弛緩時硬度、硬度差の平均を求めた。介入は電気刺激 1 分後に開始した。無刺激 (以下 control)、SR、SP についてそれぞれ 6 回測定した。control 群と SP 群の収縮時硬度と硬度差に有意な交互作用 ($P < 0.0001$) が認められた。結果は高密度微小突起皮膚刺激による筋疲労の回復効果を示唆する。

キーワード：皮膚刺激、筋疲労、電気刺激、硬さ

Abstract

This study examined the use of microprojections to prevent and treat muscle fatigue. Mechanical cutaneous stimulation was applied to the Tsusanli acupoint (ST36) using soft elastomer microcones: Somarezon (SR) or Soft P-soma V (SP). SR is a disk with a diameter of 7 mm, on which 177 microcones with a height of 300 μm are arranged in a lattice pattern. SP is a disk with a diameter of 4 mm, on which 2,960 microcones with a height of 150 μm are arranged in a hexagonal shape, with equal spacing of 0.07 mm. Stiffness at the Shangjuxu acupoint (ST37) was measured using a monitoring device. Anterior tibialis muscle fatigue was induced by 100-Hz electromyostimulation. Muscle hardness during contraction and relaxation was continuously measured for 20 minutes. Values for hardness during contraction and relaxation and the differences between values were averaged every 1 minute. The intervention started 1 minute after electrical stimulation. Six measurements were taken with no intervention (control), and with application of SR and SP, respectively. A significant interaction was found in muscle contraction hardness and in hardness differences between the control group and the SP group. The results suggested that fatigued muscle recovers with highly-focused application of cutaneous stimulation using microprojections.

Keywords : cutaneous stimulation, muscle fatigue, electromyostimulation, hardness

1. はじめに

平成12年に厚生省発健医第115号として「21世紀における国民健康づくり運動（健康日本21）の推進について」が通知された¹⁾。平均寿命が世界有数の水準に達することに伴い、要介護者等の増加が深刻な社会問題となっている中で、壮年期死亡の減少、健康寿命の延伸及び生活の質の向上を実現することが目的である。健康日本21の運動期間は平成24年度末までであったが、引き続き平成25年から10年間は「二十一世紀における第二次国民健康づくり運動」として健康日本21（第二次）が行われている²⁾。健康運動21では目標設定の考え方として(1)栄養・食生活、(2)身体活動・運動、(3)休養・こころの健康づくり、(4)たばこ、(5)アルコール、(6)歯の健康、(7)糖尿病、(8)循環器病、(9)がんが列挙され、(2)では成人における目標として日常生活における歩数の増加や運動習慣の増加、高齢者における目標として積極的な健康づくり行動として体操、ウォーキング、軽スポーツの定期的実施が掲げられている。健康運動21（第二次）においても目標として歩数の増加が掲げられている³⁾。1980年の職業別1日の歩数の報告⁴⁾で新聞配達少年が18,200歩、化粧品セールスマン・集金人は12,000~13,000歩、高校生・大学生・主婦・ホワイトカラー・工員・OLは5,100~8,700歩、教師・団地婦人・社長・重役・施設老人・タクシー運転手は2,400~4,700歩とされていることを踏まえると、健康運動21（第二次）の平成34年度目標の20歳~64歳男性9,000歩、女性8,500歩の達成には歩行による疲労の予防と回復も達成のための重要な検討項目のひとつと考えられる。また、健康づくりのみならず、身体的な疲労の予防と早期回復はスポーツ選手や競技者のコンディショニングの維持やパフォーマンスの向上にとって最も重要な要素の一つである。

