

温冷交代刺激が筋疲労と自律神経活動に及ぼす影響

慶應義塾大学 名倉整形外科	澤田 智紀
(共同研究者) 同	大川原 洋樹
同	中島 大輔
名倉整形外科 慶應義塾大学	名倉 武雄

Effects of Alternating Heat and Cold Stimulation on Muscle Fatigue and Autonomic Nervous Activity

by

Tomonori Sawada, Hiroki Okawara, Daisuke Nakashima
Department of Orthopaedic Surgery, Keio University School of Medicine
Nagura Orthopedic Clinic
Takeo Nagura
Nagura Orthopedic Clinic
Department of Clinical Biomechanics, Keio University School of Medicine

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate an effective alternating heat and cold stimulation protocol for improving muscle fatigue, and to examine its effects on intramuscular hemodynamics and autonomic nervous system activity. The healthy adult male individuals were included and underwent a typing task to induce fatigue in the trapezius muscle, and then underwent a total of four intervention conditions: three alternating heat and cold stimulation conditions (a ratio of 3 min of heat stimulation to 1, 2, and 3 min of cold stimulation) and no stimulation condition using a wearable thermo device. Outcome measures were muscle hardness and subjective

symptoms. In addition, we evaluated muscle tissue hemodynamics with near-infrared spectroscopy and autonomic nerve activity using heart rate variability analysis during the intervention in which improvements were obtained in these items. Our results showed that alternating heat and cold stimulation at ratio of 3:1 protocol improved muscle hardness and subjective symptoms. Furthermore, the changes in oxygenated hemoglobin concentration and total hemoglobin concentration in the trapezius muscle and the LF/HF which is an index of sympathetic nerve activity increased after the 3:1 protocol. The current study demonstrated that local superficial alternating heat and cold stimulation affected the target muscle tissue and autonomic nerve activity.

要 旨

本研究は筋疲労の改善に効果的な温冷交代刺激プロトコルを検証するとともに、筋組織血流動態と自律神経活動へ及ぼす影響を検証することを目的とした。対象は健康成人男性とし、タイピング課題により僧帽筋に疲労を生じさせた上でウェアラブルサーモデバイスを用いた3つの温冷交代刺激条件と刺激なし条件の計4条件の介入を実施した。評価項目は筋硬度と主観的症状とした。さらに、これらの項目に関して改善が得られた介入条件における筋組織血流動態ならび心拍変動解析による自律神経活動を評価した。その結果、温刺激3分、冷刺激1分のプロトコルにおいて筋硬度と主観的症状の改善を認めた。また、同プロトコルの実施により、僧帽筋組織中の酸素化ヘモグロビン濃度変化量、総ヘモグロビン濃度変化量が上昇し、交感神経活動の指標である低周波成分/高周波成分比 (LF/HF) の増大を認めた。本研究により、局所的な表在性の温冷交代刺激が対象とする筋組織ならびに自律神経活動に影響を及ぼすことが明らかとなった。

緒 言

ヒトは古くから身体を温めたり水に浸したりすることで、痛みをはじめとしたさまざまな症状が

緩和することを経験的に体得し、実践してきた。入浴の歴史も非常に古く、特に古代ローマでは多くの温泉療養地が設立され、リウマチ、外傷などの治療に使用されていた。温冷交代浴は200年以上前から実施されている入浴法の一つであり、温水と冷水へ交互に浸かることで血管の拡張と収縮を促し、疲労もしくは損傷した筋組織の浮腫や炎症を軽減させる効果が期待されている¹⁾。また、精神的なリラックス効果も期待され、スポーツ現場ではアスリートに対して運動後の疲労回復手段として広く利用されているほか、リハビリテーション分野においても外傷や骨折後に生じる複合性局所疼痛症候群などの難治性疼痛の治療に用いられている。一方、温冷交代浴は大きな浴槽が必要、浴槽に浸かるたびに水温が変化するため一定の温度管理が困難、さらには複数名が使用する際の衛生的な問題などが存在していた。また、交代浴により表在部の血流増加と皮膚温の上昇をもたらすことが明らかになっている²⁾ものの、温水と冷水の温度設定やセット数、実施時間も諸家の報告によって様々であり、十分なエビデンスは確立されていない³⁾。

近年、ペルチェ素子を用いることで温冷刺激の制御およびプロトコル組みが可能なウェアラブルサーモデバイスが開発され、生体に対して局所的な温熱および冷却刺激をより簡便かつ正確に与え

