ストレッチングの前処置としての表在性および 深部性温熱療法の有効性に関する検討

——ホットパックと極超短波療法に注目して——

Effectiveness of Superficial (Hot-pack) and Deep (Microwave Diathermy) Heating as a Pretreatment for Muscle Stretching

川口 梨沙¹⁾ 吉田 英樹²⁾ 照井 駿明^{3,4)}

RISA KAWAGUCHI, RPT¹⁾, HIDEKI YOSHIDA, RPT, PhD²⁾, SHUNMEI TERUI, RPT^{3,4)}

¹⁾ Department of Rehabilitation, Shizuoka Institute of Epilepsy and Neurological Disorders

²⁾ Department of Health Promotion, Division of Health Sciences, Hirosaki University Graduate School of Health Sciences: 66-1 Honcho, Hirosaki City, Aomori 036-8564, Japan. TEL+81 172-39-5975 E-mail: ptyoshi@cc.hirosaki-u.ac.jp

³⁾ Department of Rehabilitation, Research Institute for Brain and Blood Vessels-Akita

⁴⁾ Department of Physical Therapy, Division of Comprehensive Rehabilitation Sciences, Hirosaki University Graduate School of Health Sciences

Rigakuryoho Kagaku 28(5): 641-645, 2013. Submitted Mar. 28, 2013. Accepted May 10, 2013.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to investigate the effectiveness of superficial (hot-pack: HP) and deep (microwave diathermy: MW) heating as a pretreatment for muscle stretching. [Subjects and Method] Sixteen healthy volunteers participated in this study. They received three 20-minute interventions for the bilateral posterior thighs: HP, MW, and rest with neither HP nor MW (control). Hamstrings muscle hardness, the degree of active-knee-extension and the skin temperature of the posterior thigh were compared among the three interventions. [Result] There were no significant differences in hamstrings muscle hardnesses among the three interventions. In contrast, both the degree of active-knee-extension and skin temperature of the posterior thigh after HP and MW were significantly higher than those of the control, but there were no significant differences in the two items between HP and MW. [Conclusion] These results suggest HP and MW may serve as a pretreatment for muscle stretching by reducing stretch pain due to heat stimulation of the skin rather than improving muscle extensibility.

Key words: heat therapy, stretching, pretreatment

要旨:〔目的〕ストレッチングの前処置として、表在性温熱療法のホットパック（HP）と深部性温熱療法の極超短波療法（MW）の有効性を検討すること。〔対象〕健常例16名（女性5名、男性11名）。〔方法〕大腿後面への20分間のHP、MW、コントロールを実施し、ハムストリングスの筋伸張性（筋硬度、膝伸展自動可動域）と大腿後面皮膚温を比較した。〔結果〕筋硬度については、3群間で明らかな違いが認められなかった。一方、膝伸展自動可動域と大腿後面皮膚温については、HPとMWの間では明らかな違いが認められなかったが、コントロールと比較してHPおよびMWで有意に高値を示した。〔結語〕HPとMWは、筋伸張性の向上よりも皮膚への温熱刺激を背景とした伸張痛の軽減によりストレッチングの前処置として貢献し得る。

キーワード: 温熱療法, ストレッチング, 前処置

¹⁾ 静岡てんかん・神経医療センター リハビリテーション科

²⁾ 弘前大学大学院 保健学研究科 保健学専攻 健康支援科学領域 健康増進科学分野: 青森県弘前市本町66-1 (〒036-8564) TEL 0172-39-5975

³⁾ 秋田県立脳血管研究センター 機能訓練部

⁴⁾ 弘前大学大学院 保健学研究科 保健学専攻 総合リハビリテーション科学領域 理学療法学分野

I. はじめに

温熱療法に伴う局所の反応としては、組織代謝の亢進、末梢血管拡張による血流量の増加、神経伝導速度の増加、軟部組織の伸張性増大などが挙げられる¹⁾。軟部組織の伸張性増大という反応を利用して、ストレッチングの前処置として温熱療法を行うと、ストレッチングを単独で実施する場合よりも効果は向上するといわれている¹⁾。