運動後の疲労回復としてストレッチング⁵⁻¹⁰⁾、スポーツマッサージ¹¹⁾、軽運動・アクティブレスト^{5,12)}、ホットパック⁵⁾、光療法・レーザー照射^{13,14)}などが血中乳酸値、作業能力、ストレスマーカー、安静時筋硬度、筋電図などを指標として行われ、軽運動・アクティブレスト^{5,12)}、ストレッチ^{6,8,10)}、光療法^{13,14)}の効果が報告されている。また、運動時に連続的に使用できる貼り付けタイプの鍼を用いた研究では筋痛の軽減^{15,16)}、運動療法との併用時の運動回数減少率の低下¹⁷⁾、長期運動プログラムとの併用時の包括的QOLの向上が報告され¹⁸⁾、刺さらないタイプの鍼（皮膚刺激ツール）では「自覚症しらべ（日本産業衛生学会産業疲労研究会）」による自覚的な疲労スコアの低下¹⁹⁾、乳酸値の低下²⁰⁾の報告がある。本研究では身体活動や運動時に連続的かつ一般の方が安全に使用するために、刺さらないタイプの鍼（皮膚刺激ツール）に着目し、筋疲労抑制・回復効果を微小突起の突起数との関係を含めて検討した。

一般的に筋疲労は「運動によって引き起こされる筋力または筋パワーを生み出す能力自体の低下」²¹⁾と定義される

ことが多く、動物を対象とした研究では筋の張力を指標とした実験モデルが用いられ、ウサギに対する置鍼²²⁾やカエルに対するアルゴンレーザー照射で²³⁾筋疲労の遅延効果が報告されている。筋の発揮張力は筋の硬さと一定の関係があり^{24,25)}、筋疲労は一般的に赤筋よりも白筋で起こりやすく、活動周波数帯は前者が約25~50Hz、後者が約70~100Hzである²⁶⁾。このことから本研究では疲労の起こりやすい100Hzの繰り返し電気刺激による筋の硬さの変化を観察指標とした。

2. 方法

硬さはIMC-1225 (Imoto Machinery Co.)、NI cDAQ-9174 + NI 9215 (National Instruments)、CF-SX3 (Panasonic)の測定システム²⁷⁾、電気刺激装置はDELTA ZERO (NIHON MEDIX)をそれぞれ使用した。介入にはゴムの弾力性を持つエラストマー樹脂のマイクロコーンからなる微細突起状のソマレゾン L (東洋レジン株式会社、以下SRと略す)とソフトピソマ V (皮膚考学研究所、以下SPと略す)の2種類を用いた。SRは直径7mmのディスクに高さ300 μ mのマイクロコーンが0.4mmの格子状に177本配置され、SPは直径4mmのディスクに高さ150 μ mのマイクロコーン2,960本が等間隔0.07mmで六角形に配置されている(図1)。エラストマー素材の硬さHADはSRが65、SPが80で、SPがやや硬い。

介入部位は右前脛骨筋上の足三里穴(ST36)とし、電極はテクノゲルDR- ϕ 32 (SEKISUI PLASTICS CO., LTD.)を足三里の下方1寸と条口穴(ST38)に貼り、硬さ測定部位は上巨虚穴(ST37)とした。経穴は、下腿前面の膝蓋靭帯外方の陥凹部の犢鼻穴(ST35)と足関節前面中央の長母指伸筋腱と長趾伸筋腱の間の陥凹部の間の解溪穴(ST41)を結び、足三里穴は犢鼻穴から3/16、上巨虚穴は6/16、条口穴は8/16に位置する。

電気刺激は20 μ sの二相性矩形波固定変調120mAで漸増1、持続5、漸減1、休止5秒を20分間繰り返し、周波数100Hzの持続と休止時に硬さを測定し、収縮時硬度、弛緩時硬度、収縮と弛緩時の硬度差について1分毎の平均を求めた。貼付は測定開始1分後から終了まで継続した。

対象は、被験者1名(47歳男性)の右前脛骨筋とした。測定時には股関節90度屈曲、膝関節90度屈曲位で前脛骨筋の収縮と弛緩により足関節が可動しやすいように、被験者にバランスチェアサポート5040(HAG)の前部に踵を載せて坐るように指示した(図2)。測定は日を変えて無貼付(以下control群)、SR貼付(以下SR群と略す)、SP貼付(以下SP群と略す)について各6回行った。