ることが可能となった。これまでの想定使用用途は局所を冷やす、もしくは温めるのみであったが、我々は本機器を交代浴と同様の用途として応用できる可能性を感じ、当研究を着想するに至った。これまでに我々は肩関節周囲筋の疲労に対し同デバイスを用いて温冷交代刺激の介入を行い、正確に皮膚表面温度の増減が繰り返されていることを確認した⁴⁾。さらに、温冷交代刺激により筋疲労が改善し、温冷刺激のうち特に冷却時の温度変化が大きいほど僧帽筋の筋硬度の改善が得られることを証明した⁴⁾。すなわち、温熱単独の刺激よりも温冷交代刺激が表在部の血流増加ならびに筋組織を含む軟部組織の粘弾性改善に長けた介入である可能性が示唆された。

本研究では、精密な温度管理が可能な利点を生かし、温冷プロトコルを変えることで、どのような刺激がさらなる筋疲労の改善を惹起するかを検証するとともに、局所性の温冷交代刺激が筋組織血流動態と自律神経活動へ及ぼす影響を近赤外線分光法ならびに心拍変動解析を用いて評価し、科学的にその症状改善を評価することを目的として実施した。

1. 研究方法

1. 1 対 象

本研究では2つの研究プロトコルを実施した。研究1では健康成人男性19名（年齢 22.3 ± 4.5 (mean $\pm$ SD) 歳、身長 176.1 ± 6.5 cm、体重 71.3 ± 12.1 kg)、実験2では健康成人男性8名（年齢 20.6 ± 0.7 歳、身長 174.3 ± 6.7 cm、体重 71.0 ± 12.9 kg）を対象とした。本研究はヘルシンキ宣言に基づき実施し、また事前にピーワン・クリニックの倫理委員会の承認を得た。参加者全員に対して書面により研究内容および目的を十分に説明し、参加への同意を得た上で実施した。

1. 2 測定手順

研究1) 僧帽筋筋疲労に対する温冷交代刺激の最適プロトコルの検証

研究1では研究を通して被験者に計4回実験室に来訪してもらった。実験室の室温は $24 \sim 26^{\circ}\text{C}$ に設定した。使用する機器はウェアラブルサーモデバイス (REON POCKET, ソニー株式会社, 東京), 筋硬度計 (NEUTONE TDM-Z2, 有限会社トライオール, 千葉), データロガー (midi LOGGER GL840, グラフテック株式会社, 横浜) とした。先行研究を参考に、15分間のタイピング課題⁵⁾により僧帽筋上部線維（以下、僧帽筋）に疲労を生じさせた上で介入を実施した。介入は温熱刺激3分に対して、冷却刺激1分、2分、3分の温冷交代刺激（5セット、時間20～30分）と刺激なしの4条件とした。タイピング課題後に安静座位の状態で利き手側の僧帽筋線維上にREON POCKETを設置して各4条件の介入を実施した。当該デバイスの温冷刺激領域は 4.5×5.5 cmの長方形型であり、僧帽筋筋腹中央（第七棘突起と肩峰外側端を結ぶ中点の2cm外側）に刺激領域の中心が重なるように設置した。なお、刺激なし条件はデバイスの電源を入れずに20分の安静座位とした。すべての被験者は、4条件の実験に参加した。介入の実施順序は無作為とし、各条件の間は1週間以上空けた。刺激部位の皮膚温度に関して、データロガーを用いて記録した。評価項目は筋硬度計による筋硬度ならびに同部位の主観的症状（張り感、疲労感）とした。主観的症状に関しては、0（なし）から10（最悪の状態）の11ポイントのスケールで聴取した。各項目に関して、ベースライン、タイピング後、介入後の3つの時点で評価を行った。

以上のプロトコルにより、4条件間で筋硬度と主観的症状の変化を比較し、筋疲労の改善が最も得られる温冷交代刺激プロトコルを明らかにした。

研究2) 温冷交代刺激が筋組織血流動態ならびに自律神経活動に及ぼす影響の検証

研究2では研究1の結果を受けて筋疲労の改善が最も得られた介入条件を採用して研究1と同様のプロトコルを実施した。使用機器は研究1に加えて、近赤外線組織酸素モニター (NIRO-200NX; 浜松ホトニクス, 浜松), 心拍計 (MWT-001; アームエレクトロニクス株式会社, 小平) とした。

評価項目は筋組織血流動態ならびに心拍パラメータを追加した (具体的な項目に関しては3. データ解析で後述)。評価のタイミングは温冷交代刺激介入前後の2つの時点とした。

以上のプロトコルから、最適な温冷交代刺激が筋組織血流動態ならびに自律神経活動へ及ぼす影響を検証した。

1. 3 データ解析

研究1)

