

表題：

低出力レベルレーザー照射が筋疲労の予防効果に及ぼす影響
—筋硬度を指標として—

著者名：

益 賢明*¹ 澤田 規*²

*¹平成医療学園専門学校 *²宝塚医療大学 保健医療学部

要旨：

【目的】スポーツ競技者の筋疲労や痛みを改善する方法として低出力レベルレーザー照射（LLLT）が注目されているが明らかになっていないことが多い。そこで本研究は実験的に下腿筋に筋疲労を作成し、筋硬度、筋疲労、痛みの強度を指標に LLLT 照射が筋疲労の予防効果に及ぼす影響について検討を行った。

【方法】下肢に疾患のない男性健常者 4 名を対象とし、骨格筋電気刺激（EMS）として 20Hz と 100Hz を下腿筋に通電し筋疲労を作成しデータを取得した。筋硬度の評価は超音波エラストグラフィ機能を用いて strain ratio の測定を行い、Visual analogue scale および痛みの強度についても評価を行った。なお LLLT は前脛骨筋の筋腹中央部に照射した。

【結果】筋硬度の結果については、20Hz および 100Hz とともにコントロール群に比べ LLLT 照射群の値が低い傾向を示した。また、筋疲労に対する VAS 値の結果は 20Hz および 100Hz とともにコントロール群に比べ LLLT 照射群の値が低い傾向を示した。さらに痛み度の結果についても 20Hz および 100Hz とともにコントロール群に比べ LLLT 照射群の方が低い傾向を示した。

【結論】実験的に作成した筋疲労に対して LLLT 照射を行った結果、筋硬度、筋疲労および痛み度はコントロール群より低い傾向を示した。このことより LLLT 照射は筋疲労の予防効果に対し有効であることが示唆された。

キーワード：

低出力レベルレーザー、筋硬度、筋疲労、痛み、超音波エラストグラフィ

緒言

近代スポーツでは競技者全体の技術が向上し、大会の成績や記録の向上など他の選手との差を生み出すことができるのはごくわずかである。そのわずかな差を生み出すために競技者や指導者のみならずスポーツ界には各種関係者が存在する。その中において、われわれ柔道整復の分野では競技者の身体的なパフォーマンスの維持向上だけでなく運動によって生じる痛みの抑制や症状の改善を目的に施術を行う事が多い。

競技者がパフォーマンスを低下させる要因の1つに筋疲労がある。筋疲労とは一般的に「運動によって引き起こされる筋力・筋パワーを生み出す能力の低下」と定義され¹⁾、筋疲労が蓄積されるとパフォーマンスの低下のみならず、ケガや二次的障害を引き起こす可能性があり、痛みとパフォーマンスの関係性²⁾も報告されている。そのため、筋疲労や痛みを改善する方法として様々な物理療法や手技療法が行われているが、近年、低出力の光線療法 (Low reactive level laser/light therapy: LLLT) が注目されている。LLLT は生体への安全性が高く、臨床効果が広く認められ慢性疼痛や軟部組織損傷に対する有効性³⁾や、筋疲労^{4), 5), 6), 7)}に対する有効性⁸⁾も広く知られている。しかし、柔道整復の分野においてヒトを対象とした LLLT の研究については少ないのが現状である。軟部組織損傷を評価する一つ的手段として筋疲労に対する評価がある。その評価方法は多岐にわたるが、近年、筋硬度がその指標のひとつとして注目されている⁹⁾。筋硬度は、運動負荷や疲労状態などの生理的刺激によって変化し、筋硬度の上昇はパフォーマンスの低下を引き起こすため筋硬度測定が行われるようになってきた。従来、筋硬度の測定は押し込み式の筋硬度計が主流であったが、皮下直下に存在する皮下脂肪の影響を含んでいる可能性があり¹⁰⁾現在は超音波診断装置を用いて筋硬度を測定する超音波エラストグラフィが主流となっている¹¹⁾。

そこで今回、われわれはヒトを対象とする筋疲労の研究において、電気刺激時の周波数によって発揮張力の減衰速度が異なる現象を利用して、筋疲労が起こりにくい赤筋（遅筋）の活動周波数帯（約 20～50Hz）と、起こりやすい白筋（速筋）の活動周波数帯（約 70～100Hz）¹²⁾に着目し、骨格筋電気刺激 (Electrical Muscle Stimulation: EMS) の繰り返しにより、実験的に下腿筋に筋疲労を作成し、筋硬度、筋疲労、痛みの強度を指標に LLLT 照射が筋疲労の予防効果に及ぼす影響について検証したので報告する。