介入による変化の違いはcontrol群とSR群、control群とSP群についてそれぞれ二元配置分散分析と多重比

較検定で統計学的に検討した。統計には GraphPad PRISM 6J (Windows 版、GraphPad co.) を用い、有意水準 (P) は 5% 未満とした。なお、実験は本大学倫理委員会 (2017-0006H) の承認を得て実施した。

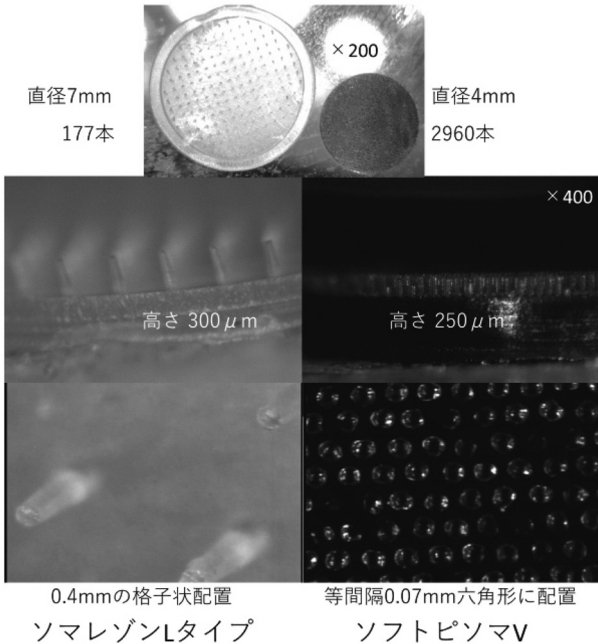


図1 微小突起刺激ツール

3. 結果

SR 群では、収縮時硬度、弛緩時硬度、硬度差の全てにおいて control 群との間に有意な交互作用は認められなかった ($P=0.9943$, $P=0.9829$, $P=0.9798$) (図3)。

SP 群は弛緩時硬度では有意な交互作用が認められなかった ($P=0.7411$) が、収縮時硬度と硬度差において有意な交互作用が認められた ($P<0.0001$, $P<0.0001$) (図4)。収縮時硬度は介入 10 分後から control 群に比較して硬い傾向が認められ、硬度差は介入 10 分後から control 群に比較して大きくなる傾向が認められた。続いて実施した多重比較検定では収縮時硬度介入 19 分 (測定開始 20 分後) と硬度差介入 15、16、17、19 分 (測定開始 16、17、18、20 分後) に有意な差が認められた。