温熱療法は加温可能な組織深度により、皮下1～2 cm程度まで加温可能な表在性温熱療法（以下、表在熱）と、表在熱よりもさらに深部の筋まで加温が期待される深部性温熱療法（以下、深部熱）に大別され、本邦での使用頻度の高い表在熱はホットパック（以下、HP）、深部熱は極超短波療法（以下、MW）である²⁾。ストレッチングの対象を筋とした場合、ストレッチングの前処置として用いられる温熱療法は表在熱よりも深部熱の方が適していると考えるのが妥当である。しかし、整形外科疾患の術後症例に対してストレッチングの前処置として温熱療法を実施する場合、温熱療法を実施すべき部位付近に髄内釘や人工関節などの金属が存在する場合も多く、深部加温に適しているとされる電磁エネルギーを利用したMWは禁忌となる³⁾。これに対して、HPは体内金属の有無に関係なく実施可能であるため、ストレッチングの前処置として利用することが出来れば臨床的に大変有益である。

HPもしくはMWにより筋伸張性が向上し得るならば、ストレッチングを実施する前段階において筋伸張性と関連する評価指標にも変化が生じると予想される。しかし、先行研究^{4,5)}では、HPもしくはMWを実施した際の筋伸張性変化については否定的な報告が多い。これらの先行研究では、筋伸張性と関連する評価指標として、HPもしくはMW実施後に対象筋を他動運動により伸張した際の関節可動域の変化に注目しているが、他動的伸張を終了する基準の設定に十分な根拠は示されていない。さらに、対象筋を他動運動により伸張した際の関節可動域の測定では、運動の終末感（end feel）を測定者の主観である程度判断せざるを得ないため、結果の信頼性が低下する可能性も否定できない⁶⁾。これに対して、対象筋を自動運動により伸張した際の関節可動域については、測定結果の再現性が高いことが報告されており⁷⁾、HPもしくはMWの実施に伴う筋伸張性変化を検討する評価指標として活用できると考えられる。一方、筋伸張性の変化を簡便かつ客観的に評価し得る指標として筋硬度が最近注目されているが、HPもしくはMW実施後の筋伸張性変化を検討するという観点から筋硬度に注目した研究は殆ど無いのが現状である。

以上から本研究では、ストレッチングの前処置としてのHPとMWの有効性について、対象筋を自動運動により伸張した際の関節可動域と筋硬度に注目して検討する

ことを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、本研究への参加に書面による同意が得られた健康人16名（女性5名、男性11名、年齢 23.1 ± 4.1 歳、体格指数(BMI) 19.9 ± 1.2)とし、温熱刺激およびストレッチングの標的筋は両側のハムストリングスとした。対象者の選定基準は、①運動やストレッチングを日常的に行う習慣がない、かつ、②BMIが標準値(22.0)以下であることを全て満たしていることとした。なお、条件にBMIに関する項目を含めた理由は、温熱刺激に対する脂肪の厚さの影響を可能な限り同一条件とするためである。また、対象者には、本研究への参加期間中はストレッチングや筋肉痛を生じうる激しい運動を控えるよう指導した。

2. 方法

対象者は3種類の介入実験、HP、MW、コントロール（HPおよびMWのどちらも実施しない）の全てに参加した。各実験の実施には3日以上の間隔が空けられ、各実験の実施順序はくじ引きにより無作為に決定された。全ての実験は室温が約25℃に保たれた同一の実験室にて行われた。実験前の準備として、対象者の両側の坐骨結節から腓骨頭を結ぶ線分の50%の位置に当たる両大腿後面の皮膚表面にマーキングを行い、この部位は、後述するハムストリングスの筋硬度（以下、Ham筋硬度）⁸⁾および大腿後面皮膚温（以下、皮膚温）の測定部位とした。また、対象者の両側の大腿骨大転子、大腿骨外側上顆、脛骨外果にもマーキングを行った。「介入前評価」として、対象者のHam筋硬度および膝関節の自動伸展運動時の関節可動域（以下、膝伸展自動可動域）を測定した。介入前評価の終了後、対象者は腹臥位となり、20分間の各介入を実施した。20分間の各介入終了後、「介入後評価」として、Ham筋硬度および膝伸展自動可動域の測定に加えて、皮膚温の測定を行った。