対象

本研究を実施するにあたり口頭にて説明を行い、文章にて同意を得た下肢

に疾患のない男性健常者 4 名 4 脚、平均年齢 19.8 ± 1.0 歳、平均身長 169.0 ± 6.7 cm、平均体重 60.0 ± 6.1 kg、平均 BMI 20.3 ± 2.4 kg/m² の非利足を対象とした。なお、本研究は平成医療学園専門学校研究倫理委員会の承認（令倫 04-1）を得て実施した。

方法

1. 筋疲労の作成方法

筋疲労の作成部位は非利き足の前脛骨筋とした。骨格筋電気刺激装置としてイトー ESPURGE（伊藤超短波製）を使用し、 5×5 cm の EMS 用電極パッドを前脛骨筋の筋腹中央から上下に 3 cm 離れた部位（図 1）に貼付した。

電気刺激は被検者の耐えることのできる強さとし、 $200 \mu\text{s}$ の二相性短形波固定変調で通電 6 秒、休止 2 秒を 20 分繰り返した。なお、筋疲労を作成するための EMS の周波数は遅筋を対象とした 20 Hz と速筋を対象とした 100 Hz の 2 種類を行った。

2. 評価方法

1) 筋硬度の評価方法について

対象は前脛骨筋とし、筋を弛緩させた状態で評価した。測定方法は超音波診断装置 HI VISION Avius（日立メディコ社製）とプローブ（EUP-75）を利用し RTE（図 2）機能を用い、硬度基準物質である音響カプラ（富士フィルムヘルスケア社製）と対象筋との歪み比から算出される strain ratio を計測した。

筋硬度の測定は通電前、通電開始 20 分、通電終了 5 分後にそれぞれ 2 回測定を実施し平均値を用いた。

2) 筋疲労の評価方法について

100 mm の Visual analogue scale (以下 VAS 値) を用いて評価した。VAS の測定は通電開始 5 分、10 分、15 分、20 分、通電終了 5 分後に実施した。

3) 痛み度の評価方法について

痛み度の評価方法については、知覚・痛覚定量分析装置ペインビジョン（ニプロ株式会社製）を用いて測定した。これは、電流知覚閾値（患者が感じる最小電気刺激量）と痛み対応電流値（痛みと等価の電流量）から痛み度の計算式により数値化できる装置であり、客観的な痛みの評価として^{13,14)}、通電終了 5 分後に測定を実施した。

実験方法

1. LLLT の照射方法

LLLТ 照射はソフトレーザー JQ-W1 (ミナト医科学社製) を使用し、通電開始直前に前脛骨筋の筋腹中央部 (図 1) に出力 180mW で 1 分間の照射を行った。なお照射間隔は 1 分間のインターバルを設け 3 回照射した。

2. EMS による刺激方法について

EMS の周波数は 20Hz と 100Hz の 2 種とした。被験者に対する刺激方法は、クロスオーバー法を用い、LLLТ 照射なしのコントロール群および LLLТ 照射ありの LLLТ 照射群に対してランダムに実施した。なお、刺激は最低 10 日以上の休止期間を設定した。

結果

1. 筋硬度の結果

20Hz の筋硬度のデータ 4 例を図 3 に示す。20Hz の筋硬度は通電開始から 20 分以降の値がコントロール群に比べ LLLТ 照射群の値が低い傾向を示した。

100Hz の筋硬度のデータ 4 例を図 4 に示す。100Hz の筋硬度も通電開始から 20 分以降の値がコントロール群に比べ LLLТ 照射群の値が低い傾向を示した。

2. 筋疲労に対する VAS 値の結果

20Hz の筋疲労に対する VAS 値のデータ 4 例を図 5 に示す。20Hz の筋疲労に対する VAS 値は通電開始からコントロール群に比べ LLLТ 照射群の値が低い傾向を示した。

100Hz の筋疲労に対する VAS 値のデータ 4 例を図 6 に示す。100Hz の筋疲労に対する VAS 値も通電開始からコントロール群に比べ LLLТ 照射群の値が低い傾向を示した。