僧帽筋の筋硬度評価は、訓練を受けた検者 (澤田) が筋硬度計を用いて実施した。我々の以前の研究により、僧帽筋の筋硬度測定において、優れた検者内信頼性を有することが報告されている (ICC [1,5] = 0.992-0.995)⁶⁾。なお、当該機器の測定値には単位がない (0 ~ 100の間で表示) ため、メーカーが推奨する以下の換算式を用いてNに換算した。

$$N = 0.023 \times \text{測定値} + 0.532$$

測定は上述した僧帽筋筋腹中央部で行い、1回の評価につき5回測定を行い、その平均値を採用した。

研究2)

温冷交代刺激介入時の僧帽筋の筋組織血流動態に関して、近赤外線組織酸素モニターによる近赤外線分光法 (Near Infra-Red Spectroscopy ; NIRS) を用いて評価した。照射 - 受光幅 4cm のプローブを温冷交代刺激領域部に隣接した僧帽筋上に貼付し、Modified Beer-Lambert法の原理に基づく、

酸素化ヘモグロビン濃度変化量 (Δ OxyHb), 脱酸素化ヘモグロビン濃度変化量 (Δ DeoxyHb), Δ OxyHbと Δ DeoxyHbの総和である総ヘモグロビン濃度変化量 (Δ TotHb) を算出し、2Hzにて連続的にデータを取得した。本研究では主に Δ TotHbを局所の血流量を反映する指標として用いた⁷⁾。NIRSによる測定は筋硬度ならびに主観的症状の評価の後に開始し、モニター上に表示された各評価項目の数値が安定したことを確認した上で2分間の安静データを取得した。その後、刺激介入中も継続してデータを記録し、介入終了直後から2分間の安静データを取得したことを確認して測定を終了した。NIRS測定後に筋硬度と主観的症状の再評価を実施した。得られた筋血流動態データに関して、刺激介入前後2分間の平均値を比較した。

心拍変動解析に関しては専用の解析ソフト (血圧計・心拍変動解析ソフト meijin ; クロスウェル株式会社, 横浜) を用いて下記の通りに実施した。はじめに温冷交代刺激介入に先立ち、被験者の胸部に心拍計を装着した。筋硬度と主観的症状の評価後、NIRSと同様の手順で心拍測定を開始した。QRS波から次のQRS波までの感覚であるRR間隔を1000Hzにて収集し、最大エントロピー法を用いて、30秒間の心拍変動を1拍ごとずらしながら高周波成分 (HF; 0.15 ~ 0.4Hz) と低周波成分 (LF; 0.04 ~ 0.15Hz) の2つのパワースペクトル成分を算出した。測定項目は心拍数 (HR), HF, LF, LF/HF, RR間隔変動係数 (CVRR [%]; その1拍も含めた直前30秒間のRR間隔の標準偏差/平均値 $\times$ 100) とし、連続的にデータを取得した。得られた連続データから、刺激介入前後2分間の平均値を比較するとともに、介入中の温熱刺激と冷却刺激の平均値を比較した。本研究では主にHFを副交感神経活動、LF/HFを交感神経活動の指標として用いた⁸⁾。

1. 4 統計解析

統計学的解析にはIBM SPSS Statistics Version 27 (日本アイ・ビー・エム株式会社)を使用し、いずれも有意水準は5%未満とした。

研究1)

各刺激条件における筋硬度、主観的症状の比較には条件(温3冷1交代刺激、温3冷2交代刺激、温3冷3交代刺激、刺激なし)と測定ポイント(ベースライン、タイピング後、介入後)の2要因による二元配置反復測定分散分析(two-way repeated ANOVA)を行い、主効果および交互作用の有無を検証した。主効果または交互作用が認められた場合、Bonferroni法を用いた多重比較検定を実施した。以上の結果から、筋硬度ならびに主観的症状の改善が得られた刺激条件を決定した。また、改善が得られた条件において筋硬度と主観的症状の変化(介入後-タイピング後の値で算出)との関連を検証するために、Spearmanの順位相関係数を用いた。

研究2)

僧帽筋組織血流動態ならびに心拍パラメータに関して、温冷交代刺激前後2分間の平均値の比較のために対応のあるt検定もしくはWilcoxonの符号順位検定を用いて検証した。

2. 結 果

研究1)

僧帽筋筋硬度の結果を図1に示す。測定ポイントで主効果を認め、事後検定の結果、ベースラインと比較してタイピング後に有意に高値を示した。さらに条件と測定ポイントで交互作用を認めた。事後検定の結果、温3冷1交代刺激条件でのみタイピング後と比較して介入後に低値を認めた。他の刺激条件ではタイピング後と介入後の数値の間で有意差を認めなかった。