図2 実験概略図

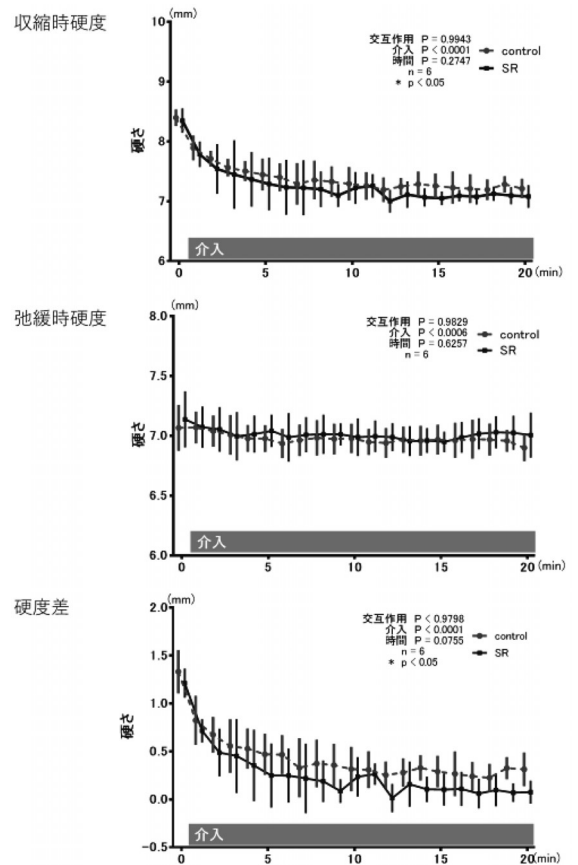


図3 control 群と SR 群の比較

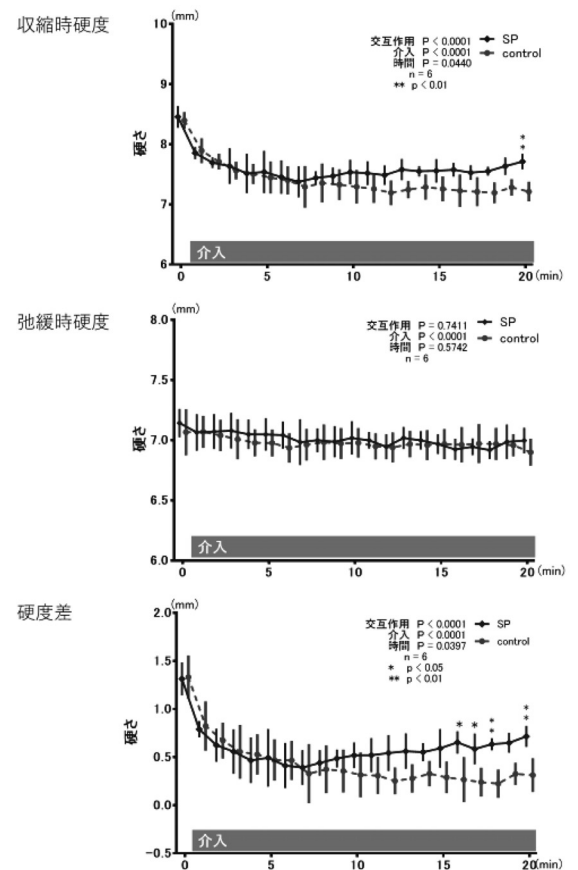


図4 control 群と SP 群の比較

4. 考察

今回用いた2種類の刺さない鍼は皮膚考学研究所の長谷川智也氏の射出形成のノウハウによって開発されたものである。皮膚刺激ツールにはソマセプト、SR、ハベシリーズ、ピソマなどがあり、ソマセプト及びソマレゾンは東洋レジン株式会社からも販売されている。また、同氏はセイリン株式会社から販売されている貼るタイプの針であるバイオネックスの開発者でもあり、ツールの固定にはバイオネックスで培った粘着シールに関する技術を発展・応用している。