3. 知覚・痛覚定量分析装置による痛み度の結果

20Hz の痛み度のデータ 4 例を図 7 に示す。20Hz の痛み度の値は 20Hz コントロール群に比べ LLLТ 照射群の値が低い傾向を示した。

100Hz の痛み度のデータ 4 例を図 8 に示す。100Hz の痛み度の値もコントロール群に比べ LLLТ 照射群の値が低い傾向を示した。

考察

今回、実験的に筋疲労モデルを作成し筋硬度、筋疲労、痛みを指標に LLLT 照射が筋疲労の予防効果に及ぼす影響について検証を行った。

超音波エラストグラフィは Shear Wave Elastography と Real-time Tissue Elastography(以下 RTE)が用いられている。今回はこの RTE を用いて評価を行った。この方法は超音波診断装置のプローブをわずかに動かし微小な圧迫を加えることによって生じる組織のひずみを計測するものである。軟らかい組織ほど大きく変形し、硬い組織はあまり変化しないという特性を利用しリアルタイムに記録を解析する。超音波診断装置の画面において解析により得られた歪み画像を撮影範囲内の相対的な硬さとして半透明にカラー表示し、Bモード画像上に重ね合わせたものが RTE となり、硬度基準物質である音響カプラと対象筋との歪み比から算出される strain ratio を計測し硬い組織（歪み比が小さい）ほど高い値を示す。今回は、この機能を用いて筋硬度の評価を行った。

筋硬度は、筋の緊張や組織の短縮によって増加するだけでなく、組織の容量変化による内圧増加でも増大するため組織の血液量や体液の貯蓄などの循環要因に影響を受ける。今回の結果では、20Hz および 100Hz とともに筋硬度がコントロール群に比べ LLLT 照射群の値が低い傾向を示した。これは先行研究の報告通り^{3), 4), 5), 6), 7)}、炎症抑制作用や局所の循環改善作用を有する LLLT 照射が局所の血流循環が改善され筋硬度に影響を及ぼしたと考えられる。また、筋疲労に対する VAS 値は 20Hz および 100Hz とともに通電開始からコントロール群に比べ LLLT 照射群の値が低い傾向を示した。筋疲労は、中枢性疲労と末梢性疲労の 2 種類に分類され、本実験の筋疲労モデルは末梢性疲労が主要因と考えられる。末梢性疲労は筋収縮力や収縮速度の低下が生じる現象であるが、エネルギー代謝における ATP の枯渇が大きな要因であり、LLLT 照射により局所の血流循環が改善され、疲労物質であるクレアチニンキナーゼ及び乳酸の生成過程で発生する H⁺の影響に伴う pH の低下や筋収縮のエネルギー源となる ATP 合成が高まった事により筋疲労が軽減され、筋疲労に対する VAS 値が低い傾向を示す結果につながったと考えられる。

痛み度の結果については 20Hz および 100Hz とともにコントロール群に比べ LLLT 照射群の値が低い傾向を示した。先程と同様に、LLLT 照射により局所の血流循環が改善され、発痛物質などの代謝産物が除去されたことによって痛みの抑制が起こったと考えられる。先行研究において、LLLT 照射による痛みの緩和効果についての報告^{3), 4), 5), 6), 7) 8), 15)}はあるが、客観的な痛みの評価をした報告は少ない。一般的に痛みの評価には主観的な評価として VAS を用いることが多い。VAS は主観的評価として簡便に利用が可能だが正確な評

価をすることが困難な場合もある。また、評価は個人の痛みの変化の流れを捉える事ができても、個人間の相対的な痛みの比較や定量的な分析は困難である。今回、痛みを数値化することにより LLLT 照射の痛みに対しての効果を評価した結果、本実験では LLLT 照射による痛みの抑制が示唆された。

今回の実験では LLLT 照射が筋疲労の予防効果に有効であると示唆されたが、今後は更に症例数を重ね、筋疲労の作成方法や LLLT の照射時間等の違いについて詳細な検討を加える必要がある。

まとめ

実験的に筋疲労モデルを作成し、LLLT 照射が筋疲労の予防効果に及ぼす影響を検証する目的で研究を行い次の結論を得た。

1. 筋硬度については、20Hz および 100Hz とともにコントロール群に比べ LLLT 照射群の値が低い傾向を示した。
2. 筋疲労に対する VAS 値については、20Hz および 100Hz とともに通電開始からコントロール群に比べ LLLT 照射群の値が低い傾向を示した。
3. 痛み度については、20Hz および 100Hz とともにコントロール群に比べ LLLT 照射群の値が低い傾向を示した。
4. 今回の実験結果から LLLT 照射は筋疲労の予防効果に対し有効であると示唆された。