HPについては、時間経過に伴うHPの温度低下を防ぐために、乾熱である電熱式ホットパック装置（OGパックスKT-521、OG技研）を使用した。HPは、Ham筋硬度の測定部位を中心に大腿後面の皮膚表面全体に配置し、ベルクロテープを用いてHPと大腿後面を十分に固定した。なお、HPの表面温度は42℃となるように設定したが、対象者が自覚する温感が「中量（心地よく温かい程度）」³⁾に保たれているかを聴取により確認し、対象者が不快感を伴う熱さを訴えた場合はHPの表面温度を38～42℃の範囲内で調整した。MWについては、パルス照射法を採用した極超短波治療器（イトーPM-820、伊藤超短波）を使用した。極超短波治療器が照射する周波数および波

長は、それぞれ2,450 MHz, 12.25 cmであった。照射出力は、Draperらの方法⁹⁾を参考に50 Wとし、極超短波治療器の長方形アプリケーターを前述のHPの場合と同様に、Ham筋硬度の測定部位を中心に大腿後面の皮膚表面全体に密着させた。なお、HPの場合と同様に、対象者が自覚する温感が「中量（心地よく温かい程度）」に保たれているかを聴取し、対象者が不快感を伴う熱さを訴えた場合は照射出力を30～50 Wの範囲内で調整した。コントロールについては、対象者はHPおよびMWのどちらも実施せず、安静腹臥位を保持するのみとした。

Ham筋硬度（単位：Nm）の測定は、筋硬度計（NEUTONE TDM-NA1, TRY-ALL）を用いて、筋硬度計の扱いに習熟した同一の測定者（R.K.）が実施した。前述の大腿後面の皮膚表面のマーキング部位に対して左右ともに5回ずつ行い、左右ともに最大値と最小値を除いた3回の測定値の平均値をHam筋硬度の結果とした。膝伸展自動可動域（単位：度）の測定は、Gajdosikらの方法⁷⁾に準じた。運動の開始肢位は股関節および膝関節90度屈曲位での背臥位とし、開始肢位から膝関節を自動運動にて最大まで伸展することとした。この際、股関節による代償運動を防止するために、測定者1名が対象者の大腿部を徒手で固定し、他の測定者がデジタルカメラを用いて対象者の側面より運動を行っている下肢全体を撮影した。なお、撮影には三脚を使用し、撮影条件（デジタルカメラの位置）が対象者ごとに同一となるように調整した上で、左右ともに3回ずつ実施した。膝伸展自動可動域の算出方法は、撮影されたデジタル画像をパソコン上で画像処理ソフト（ImageJ 1.43u, NIH）に読み込み、事前にマーキングされた大腿骨大転子、大腿骨外側上顆、脛骨外果の3点のなす角度を小数点第1位まで求めることとした。なお、膝伸展自動可動域の算出は、撮影されたデジタル画像1枚につき2回ずつ実施し、左右ともに算出された計6個の平均値をもって膝伸展自動可動域とした。なお、Ham筋硬度および膝伸展自動可動域については、先行研究によりハムストリングスの筋伸張性を反映する指標として確立されている^{7,10,11)}。皮膚温の測定は、放射温度計（Fluke-572, Fluke）を用いて、前述の大腿後面の皮膚表面のマーキング部位で実施した。

統計学的分析では、Ham筋硬度および膝伸展自動可

動域については、各介入前後での各評価項目の変化量をHP、MW、コントロールの3群間で比較するために多重比較検定（Steel-Dwass法）を用いた。皮膚温については、各介入終了直後での値をHP、MW、コントロールの3群間で比較するために多重比較検定（Tukey-Kramer法）を用いた。全ての統計学的分析は、エクセルアドインソフト「Statcel3」を用いて実施した。検定は両側検定とし、有意水準は5%未満とした。

III. 結 果

各介入前後でのHam筋硬度および膝伸展自動可動域の変化量と各介入終了直後での皮膚温を表1に示す。なお、本研究では、HP実施中に5名、MW実施中に6名の対象者が不快感を伴う熱さを訴えた。これらの対象者については、HPの表面温度を38℃、MWの照射出力を30 Wに調整することで実験の継続が可能であり、本研究から除外された対象者は皆無であった。

各介入前後でのHam筋硬度（中央値：[25%点, 75%点]）は、HPでは介入前が27.3：[26.0, 28.8]、介入後が26.0：[25.0, 28.0]、MWでは介入前が27.4：[25.7, 29.0]、介入後が26.8：[24.7, 28.7]、コントロールでは介入前が28.0：[25.8, 30.0]、介入後が28.0：[24.9, 30.0]であった。結果、各介入前後でのHam筋硬度の変化量は、HPでは-1.3：[-2.7, 0]、MWでは-1.0：[-2.0, 0]、コントロールでは0：[-0.9, 0.5]となり、3群間での介入前後でのHam筋硬度の変化量に有意差は認められなかった。