SRについては、痛み²⁸⁾や疲労に関する有意な結果が報告されている。Hottaらは麻酔ラットへのSRによる刺激が一次求心性C線維による侵害刺激伝達(C反射電位)を抑制することを観察し、皮膚メカノレセプターの低頻度活動でオピオイド及び非オピオイドの抑制メディエーターが放出されてC反射電位を抑制し、交感神経反射に対するモルヒネと同様の²⁹⁾抑制効果が生じていると考察している。Watanabeらは意識化の人を対象とした実験で、SRによる刺激が遅い痛みを起す熱刺激に対する心拍増加、血管収縮による指尖脈波の振幅低下反応を起すことを観察している。星川ら²⁹⁾は体重の7.5%の負荷による30秒間全力ペダリング運動でSR群がコントロール群に比較してピークペダル回転数・血中乳酸濃度・心拍数が有意に低かった現象を観察し、皮膚刺激が運動によって高まった交感神経(血管収縮)の抑制あるいは副交感神経の亢進(血管拡張や血流増加)に作用し、身体機能や代謝産物(血中乳酸)について安静状態への回復を促進させていると考察している。レーザーサブクル皮膚血流画像化装置 PeriCam PSI System (PERIMED製)皮膚表面血流を観察した我々の研究では、SR II型10分貼付による局所血流変化は認められなかった³⁰⁾。その際に用いたHAPETATCH(現・ピソマI型)を5分貼付した際には鍼灸の鍼と同様の局所血流増加を確認し、その反応を軸索反射によるものと推測した³⁰⁾。SR II型は高さが0.3mm、先端径が37 μ mの円柱形状の微小突起が0.4mmの格子状に417本配列された11mmのエラストマー製(硬度65)の円板であり、ピソマI型は高さ0.25mm、先端径が20 μ mのコニーデ形状の微小突起が0.45mm間隔で格子状に376本配列された直径11mmのナイロン製の円板(硬度108)である。ピソマI型は高さ0.15mmのソマセプトの高さを0.25mmにしたものに相当し、SR II型は直径11mmである点が今回の直径7mmのLタイプと異なる。これらの研究報告からは、エラストマー製のSRの作用として軸索反射を介している可能性は低く、交感神経反射抑制に基づくと考えられる運動後の回復促進効果による関与が推測される。エラストマー素材のSPも同様の機序を有すると考えられ、今回の研究では密度が高いSPにおいてのみ末梢性筋疲労の回復効果が確認されたことから、

突起数が刺激強度・量に関係することを示す結果だと考えられる。

本研究ではヒトの前脛骨筋を対象に電気刺激で筋疲労を生起したが、伊藤ら²²⁾はウサギの前脛骨筋標本、蛭子ら²³⁾はアフリカツメガエルの坐骨神経-腓腹筋標本を用い、それぞれ鍼と低出力レーザー照射による疲労遅延効果を報告している。伊藤らは電気刺激負荷を与えた際の筋張力の減少が置鍼で抑制される効果が前脛骨動脈の結紮や上位神経の切断でも観察されたことから、軸索反射等の末梢機序の関与を考察している。軸索反射は硬いナイロン製のピソマI型で認められたが、軟らかいエラストマー製のSRでは認められなかった。刺激量に関与すると考えられる微小突起の本数がSR II型417本に対し、SPは2960本と大きく異なるため、過去の報告のみで軸索反射を否定することはできない。軸索反射の関与は、軸索反射が生じるピソマI型やバイオネックスなどの刺入する鍼による介入変化の観察などで検討を進める必要がある。蛭子ら²³⁾は神経電気刺激で誘発される筋張力の減少がレーザー照射で有意に遅延する現象の機序として、神経筋接合部の神経伝達と筋の活動電位発生及び興奮収縮連関への影響を推測している。高周波刺激で筋疲労の発揮張力は漸進的に低下³¹⁾し、それには誘発電位振幅の減少とM波の伝導時間の遅延を伴う^{32,33)}ことから、その機序は神経筋ブロックによるものだけではなく、部分的な筋線維膜の興奮性の低下も関わるとされている。高密度微小突起SPによる刺激が、これらの発生を回避して興奮収縮連関を最適化した可能性も考えられる。

5. 結語

単一被験者を対象とした実験で前脛骨筋に対する周波数100Hzの電気刺激によって漸進的に減少する収縮時硬度および収縮-弛緩時硬度が、SRではなくSPで有意に回復したことから、微小突起皮膚刺激が筋疲労回復効果を有することと、微小突起密度のピッチが細かいこと(突起数)が効果発現に関与することが示唆された。

利益相反

本実験で使用した硬さ測定器は科研費基盤研究C25460916の助成により製作したものである。その他、本実験で使用した機材等は常葉大学利益相反マネジメント規定に基づく常葉大学利益相反委員会の審査において、平成29年6月26日付けで利益相反を許容できるとの通知を受けている。