引用文献

- 1) 松浦亮太「筋疲労を再定義する」『北海道大学大学院教育学研究院紀要』第 125 巻、2016、p. 91-109
- 2) 原田幹生、高原政利、丸山真博 et al「ジュニアテニス選手のパフォーマンスに關与する因子についての検討 体の痛みや身体所見との關係」『日本臨床スポーツ医学会誌』第 25 巻第 1 号、2017、p. 24-29
- 3) 森本祐介「スポーツ障害に対する LLLT の効果」『日本レーザー医学会誌』第 38 巻第 4 号、2018、p. 446-449
- 4) 村山光義「筋疲労改善に対する LLLT・LEDT の効果」『日本レーザー医学会誌』第 38 巻第 4 号、2018、p. 432-438
- 5) 櫛引俊宏、平沢壯、大川晋平 et al「低出力レーザーの生体作用」『日本レーザー医学会誌』38 巻第 4 号、2014、p. 384-392
- 6) 米津貴久「骨格筋系に対する Photobiomodulation Therapy (PBMT) の可能性」『日本レーザー医学会誌』第 41 巻第 2 号、2020、p. 155-160
- 7) 米津貴久「レーザー治療 骨格筋に対する効果を中心に」『臨床スポーツ

- 医学』第34巻第12号、2017、p.1258-1262
- 8) 橋本聡一、敦賀健吉、森本裕二 et al「疼痛緩和におけるレーザー治療の役割」『日本レーザー医学会誌』第28巻第1号、2007、p.58-67
 - 9) 岡久雄、藤原史朗「筋硬度変化による筋疲労の評価」『バイオメカニズム学会誌』第20巻第4号、1996、p.185-190
 - 10) 宮本直和「スポーツ科学分野における超音波エラストグラフィを用いた筋スティフネス評価」『臨床検査』第65巻第9号、2021、p.934-939
 - 11) 木島泰明、千田秀一、山田晋 et al「超音波エラストグラフィによる筋・腱の弾性評価の信頼性」『日本関節鏡・膝・スポーツ整形外科学会誌』第39巻、2014、p.953~957
 - 12) 中山登稔、林知也『経皮的神経電気刺激療法』 第I部基礎編、p-48、医歯薬出版株式会社、2011
 - 13) 長谷川丈、杉山大輔、熊坂美紀子 et al「ペインビジョンによる疼痛治療の評価」『日本ペインクリニック学会誌』第15巻第2号、2008、p.144-149
 - 14) 川真田樹人「疼痛評価の進歩 PainVisionを用いた疼痛評価」『日本整形外科学会雑誌』第86巻第11号、2012、p.1020-1025
 - 15) 片岡洋祐「低反応レベルレーザーの鎮痛機序」『痛みと臨床』第7巻第2号、2007、p.219-223