各介入前後での膝伸展自動可動域（中央値：[25%点, 75%点]）は、HPでは介入前が133.9：[128.3, 141.6]、介入後が136.4：[132.4, 139.0]、MWでは介入前が137.8：[131.4, 143.8]、介入後が136.7：[132.8, 148.6]、コントロールでは介入前が137.1：[129.2, 143.3]、介入後が133.5：[123.8, 145.5]であった。結果、各介入前後での膝伸展自動可動域の変化量（中央値：[25%点, 75%点]）は、HPでは1.2：[-3.4, 5.2]、MWでは1.1：[-1.9, 4.2]、コントロールでは-3.2：[-7.1, 0.8]となり、コントロールと比較してHPおよびMWは介入前後での膝伸展自動可動域の変化量が有意に大きかった。HPと

表1 介入前後での筋硬度(Nm)および膝関節自動伸展角度(度)の変化量、介入終了直後での皮膚温(℃)

	筋硬度の変化量	膝関節自動伸展角度の変化量	皮膚温
ホットパック	-1.3：[-2.7, 0.0]	1.2：[-3.4, 5.2]	36.3 ± 0.7
極超短波	-1.0：[-2.0, 0.0]	1.1：[-1.9, 4.2]	36.6 ± 0.8
コントロール	0.0：[-0.9, 0.5]	-3.2：[-7.1, 0.8]	31.6 ± 0.7

筋硬度および膝関節自動伸展角度の変化量：中央値：[25%点, 75%点]で表示。

皮膚温：平均値 ± 標準偏差で表示, *：p<0.05, **：p<0.01。

MWの間では介入前後での膝伸展自動可動域の変化量に有意差は認められなかった。

各介入終了直後での皮膚温（平均値±標準偏差）は、HPでは 36.3 ± 0.7 、MWでは 36.6 ± 0.8 、コントロールでは 31.6 ± 0.7 であり、コントロールと比較してHPおよびMWは介入終了直後での皮膚温が有意に高かった。HPとMWの間では介入終了直後での皮膚温に有意差は認められなかった。

IV. 考 察

介入前後でのHam筋硬度の変化量については、3群間で有意差は認められなかった。HPは伝導熱を利用した温熱療法であり、高温の物体（すなわち、HP）から低温の物体（すなわち、生体）へ熱が移動することによって生体は加温される¹⁾。しかし、HPの実施により加温効果を期待できる生体深度は皮下1～2 cmまでといわれている¹⁾。Draperら¹²⁾は、HP施行時の皮下3 cmでの温度上昇は 0.7°C であったと報告しており、HPの筋に対する加温効果は低いと結論付けている。また、古後ら¹³⁾は、本研究で用いられた「電熱式HP（すなわち、乾熱）」は「湯を用いた湿式HP（すなわち、湿熱）」と比較して熱伝導率が低く、筋硬度を低下させるという観点からは電熱式HPよりも湿式HPの方が優れていたと報告している。本研究結果から考えても電熱式HPでは筋の加温効果はあまり期待出来ないであろう。一方、MWはエネルギー変換熱を利用した温熱療法であり、MWが生体に照射されることで生体内の水分子に回転運動が生じ、さらに水分子同士間での衝突に伴う摩擦が生じた際に発生した熱（摩擦熱）により生体は加温される³⁾。MWでは水分子を多く含んだ組織、すなわち血流に富む筋組織を中心に温熱効果が得られやすく³⁾、生体の深部に位置する筋まで加温できるとされている。その一方で、MWにより加温効果を期待できる深度は、HPと同程度の皮下2 cm程度で、これよりも深部の組織では加温効果が急激に低下する可能性も指摘されている¹⁴⁾。Lehmannら¹⁵⁾は、皮膚、皮下脂肪、筋からなる標本に対してMWを照射し、それぞれの組織温を測定した結果、エネルギーの大部分は皮下脂肪で熱に変換され、筋に対する加温効果はわずかであったと報告している。本研究結果からも、筋硬度の大きな変化が認められなかったことから、MWの照射に伴う筋の加温効果は低いのではないかと推察される。

