原著

ORIGINAL ARTICLE

スポーツ医学に対するレーザー治療とその問題点と未来

森本 祐介

日本大学 医学部 整形外科

(2020 年 3 月 25 日受付, 2020 年 5 月 19 日掲載決定, 2020 年 7 月 2 日 J-STAGE 早期公開)

The State of Laser Therapy in the Field of Sports Medicine
and its Continuing Development

Yusuke Morimoto

Department of Orthopaedic Surgery, Nihon University School of Medicine

(Received March 25, 2020, Accepted May 19, 2020, Advance Publication released online July 2, 2020)

要 旨

1900 年代後半より半導体レーザーの疼痛緩和作用をスポーツ傷害に対する治療に応用してきた。スポーツ障害に対する低反応レベルレーザー治療 (Low-reactive Level Laser Therapy: LLLT) は照射法の工夫をすることで治療効果が認められ、今なお解決されない半月板治療に対しても独創的な治療方法の可能性が認められた。本稿ではこれまで我々が行ってきたレーザーを用いたスポーツ医学に関する取り組みと現在応用が広がっているスポーツ障害の予防や競技能力向上への取り組みについて述べる。

キーワード：スポーツ医学, 低反応レベルレーザー治療, 経穴, 半月板融着, 疲労回復

Abstract

Since the late 1900s, the pain-relieving effect of semiconductor lasers has been applied to the treatment of sports injuries. The treatment effect of Low reactive level laser therapy for sports disorders has been confirmed through the development of the irradiation method. This continuing development may help answer questions that still remain in the field of meniscal treatment, and may lead to new and unique treatment methods in the future. In this paper, we describe our approach to laser therapy in the prevention of sports disorders and the improvement of athletic ability, much of which is now widely applied in the field of sports medicine.

Key words: sports medicine, Low reactive level laser therapy, acupuncture point, fusion of meniscal tear, muscle fatigue resistance

1. はじめに

我々は、1980 年代後半より半導体レーザーに対する疼痛緩和治療を行ってきた。その効果を確認し、1990 年からはスポーツ選手に対しても低反応レベルレーザー治療 (Low-reactive Level Laser Therapy: LLLT) を応用し、1996 年アトランタでのオリンピックには選手村で選手のケアに対し利用した実績がある。

低反応レベルレーザーの疼痛緩和作用機序としては、

知覚神経抑制¹⁻³⁾、交感神経抑制⁴⁾、血管拡張⁴⁾、抗炎症作用^{5,6)}、生体活性物質産生の促進、損傷神経組織の修復促進、免疫機能の増強などが確認されており、低侵襲であること、治療に特殊な技術が必要でないこと、薬物を使わないことでドーピング違反の心配がないことがスポーツ選手にとっては特に有用と考えられた。その後はスポーツによる傷害を治療する目的でレーザーの研究を行ってきた。

本稿ではスポーツによる障害に対する低反応レベルレーザーの効果およびこれまで当科で行ってきたレーザーを用いた研究、スポーツ現場でのレーザーの位置づけ、今後の光治療の展開について述べる。

2. スポーツの傷害に対する LLLT⁷⁾

スポーツ障害に対する LLLT の効果を検討するために、394 例のスポーツ傷害に対し 1,000 mW の半導体レーザーを用いた研究を行った。対象は男性 203 例、女性 191 例、13 歳から 54 歳 (平均 22.9 歳)。レーザーを照射は波長 830 nm、出力 1,000 mW、パワー密度 0.67 W/cm² の半導体レーザー (松下産業機器社製、MEDILASER SOFT 1000) を連続波で圧痛点に照射した。対象疾患は Table 1 のごとくである。評価には Pain Release Score (PRS) (Table 2) を用い 5 点以下を有効とした。

結果は Table 3 のごとくであるが有効率が高かった疾患の特徴は、滑液包炎や腱鞘炎を伴った疼痛であること、障害部位が比較的浅層にある場合であった。一方、有効率が低かった疾患は複合的な原因により生ずる痛みであったり、障害部位が比較的深層にあったり、器質的変化の強い場合であった。