謝辞

本実験で使用した皮膚微小刺激ツールを提供頂いた長谷川智也氏、電気刺激装置 DELTA ZERO の使用にあ

たりご協力いただいた日本メディックス社の青木仁氏および吉岡徳利（現・株式会社MGMT）に謝意を表す。

文 献

- 1) 厚生労働省「21世紀における国民健康づくり運動《健康日本21》」
http://www1.mhlw.go.jp/topics/kenko21_11/top.html
[最終アクセス 2017年9月5日]
- 2) 厚生労働省「健康日本21（第二次）」
http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryuu/kenkou/kenkounippon21.html
[最終アクセス 2017年9月5日]
- 3) 厚生労働大臣小宮山洋子「国民の健康の増進の総合的な推進を図るための基本的な方針」
http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/dl/kenkou_nippon21_01.pdf
[最終アクセス 2017年9月5日]
- 4) 杉山允宏、桐島日出夫、平谷昭彦、大八木達也「歩行のエネルギー消費」『人間工学』第17巻、第6号、1981年、259-265頁
- 5) 山本正嘉、山本利春「激運動後のストレッチング、スポーツマッサージ、軽運動、ホットパックが疲労回復におよぼす効果—作業能力および血中乳酸の回復を指標として—」『体力科学』第42巻、第1号、1993年、82-92頁
- 6) 久保田喬之、兵頭甲子太郎「運動後の筋疲労回復処置がストレスマーカーに及ぼす影響」『理学療法・臨床・研究・教育』第21巻、第1号、2014年、56-58頁
- 7) 坂上昇、大倉三洋「ストレッチングの筋疲労回復に関する研究」『高知リハビリテーション学院紀要』第2巻、2001年、1-7頁
- 8) 松永秀俊、山野薫、上田周平、村田伸、吉澤隆志、武田功「運動負荷後の筋回復過程に与える筋伸張運動強度の影響」『理学療法科学』第24巻、第5号、2009年、675-678頁
- 9) 市橋則明、吉田正樹「筋疲労回復におけるストレッチングの効果—筋電図の周波数解析による検討」『理学療法のための運動生理』第6巻、第4号、1991年、181-185頁
- 10) 木村篤史、松本和久、池内隆治「運動負荷後のストレッチングが筋硬度に及ぼす影響」『明治鍼灸医学』第40巻、2007年、29-37頁
- 11) 星虎男「スポーツマッサージ—スポーツマンの障害の予防と記録の向上のために—」『医療保健学研究：つくば国際大学紀要』第2巻、2011年、1-19頁
- 12) 大石康晴、岩田浩明「連続打ち込み練習後のアクティブレストが柔道選手の血中乳酸値の変動に及ぼす影響」『熊本大学教育学部紀要』第59巻、2010年、99-103頁
- 13) 出村慎一、山次俊介、長澤吉則、小林秀紹、南雅樹、豊島慶男「激運動後の等速性筋力発揮の回復に及ぼす直線偏光処理近赤外線照射の効果」『体力科学』第49巻、第4号、2000年、459-468頁
- 14) 米津貴久「筋疲労に対するレーザー照射効果について」『日本レーザー医学会誌』第36巻、第4号、2016年、436-439頁
- 15) 古屋英治、金子泰久、上原明仁、上原一郎、副島和彦、坂本歩「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」『全日本鍼灸学会雑誌』第59巻、第4号、2009年、375-383頁
- 16) 宮本俊和、濱田淳、和田恒彦、寺田和史、市川あゆみ、鍋倉賢治「マラソン後の筋痛と筋硬度に対する円皮しんの効果—二重盲検ランダム化比較試験による検討」『日本東洋医学雑誌』第54巻、第5号、2003年、939-944頁
- 17) 金子泰久、古屋英治、坂本歩「トリアスロン競技後の筋肉痛に及ぼす円皮鍼の効果」『日本鍼灸学会雑誌』第56巻、第2号、2006年、158-165頁
- 18) 中村満「介護予防としての運動プログラム・トレーニングとそれに併用する円皮鍼施鍼の包括的QOLに及ぼす影響について」『日本温泉気候物理医学会雑誌』第75巻、第2号、2012年、95-111頁
- 19) 沢崎健太、星川秀利、里大輔、宮村司、吉田早織、向野義人「非侵襲性微小突起の皮膚刺激が大学陸上選手の自覚的な疲労に及ぼす影響」『東方医学』第32巻、第2号、2016年、17-25頁
- 20) 星川秀利、沢崎健太、有馬義貴、中澤寛元、里大輔、吉田早織、宮村司、田中誠一「微小突起による皮膚刺激が激運動後の血中乳酸濃度に及ぼす影響」『東方医学雑誌』第28巻、第2号、2012年、45-54頁
- 21) 松浦亮太「筋疲労を再定義する」『北海道大学大学院教育学部研究紀要』第125巻、2016年、91-109頁
- 22) 伊藤讓、松本勅、川喜田健司「家兎前脛骨筋の筋張力に及ぼす置鍼の影響」『全日本鍼灸学会雑誌』第46巻、第4号、1996年、326-333頁
- 23) 蛭子法子、久保富洋、庄裕輔、松田芳樹、木暮信一「アフリカツメガエル (*Rana*) 腓腹筋標本の筋収縮に対する低出力レーザー照射効果」『日本レーザー医学会誌』第28巻、第1号、2007年、84-90頁
- 24) Kato G., Andrew P. D., Sato H. "Reliability and validity of a device to measure muscle hardness," *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 4(2), 2004, 213-225.
- 25) Morisada M., Okada, K. Kawakita K. "Quantitative analysis of muscle hardness in tetanic contractions induced by electrical stimulation in rats," *European journal of applied physiology*, 97(6), 2006. 681-686.
- 26) 中山登稔、林知也『経皮的神経電気刺激療法』第1版、医歯薬出版株式会社、2011年