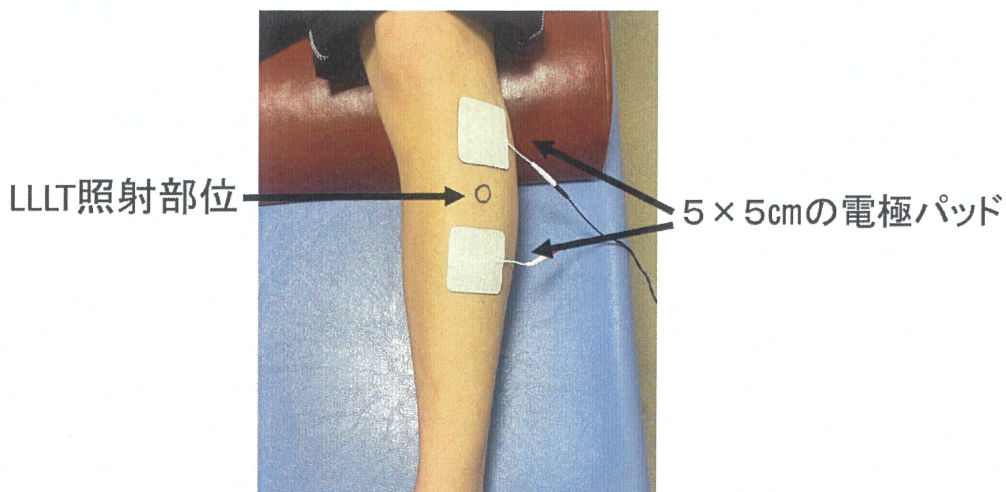


図 1. EMS 用電極パッドの貼付部位と LLLT 照射部位

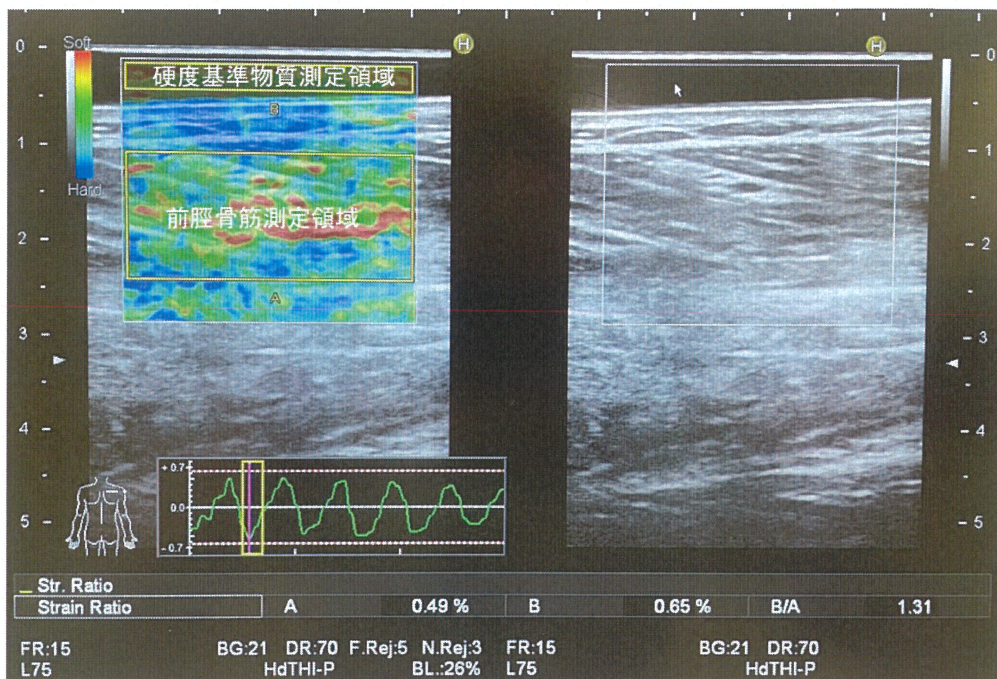


図 2. Real-time Tissue Elastography (RTE) の画像

左：エラストグラフィ画像

右：Bモード画像

RTEを利用して strain ratio の算出

strain ratio の算出方法： $\text{strain ratio} = \text{硬度基準物質歪み値} / \text{前脛骨筋歪み値}$