3. 半導体レーザーの経穴照射⁸⁾

上記研究での有効率が低い疾患に対しレーザーの経穴照射を行った。レーザーの経穴照射による効果は、針鎮

痛機構の活性化、生体活性物質 (内因性モルフィン様物質) 産生促進、発痛物質の産生抑制、痛覚閾値の上昇、下行性抑制系の活性化、交感神経系の緊張緩和⁹⁾、血管の拡張⁹⁾による血流改善が知られており、より深部で複雑な痛みの緩和に効果が期待された。

対象疾患は腰椎椎間板ヘルニアである。脊柱管の中で変性した椎間板がヘルニア状に突出したものが下肢に行く神経根を圧迫し下肢痛が出現する。対象は 22 例 (男性 12 例、女性 10 例)、平均年齢は 29.3 歳 (17 歳～51 歳)。使用したレーザーは波長 830 nm、出力 1,000 mW、パワー密度 0.67 W/cm²、連続波の半導体レーザー (松下産業機器社製、MEDILASER SOFT 1000) である。腰部と下肢にある経穴 14 か所 (Fig.1) に 1 ポイント 30 秒でレーザーを照射した。評価は PRS および仰臥位の状態で膝関節伸展位のまま股関節を屈させていき坐骨神経を伸展させ下肢痛を誘発するテストの角度 (straight leg rising: SLR)、立位体前屈を行い床から指先までの距離 (flower finger distance: FFD)、疼痛緩和持続時間で行った。

結果は即時効果で 77% の例で有効と認められた。また、SLR も照射前 47°が照射後 73°、FFD は照射前 30 cm が照射後 10 cm といずれも改善がみられた。しかし、効果持続時間は 63% の症例において 3 日間で効果の減弱が認められた。以上よりレーザーで痛みを緩和させると同時にリハビリテーションを行い体幹筋力の安定や柔軟性向上による腰椎アライメントの改善でヘルニアによ

Table 1 Target deses

▪ sabacromial impingement syndrome
▪ tendonitis of the long head of biceps brach
▪ lateral epicondylitis
▪ medial epicondylitis
▪ de Quervain disease
▪ low back pain
▪ patellar tendinopathy
▪ Pes anserinus tendinobursitis syndrome
▪ iliotibial band friction syndrome
▪ medial tibial stress syndrome
▪ Achilles peri tendinitis
▪ ankle sprain
▪ plantar fasciitis
etc

Table 2 pain relief scale (PRS)

Improvement of pain score	evaluation	Determination
10→0~1	excellent	effective
10→2~5	very good	
10→6~8	good	
10→9~10	poor	not effective
10→11~	worse	

Table 3 Result (efficacy ratio)

Deses	Rate of effectiveness
medial epicondylitis	67%
Pes anserinus tendinobursitis syndrome	57%
plantar fasciitis	45%
Achilles peri tendinitis	39%
de Quervain disease	39%
patellar tendinopathy	36%
medial tibial stress syndrome	36%
lateral epicondylitis	31%
sabacromial impingement syndrome	22%
low back pain	8%

Fig.1 Acupuncture points. Fourteen acupuncture points were irradiated diode laser for 30seconds a point.

る刺激の緩和する根本的な治療の併用が必要と考えられた。

4. 10 W 半導体レーザーによる LLLT¹⁰⁾

その後、半導体レーザーで高出力な機器が使用と可能になりスポーツ障害に対する 10 W 半導体レーザーの LLLT 効果を検討した。2006 年 12 月から 2013 年 12 月までに当院で LLLT を行った患者 124 例のうちスポーツ傷害に対し LLLT を行った 67 例を対象とした。2 回以上治療をおこなっていたのは 41 例でありこれらについて検討した。男性 22 例、女性 19 例、治療時の平均年齢は 38.9 ± 15.9 歳 (7~77 歳) であった。

対象疾患は Table 4 のとおりである。照射方法は、波長 830 nm、出力 10 W、パワー密度は 6.7 W/cm²、パルス照射の半導体レーザー (松下産業機器社製、MEDILASER SOFT 1000) を用い圧痛点と経穴照射を組み合わせ、1 ポイント 10~15 秒で 5~10 分行った。評価は PRS を用い 5 点以上に改善したものを有効とした。