- 27) 有馬義貴「硬さ連続測定を臨床で活用するための試行的検討」『常葉大学健康プロデュース学部雑誌』第11巻、第1号、2017年、3-7頁
- 28) Hotta H, Schmidt RF, et al, "Gentle mechanical skin stimulation inhibits the somatocardiac sympathetic C-reflex elicited by excitation of unmyelinated C-aggerent fibers" *Eur. J. Pain*, Vol.14, 2010, 806-813.
- 29) Watanabe N., Miyazaki S., Mukaino Y., Hotta H. "Effect of gentle cutaneous stimulation on heat-induced autonomic response and subjective pain intensity in healthy humans." *The Journal of Physiological Sciences*, 62(4), 2012, 343-350.
- 30) 有馬義貴、中澤寛元、深澤聡、吉岡一実、村上高康「刺さない鍼・刺す鍼・灸が局所皮膚表面血流に及ぼす影響」『医学と生物学』第157巻、第6号、2013年、831-835頁
- 31) Jones D. A, B. Bigland-Ritchie, R. H. T. Edwards. "Excitation frequency and muscle fatigue: mechanical responses during voluntary and stimulated contractions." *Experimental neurology* 64(2), 1979, 401-413.
- 32) T. Moritani, M. Muro, A. Kijima. "Electromechanical changes during electrically induced and maximal voluntary contractions: electrophysiologic responses of different muscle fiber types during stimulated contractions." *Experimental neurology* 88(3), 1985, 471-483.
- 33) Moritani T., Muro M., Kijima A., Gaffney, F. A., Parsons D. "Electromechanical changes during electrically induced and maximal voluntary contractions: surface and intramuscular EMG responses during sustained maximal voluntary contraction." *Experimental neurology*, 88(3), 1985, 484-499.

(2017.9.11 受稿, 2017.9.25 受理)