介入前後での膝伸展自動可動域の変化量については、コントロールと比較してHPおよびMWでは有意に大きかった。これは、コントロールと比較してHPおよびMWの両者において介入後に膝関節の自動伸展運動がより実施しやすい状態となっていたことを示唆している。HPおよびMWの実施により、Ham筋硬度が変化しなかったにも関わらず膝伸展自動可動域の変化量が有意に大きく

なった理由については、皮膚温がコントロール終了直後と比較して、HPおよびMW終了直後において有意に高かったことを考慮すると、HPおよびMW終了直後では大腿後面皮膚に温熱刺激が加えられたことで、ゲートコントロール理論（以下、GCT）に基づく膝関節の自動伸展運動時のハムストリングスの伸張痛の軽減が引き起こされた可能性が考えられる。GCTは、MelzackとWallによって提唱された除痛メカニズムに関する理論であり、痛み刺激が入力されている脊髄髄節レベルと同一の髄節レベルに触覚刺激や温熱刺激などの痛み以外の感覚刺激を入力することで、脊髄後角内で痛み刺激を上位中枢（脳）へ伝達する神経細胞に対して抑制性介在ニューロンを介したシナプス前抑制をかけることで痛み刺激の上位中枢への伝達を脊髄レベルで抑制するものである¹⁶⁾。本研究では、HPおよびMWは、ハムストリングスの伸張性向上を目的として大腿後面に対して実施されたが、大腿後面の皮膚分節領域（デルマトーム）は概ね第5腰髄、第1仙髄、第2仙髄となっており¹⁷⁾、ハムストリングスの神経支配髄節レベル¹⁸⁾と概ね一致している。その為、対象者はHam筋硬度が変化していなくても膝関節の自動伸展運動をより積極的に行えるようになり、膝伸展自動可動域の増加、すなわちハムストリングスをよりストレッチしやすい状態となっていた可能性が考えられる。その一方で、本研究で認められたコントロールと比較したHPおよびMWでの介入前後での膝伸展自動可動域の変化量増大の程度は、統計学的有意差は認められたものの、臨床的な観点ではそれ程大きなものではなかった。本研究では、測定結果の信頼性の問題から膝伸展自動可動域を採用したが、HPおよびMWによりGCTに基づくハムストリングスの伸張痛の軽減が引き起こされるならば、より強力なハムストリングスのストレッチが可能で膝関節の他動伸展運動を行う方が、介入前後での膝伸展自動可動域の変化量に臨床的にも意味のあるより大きな差が生じると予想される。今後、信頼性の高い膝関節の他動伸展運動時の関節可動域の測定方法も含めた更なる検討が必要と考える。

本研究の限界について、少なくとも以下の二点が考えられる。一点目として、本研究では、HPおよびMWの実施によりHam筋硬度が変化しなかったにも関わらず膝伸展自動可動域の変化量が大きくなった理由として、GCTに基づく膝関節の自動伸展運動時のハムストリングスの伸張痛の軽減を挙げた。しかし、本研究では、実際のハムストリングスの伸張痛の程度については検討対象としていなかったため、本考察は現状では仮説の域を脱し得ない。今後、主観的¹⁹⁾および客観的（生理学的）^{20,21)}な疼痛評価指標を併用した上で、HPおよびMWを実施した際の伸張痛の状況に関する検討が必要である。二点目として、本研究では、温熱刺激の標的筋としたハムストリングスの筋伸張性評価としてHam筋

硬度と膝伸展自動可動域に関する検討は行われたが、各介入に伴うハムストリングスの温度変化については検討しなかった。筋伸張性の変化は、筋の温度変化をある程度は反映する¹⁾が、筋の温度変化自体を検討することも極めて重要である。今後の研究では、深部体温計などを用いた筋の温度変化に関する検討も行われるべきである。