PRS 5 点以下で効果ありと判断できたのは 41 例中 27 例 65.9% であった。有効率が高かった疾患は、ジャンパー膝 75%、上腕骨外側上顆炎 66.6%、アキレス腱炎 66.6% であった。特に注目すべきは LLLT を患者自身が行った場合は有効率が 57% であったのに対し LLLT を医師が自ら行った症例では有効率が 100% であり、LLLT の知識のあるものがレーザー照射を行うことの重要性を示していた。

5. レーザーによる断裂半月板融着実験¹¹⁾

スポーツ外傷の部位別頻度を見ると手指、足部足関節に次いで膝関節障害が 3 位である。

膝の外傷はスポーツ選手にとって長期に離脱をする原因となることが多く、場合によっては選手生命に影響を及ぼす。これまでは半月板損傷に対する治療のほとんどは切除術が行われてきた。しかし、これはその後の関節症性変化の直接の原因となる可能性が高いと報告されている。この変化を防ぐには半月板を温存することが不可欠である。現在、半月板縫合の技術が進み半月板温存の可能性が広がってきたが、まだなお断裂部位や断裂形態によっては温存が難しい場合がある。その主な原因は半月板自体の血流が乏しく自己治癒能力が極めて低いことにある。これらの因子に関係なく半月板の温存が可能となれば整形外科にとって大きな進歩となる。

Table 4 Target deses

deses	Number of patients
patellar tendinopathy	8
lateral epicondylitis	3
Achilles peri tendinitis	3
Adductor muscle injury	2
medial epicondylitis	2
Rotator cuff injury	2
etc	21

この問題を解決するために中反応レベルレーザー治療 (MLLT) に注目した。LLLT は比較低出力のレーザーを用いレーザーの光作用を利用しており疼痛の緩和や創傷治癒に用いられる。一方、高反応レーザー治療 (HLLT) は高出力のレーザーを用いレーザーの熱作用を利用したもので組織の蒸散や焼灼に用いられる。その中間の作用として MLLT がありレーザーの光作用と熱作用をうまく組み合わせ止血・凝固、血管吻合や創接着に利用されている。これはコラーゲンの温度を 60~70°C にするとタンパクが融解し、これを冷やすことでタンパクは凝固しコラーゲン線維は再結合を起こす。その際に適当な圧をかけることにより線維はより強くクロスリンケージするという理論¹²⁾であり断裂半月板の治療に応用した。

我々はヒトの半月板組織とよく似ている豚の半月板を用いて半導体レーザーによる断裂半月板の融着実験を行った。

実験では豚半月板に断裂を作成し様々な条件で波長 795~980 nm、出力 0.1~15 W の半導体レーザー (IHD 社製、StatLaser) を凝固用コンタクトチップ (SLT Japan 社製) を用いて照射し半月板の融着を行った。半月板に断裂を作成しただけのものを C 群、断裂部をインドシアニンググリーン (ICG) で着色しレーザーを照射したものを D 群、断裂部を ICG で染色しフィブリン糊を充填したものを F 群、F 群にレーザーを照射したものを F-D 群とした。(Fig.2) それぞれの半月板融着部の引っ張り強度および組織学的な検討を行った。

結果はレーザー照射により断裂半月板の融着に成功した。(Fig.3) 引張強度試験では F-D 群の 1 W 30 Sec, 2 W 30 Sec で優位に引張強度が強かった。(Fig.4)

しかし、半月板断裂部の組織は出力 1 W より 2 W で組織変性が強いことが分かった。(Fig.5) 断裂部に色素を塗布しヒブリン糊を充填し半導体レーザー出力 1 W で 30 秒間照射する条件がいいということが分かった。

現在、整形外科の分野でも再生医療の研究が進んでおり関節軟骨の再生医療は現実的なものとなっている。さらに半月板の再生治療の研究も進んでいるが現段階では実用化までまだ長期に時間がかかる見込みであり実現したとしても侵襲や手技的な問題が残されている。レーザーによる半月板融着は現在のトレンドではない治療法だとしても現場の臨床では有用な治療法になる可能性が考えられる。