主観的症状の結果を図2に示す。張り感および疲労感に関して、測定ポイントで主効果を認め、

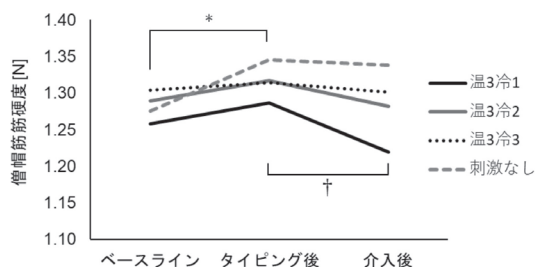


図1 僧帽筋筋硬度 (n=19)

*:測定ポイントで主効果を認め ($p<0.05$)、Bonferroni法を用いた多重比較の結果、ベースラインとタイピング後で差を認めた ($p<0.05$)。†:条件と測定ポイントで交互作用を認め ($p<0.05$)、温3冷1交代刺激条件におけるタイピング後と介入後で差を認めた ($p<0.01$)。

事後検定の結果、ベースラインと比較してタイピング後に有意に高値を、またタイピング後と比較して介入後に低値を示した(図2A, B)。さらに、張り感に関しては交互作用も認め、介入後の測定ポイントにおける温3冷1条件の値は刺激なし条件の値と比較して有意に低値を示した(図2A)。

筋硬度ならびに主観的症状で改善を認めた温3冷1条件における、筋硬度と主観的症状の関連性を図3に示す。相関分析の結果、介入による筋硬度の変化と主観的症状の変化との間に有意な関連は認めなかった。

研究2)

研究1の結果、複数の温冷交代刺激プロトコルのうち、温熱刺激3分、冷却刺激1分の温3冷1交代刺激で筋硬度ならびに主観的症状の改善が得られたため、当該プロトコルにおける筋組織血流動態ならびに自律神経活動の変化を検証した。はじめに温3冷1交代刺激中の僧帽筋組織内ヘモグロビン濃度変化量の代表例を図4に示す。介入の経過とともに Δ OxyHb、 Δ TotHbが上昇した。その結果、刺激前後2分間の平均値の比較において、刺激後の Δ OxyHbならびに Δ TotHbは刺激前の値と比較して有意に高値を認めた(図5)。

次に心拍データの代表例を図6、刺激前後2分間の心拍変動パラメータの結果を図7に示す。LF、LF/HF、CVRRに関して、刺激前と比較して刺激後に有意に高値を認めた。さらに、これらの

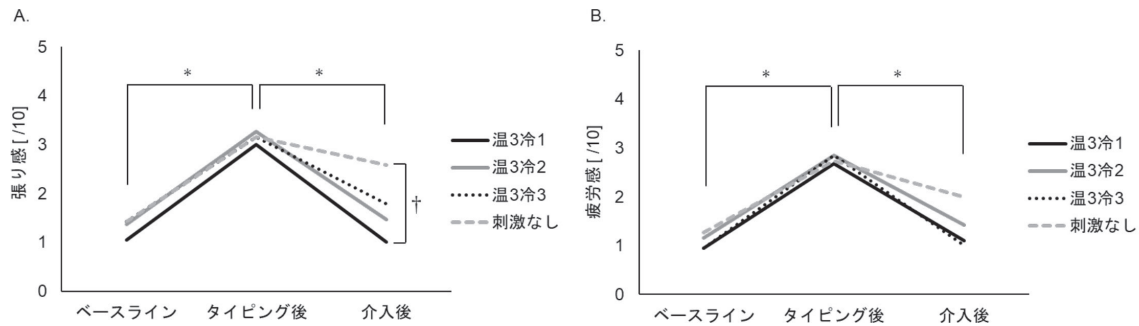


図2 主観的症状 (A. 張り感, B. 疲労感) (n=19)

*:測定ポイントで主効果を認め ($p<0.01$), Bonferroni法を用いた多重比較の結果, ベースラインとタイピング後, タイピング後と介入後で差を認めた (いずれも $p<0.01$). †: 条件と測定ポイントで交互作用を認め ($p<0.05$), 介入後の測定ポイントにおいて温 3冷 1条件と刺激なし条件との間で差を認めた ($p<0.01$).