測定値が高値であるほど硬い組織を表す。

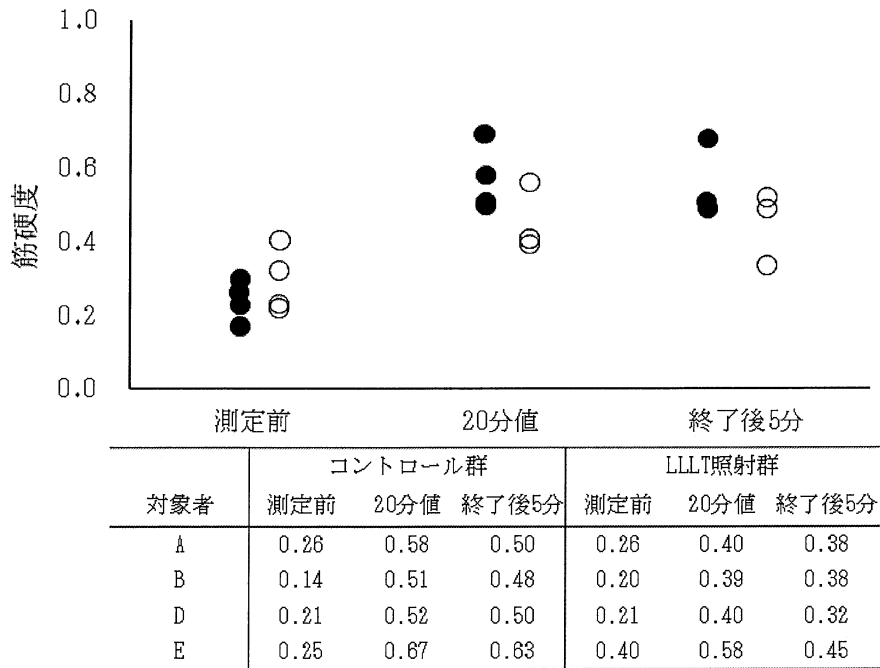


図 3. 20Hz の筋硬度の結果

データを図と表で示す。グラフの縦軸は筋硬度の値、横軸は時間経過であり、●はコントロール群、○は LLLT 照射群を示す。

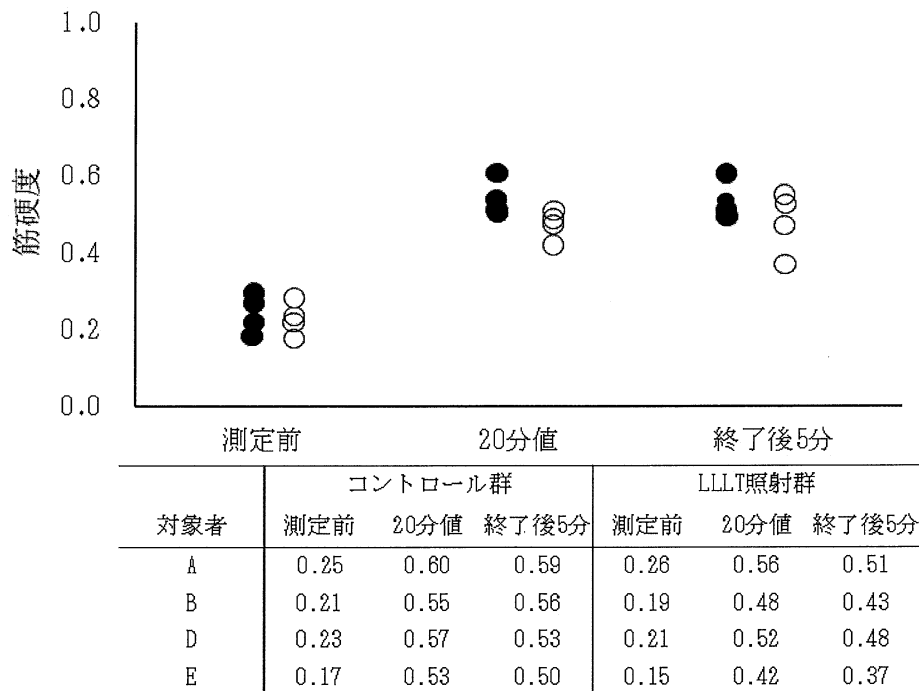


図 4. 100Hz の筋硬度の結果