最後に、今後の展望について、本研究の結果から、HPおよびMWは、筋伸張性自体を向上させる可能性は低いものの、両者とも皮膚への温熱刺激を背景としたGCTに基づく筋伸張痛の軽減効果を得られる可能性が考えられた。この点を考慮すると、ストレッチングの前処置としてHPおよびMWを実施する場合、両者には同程度の効果が期待出来るのではないかと考えられる。冒頭でも述べたように、整形外科疾患の術後患者にストレッチングの前処置としての温熱療法を実施する場合、温熱療法を実施すべき部位付近に金属が存在する場合も多く、このような状況下ではMWは禁忌となる。一方、HPは、体内に金属が存在する場合でも実施可能であり、ストレッチングの前処置としての使用を考慮した場合、MWよりも適応範囲の広い温熱療法であると言える。今後、ストレッチングの前処置としてのHPの有効性に加えて、HPとストレッチングを併用した場合のトレーニング効果についても十分な検証が行われるべきであろう。

引用文献

- 1) 網本 和：物理療法学（第3版）。医学書院，東京，2008，pp50-61.
- 2) 山本双一，田村有香：物理療法研究の最近10年間の動向。高知リハビリテーション学院紀要，2001，3：25-30.
- 3) 網本 和：物理療法学（第3版）。医学書院，東京，2008，pp87-93.
- 4) 篠原英記，市橋則明，吉田正樹：伝導性温熱療法による筋伸張性の効果。運動生理，1993，8(2)：79-83.
- 5) 桑原拓也，饗場和美，豊岡浩介・他：反復性他動ストレッチングのハムストリングス伸張に及ぼす効果—温熱療法の併用効果について—。Kitakanto Med J，2008，58(2)：159-166.
- 6) Bandy WD, Irion JM: The effect of time on static stretch on the flexibility of the hamstrings muscles. *Phys Ther*, 1994, 74(9): 845-850.
- 7) Gajdosik R, Lusin G: Hamstrings muscle tightness: reliability of an active-knee-extension test. *Phys Ther*, 1983, 63(7): 1085-1088.
- 8) 岡崎倫江，那須千鶴，吉村和代・他：健康若年女性における月経周期中の大腿筋群筋硬度の変動。理学療法科学，2008，23(4)：509-513.
- 9) Draper DO, Knight K, Fujiwara T, et al.: Temperature change in human muscle during and after pulsed short-wave diathermy. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1999, 29(1): 13-18.
- 10) 宮崎善憲，柳本昭人，野寺和彦：中高年女性における柔軟性改善用補助台使用による立位前屈トレーニングの効果について。東京学芸大学紀要。芸術・スポーツ科学系，2007，59：85-91.
- 11) 中村 準，片平誠人：バレーボール選手に対するIDストレッチングが筋の柔軟性に与える影響。福岡教育大学紀要，2009，58(5)：65-69.
- 12) Draper DO, Harris ST, Schulthies S, et al.: Hot-pack and 1-MHz ultrasound treatments have an additive effect on muscle temperature increase. *J Athl Train*, 1988, 33(1): 21-24.
- 13) 古後晴基，村田 伸，村田 潤・他：ホットパックの乾熱法と湿熱法の違いが筋硬度に及ぼす効果。理学療法科学，2010，25(4)：631-634.
- 14) 森 和，高橋暁正：物理療法の実際（第6版）。南山堂，東京，1985，pp106-114.
- 15) Lehmann JF, Guy AW, Johnston VC, et al.: Comparison of relative heating patterns produced in tissues by exposure to microwave energy at frequencies of 2,450 and 900 megacycles. *Arch Phys Med Rehabil*, 1962, 43: 69-75.
- 16) 網本 和：物理療法学（第3版）。医学書院，医学書院，東京，2008，pp146-154.
- 17) Keegan JJ, Garret FD: The segmental distribution of the cutaneous nerves in the limbs of man. *Anatomical Record*, 1948, 102(4): 409-437.
- 18) Hislop HJ, Montgomery J: Muscle testing: techniques of manual examination. (8th ed.). Saunders, Missouri, 2007, pp216-221.
- 19) 中村重敏，森島 優，佐々木嘉光・他：痛みの評価尺度—VAS, NRS, McGill pain questionnaire, face scale—。理学療法，2006，23(1)：67-73.
- 20) Burton AR, Birznies I, Bolton PS, et al.: Effects of deep and superficial experimentally induced acute pain on skin sympathetic nerve activity in human subjects. *J Physiol*, 2009, 587(1): 183-193.
- 21) 喜納将克，金原一宏，大城昌平：痛みの感覚的評価と神経生理学的反応の関係—電気皮膚反射（GSR）と近赤外線分光法（NIRS）を用いた研究—。日本物理療法学会誌，2012，19：37-43.