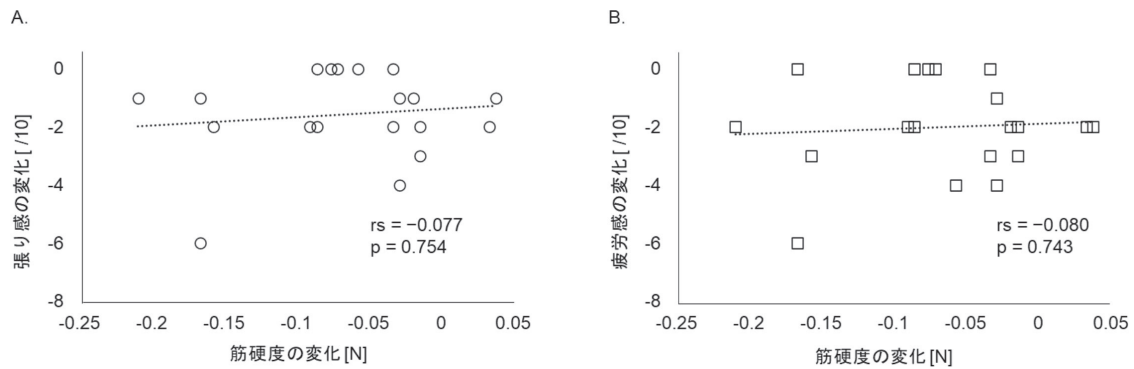


図3 温3冷1刺激介入による筋硬度と主観的症状との関連性 (n=19)

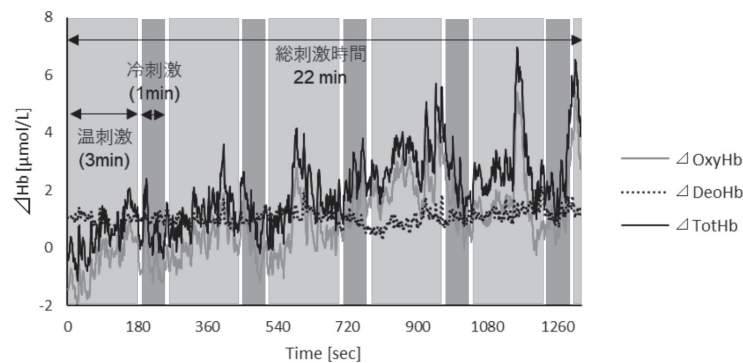


図4 温3冷1交代刺激中の筋組織内ヘモグロビン変化量の代表例

パラメータに関して, 交代刺激中の温刺激 (3分×5セット) と冷刺激 (1分×5セット) の平均値で比較した結果, 冷刺激中のLF, LF/HFが温刺激中の値と比較して有意に高値を示した (図8). なお, 心拍数 (HR) に関しては刺激前後2分間ならびに刺激介入中の温刺激と冷刺激で比較しても有意差は認めなかった.

3. 考 察

研究1の結果, 複数の温冷交代刺激プロトコルのうち, 温刺激3分, 冷刺激1分の温3冷1交代刺激により筋硬度の改善と主観的症状の改善が得られることが明らかとなった. 疲労とは, 疲れたという感覚とそれに伴う筋肉のパフォーマンスや機

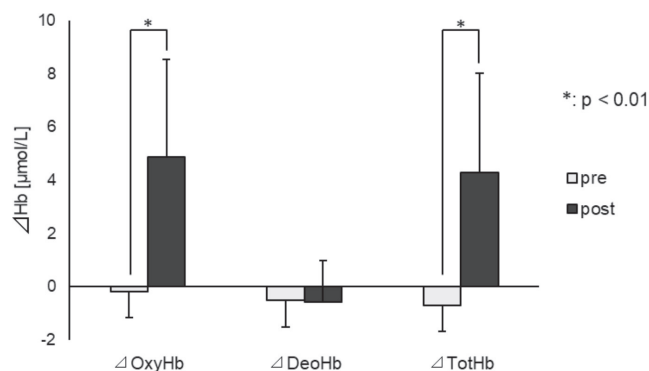


図5 温3冷1交代刺激前後の筋組織内ヘモグロビン変化量 (n=8)