データを図と表で示す。グラフの縦軸は痛み度の値であり、●はコントロール群、○は LLLT 照射群を示す。

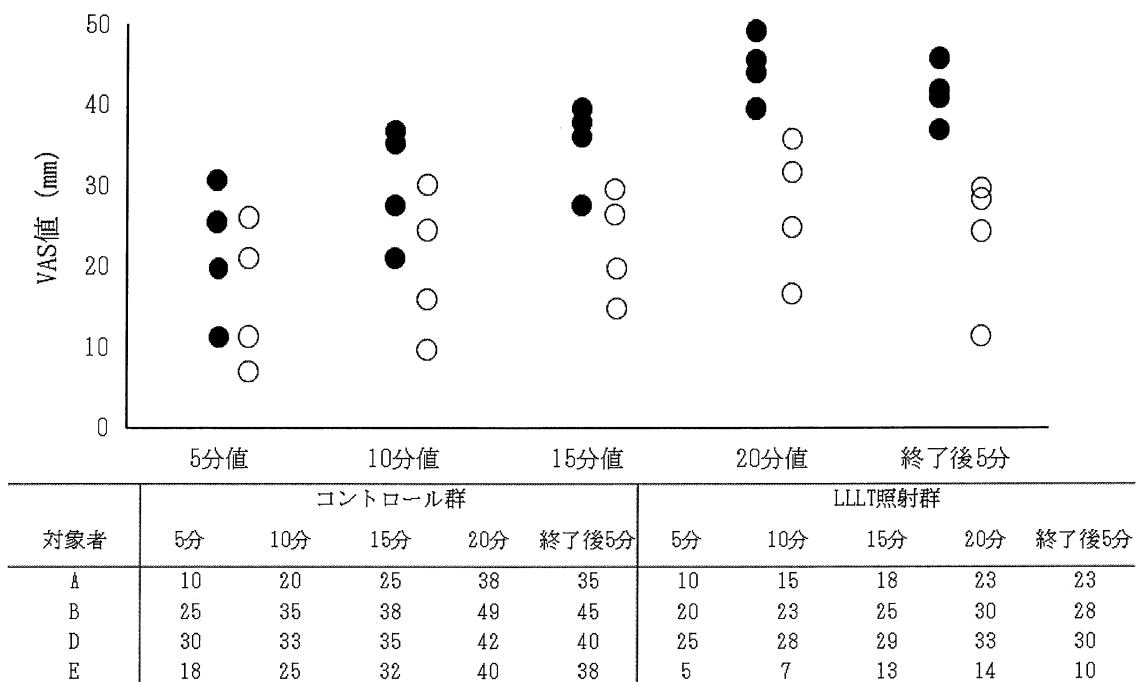


図 5. 20Hz の筋疲労に対する VAS 値の結果

データを図と表で示す。グラフの縦軸は VAS 値 (mm)、横軸は時間経過であり、●はコントロール群、○は LLLT 照射群を示す。

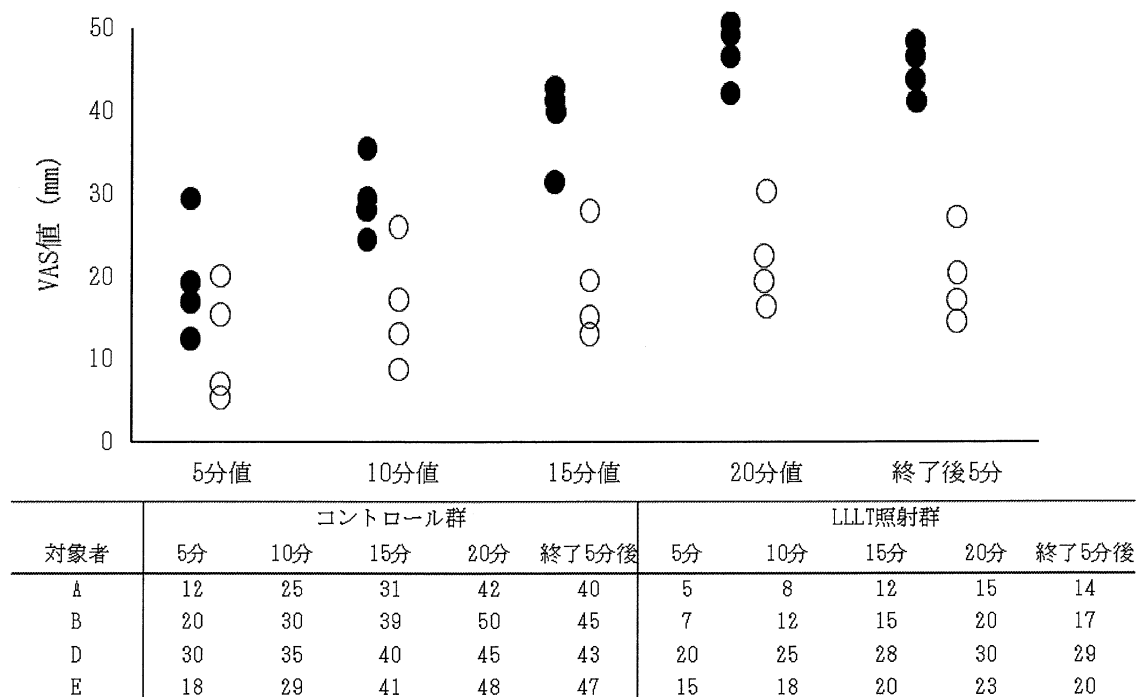


図 6. 100Hz の筋疲労に対する VAS 値の結果

データを図と表で示す。グラフの縦軸は VAS 値 (mm)、横軸は時間経過であり、●はコントロール群、○は LLLT 照射群を示す。

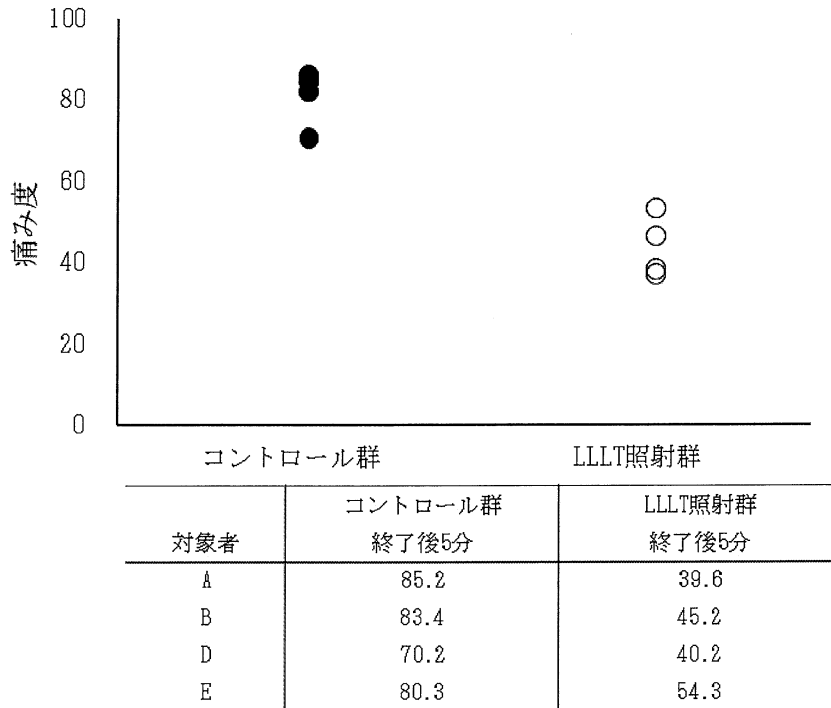


図 7. 20Hz の知覚・痛覚定量分析装置による痛み度の結果データを図と表で示す。グラフの縦軸は痛み度の値を示す。

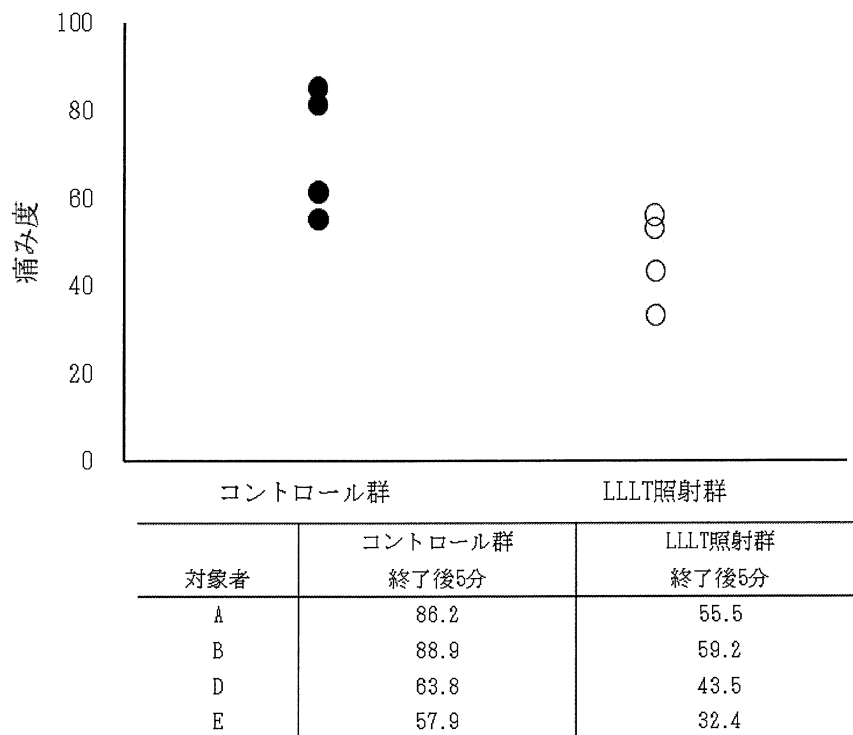


図 8. 100Hz の知覚・痛覚定量分析装置による痛み度の結果データを図と表で示す。グラフの縦軸は痛み度の値を示す。