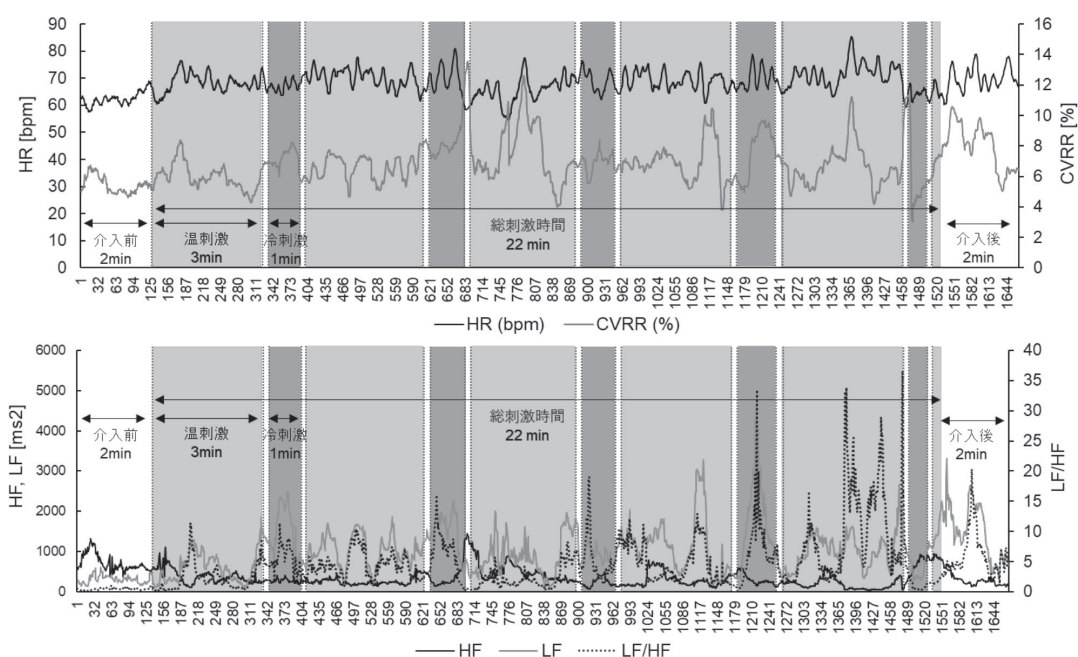


図6 温3冷1交代刺激中の心拍データの代表例

能の低下と定義される⁹⁾。また、疲労の原因となる反復運動のうち、特にデスクワークによる作業は筋骨格系の障害と密接に関連すると考えられている¹⁰⁾。一般的に筋肉は、筋損傷、スパズム、浮腫のような病的な状態で硬くなる¹¹⁾。したがって、筋硬度の評価は持続的な筋収縮に伴う筋疲労の評価に有用といえる。今回の研究では先行研究⁵⁾に準じてノート型パソコンを用いた15分間のタイピングを疲労課題として設定し、僧帽筋への筋疲労を惹起させた。その結果、ベースライン時と比較してタイピング後に僧帽筋の筋硬度の値が

上昇し、さらに張り感ならびに疲労感といった主観的評価指標に関しても増大を認めた。そのため、いわゆる筋疲労の惹起という点では適切な課題であったことが考えられる。本研究の重要な知見は、疲労を生じた僧帽筋に対する温冷交代刺激介入には従来の温冷交代浴で用いられるような温3：冷1のプロトコルが有用であったという点である。我々の先行研究では筋硬度の改善には温熱刺激単独と比較して温刺激3分、冷刺激1分の交代刺激が有効であることを報告した⁴⁾。一方、筋硬度の改善には冷刺激による皮膚温度の低下の程度なら

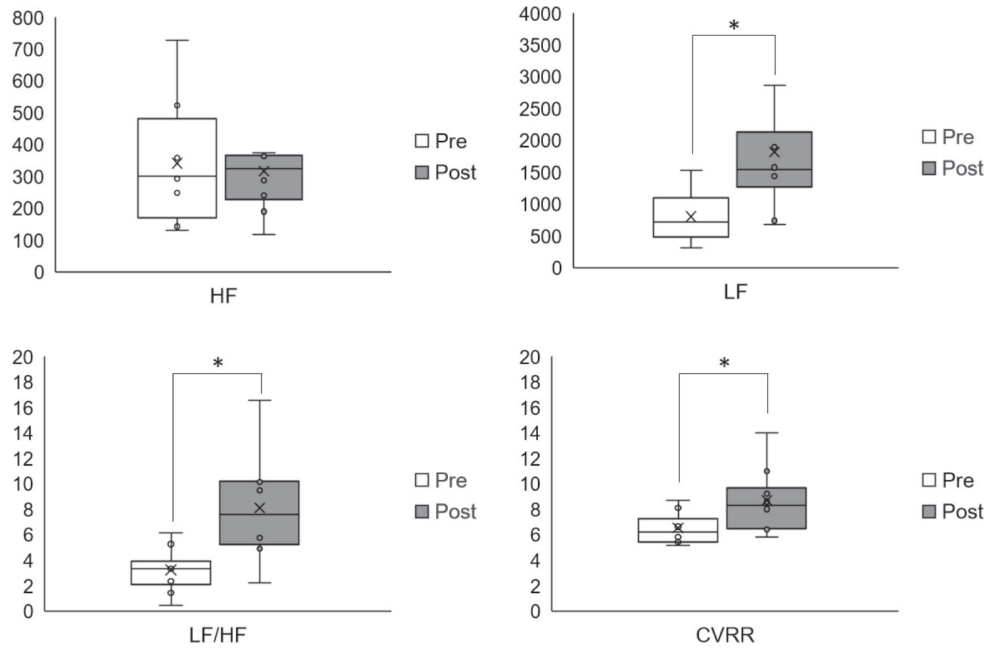


図7 温3冷1交代刺激前後の心拍変動パラメータ (n=8)

*:p<0.05

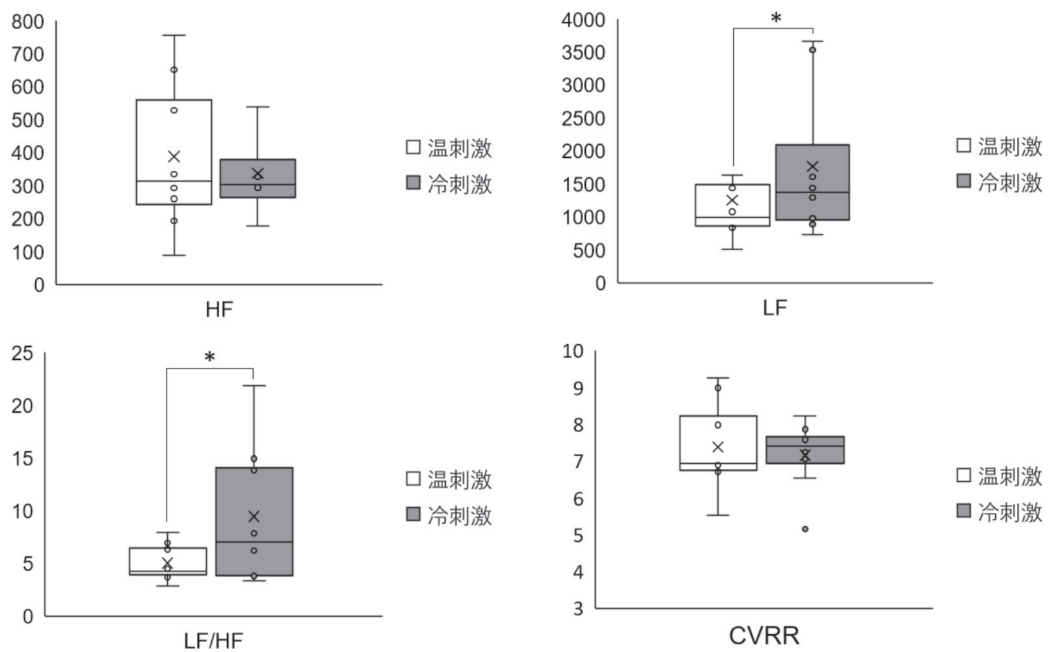


図8 温3冷1交代刺激中の温刺激と冷刺激の心拍変動パラメータ (n=8)

*:p<0.05

びに低下時間と関連があることを示した。温熱療法で期待されている効果として、表在組織の血流量改善、関節を含む末梢組織の伸張性向上があげ

られており、本研究の結果は冷刺激による低下時間が長くなるとその効果が相殺される可能性を示唆している。以上をまとめると、上記の温熱効果

に付加的な効果を期待するための温冷交代刺激のプロトコルとしては、冷刺激時間を延長させるのではなく、刺激の強度を強くするような工夫が必要であることが示唆された。

一方で、温3冷1交代刺激における筋硬度の変化と主観的症状の変化との間には統計学的有意な関連を認めないことが明らかとなった。筋硬度計による筋硬度評価は体表面から加圧して測定するため、対象筋の周辺組織（皮膚、皮下脂肪組織、隣接筋、骨）の影響を受ける¹¹⁾。主観的症状の改善を客観的に評価する上では筋硬度の測定のみでは不十分という結果となった。

研究1の結果を受けて、研究2では筋疲労に有効な温3冷1交代刺激プロトコルにおける筋組織血流動態ならびに自律神経活動の影響を検証した。その結果、介入後の僧帽筋組織中の Δ OxyHbならびに Δ TotHbは介入前と比較して有意に増加し、筋血流量の増大が示唆される結果を示した。温冷交代浴で期待される生理学的効果として、組織の血流と酸素供給を増加させ、組織の治癒・回復を促進することとされている。実際、下肢に対する部分交代浴の実施により、下腿三頭筋の Δ OxyHbならびに Δ TotHbが増加することが報告されている¹²⁾。本研究で用いたウェアラブルサーモデバイスは単一の装置でより簡便に温冷交代刺激が実施可能である反面、刺激面積や強度に関しては小型ゆえに弱点ともいえる。しかしながら、今回対象とした僧帽筋自体の血流動態の変化が得られたことは、本デバイスを用いた温冷交代刺激が筋疲労改善を目的とした介入手段として、期待できることが示唆された。

さらに、心拍変動解析の結果、温3冷1交代刺激の介入により心拍変動パラメータに影響を及ぼすことが明らかとなった。特に、交感神経活動の指標とされている、LF/HFの増大を認め、さらに交代刺激のうち冷刺激でその増加が大きいことがわかった。一般的に、身体局所が冷却されると、

過度な皮膚温の低下を防ぐ目的で、末梢血管の収縮と血流量の低下が起こり、これらの反応は体温調節中枢である視床下部を介した交感神経活動の亢進が関与するとされている¹³⁾。反対に交感神経活動の抑制が血管拡張、血流量の増加に作用することを考えると、筋血流量増加、交感神経活動亢進という本研究結果はこれまでの報告とは矛盾する結果となった。温冷交代刺激という特殊な条件が交感神経活動の亢進に関与した可能性もあるため、今後、温熱単独、冷却単独刺激との比較を行うなどして検証を進めていきたい。

本研究の限界としては、以下の項目があげられる。はじめに本研究の対象者はすべて健康成人男性であった。したがって、女性や高齢者、また肩関節周囲筋に疼痛を有する症例に対して本結果を適用し解釈するには注意が必要である。また、研究2における被験者数が8名と少なかった。今後、被験者数を増やし、筋組織血流動態ならびに自律神経活動の変化と研究1で用いた筋硬度と主観的症状との関連に関して検証を進めていく予定である。

4. 結 論

本研究により筋硬度ならびに主観的症状の改善には温刺激3分、冷刺激1分の交代刺激プロトコルが有効であることが明らかとなった。また、局所的な表在性の温冷交代刺激でも筋組織の血流動態、自律神経活動へ影響を及ぼすことがわかった。

謝 辞

本研究に対して助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Cochran D.J., Alternating hot and cold water immersion for athlete recovery: a review, *Phys. Ther.*

- Sport.*, 5:26-32(2004)
- 2) Breger Stanton D.E., Lazaro R., Macdermid J.C., A systematic review of the effectiveness of contrast baths, *J. Hand. Ther.*, 22:57-69(2009)
 - 3) Bieuzen F., Bleakley C.M., Costello J.T., Contrast water therapy and exercise induced muscle damage: a systematic review and meta-analysis, *PLoS One*, 8:e62356(2013)
 - 4) Sawada T., Okawara H., Nakashima D., Iwabuchi S., Matsumoto M., Nakamura M., Nagura T., Effects of alternating heat and cold stimulation using a wearable thermo-device on subjective and objective shoulder stiffness, *J. Physiol. Anthropol.*, 41: 1 (2022)
 - 5) Horikawa M., Effect of visual display terminal height on the trapezius muscle hardness: quantitative evaluation by a newly developed muscle hardness meter, *Appl. Ergon.*, 32:473-478(2001)
 - 6) Sawada T., Okawara H., Nakashima D., Iwabuchi S., Matsumoto M., Nakamura M., Nagura T., Reliability of trapezius muscle hardness measurement: a comparison between portable muscle hardness meter and ultrasound strain elastography, *Sensors*, 20:7200 (2020)
 - 7) Boushel R., Langberg H., Olesen J., Gonzales-Alonzo J., Bülow J., Kjaer M., Monitoring tissue oxygen availability with near infrared spectroscopy (NIRS) in health and disease, *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 11:213-222(2001)
 - 8) Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use, *Circulation*, 93:1043-1065(1996)
 - 9) Abbiss C.R., Laursen P.B., Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling, *Sports. Med.*, 35:865-98(2005)
 - 10) Björklund M., Crenshaw A.G., Djupsjöbacka M., Johansson H., Position sense acuity is diminished following repetitive low-intensity work to fatigue in a simulated occupational setting, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 81:361-367(2000)
 - 11) Murayama M., Nosaka K., Yoneda T., Minamitani K., Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 82:361-367(2000)
 - 12) Shadgan B., Pakravan A.H., Hoens A., Reid W.D., Contrast Baths, Intramuscular Hemodynamics, and Oxygenation as Monitored by Near-Infrared Spectroscopy, *J. Athl. Train.*, 53:782-787(2018)
 - 13) 本田祐一郎, 沖田実, 物理療法と自律神経機能測定, 理学療法, 38:511-518(2021)