6. スポーツ現場での LLLT

以前にスポーツの現場で働いているトレーナーや理学療法士 17 名に治療についてのアンケートを行った。2010 年のデータではあるが、その当時レーザー治療について知っている人は 82% であり疼痛緩和効果を認知している人は 71% でスポーツ現場にはよく知られた治療となっていた。しかし、実際にレーザー機器を使ったことがある人は 47% であった。レーザー治療を行った経験のある人にその効果について尋ねると、少し効果が感じられると回答した人がいた半面、効果は認められなかった、効果の持続時間が短かったという意見があり個人個人で評価にばらつきが感じられた。スポーツの現場レベルでレーザー治療がなかなか普及しないことについてその理由を

Fig.2 The following four experimental groups were established: Group C (control), Group D (laser irradiation with ICG staining but no fibrin glue application), Group F (ICG staining and fibrin glue application without laser irradiation), and Group FD (laser irradiation, ICG staining and fibrin glue application).

Fig.3 Torn menisci were fused using the diode laser. The above is histological pictures stained with hematoxylin eosin (H.E.). The below shows histological pictures stained with Azan.

聞いたところ、ほかの物量機器に比べレーザー機器が高価である、現場で使用出来る知識を持った人間がいない、疾患ごとの具体的な使用方法が知られていないといった内容であった。現在では各スポーツチームで利用される機会は増えたようだがレーザー治療に対する知識や他の物療機器との違いの理解が深まったかどうかは疑問が残る。現場での使用をもっと広げるにはより安全性の高い機器の開発、効果の向上、はっきりしたプロトコルの作成も考慮されるべきである。

7. 今後の課題

アスリートにとって日々の練習や試合からくる疲労の蓄積はパフォーマンスの低下や障害の発生につながり、疲労をコントロールすることはきわめて重要である。

近年、筋疲労に対する光治療の効果が報告されている。動物実験においても LLLT により最大筋力発揮の維持や筋疲労後の creatine kinase (CK) の増加抑制などの効果が報告されている。また人に対する研究では運動前に LLLT・LEDT: Light emitting diode therapy を行うことに

Fig.4 The tensile strength of the fused area was measured using a tensile strength meter. The results were as follows: Group C 0.28 ± 0.109 N; Group F 0.34 ± 0.151 N, Group FD 0.6 ± 0.3 N at 1W20sec, 2.22 ± 0.506 N at 1W30sec, 1.08 ± 0.286 N at 2W20sec, and 1.74 ± 0.804 N at 2W30sec; and Group D 0.18 ± 0.044 N at 1W20sec, 0.18 ± 0.083 N at 1W30sec, 0.26 ± 0.230 N at 2W20sec, and 0.24 ± 0.134 N at 2W30sec.

Fig.5 We evaluated histology that irradiated diode laser at 1W 30sec and 2W 30sec. Welded menisci which were irradiated laser at 1 W 30 sec were observed degeneration, homogenous staining intensity surrounding tissue. Degeneration of welded menisci using diode laser at 2 W 30 sec were much more. Degeneration of surrounding tissue were increased according to power of laser output.

より筋疲労の遅延効果があり、運動後の施行により疲労回復の促進が多数報告されており長期的なトレーニングに対する効果の助長が期待される¹³⁾。

このようにこれまで傷害部位に対する治療の方法として光治療は考えられてきたがこれと同時に予防や競技力向上に対する効果に注目が集まっている。今後は細かなプロトコルを作成し再現性のある治療法を確立することと同時に、その効果の裏付けとなる基礎的なデータの蓄積が課題と考える。

引用文献

- 1) 河谷 正仁, 土屋 喜由. 低出力レーザーによる末梢感覚神経伝導の遮断. ペインクリニック. 1995; 16: 533-539.
- 2) 目澤 修二. 低出力レーザーの鎮痛効果および骨組織形成促進効果に関する研究. 日レ誌. 1996; 17: 43-50.
- 3) 齋藤 勇, 茂呂 祐利子, 中川 敏浩. 低エネルギーレーザーの疼痛緩和メカニズム. 日レ歯誌. 2010; 21: 157-160.
- 4) 細川 豊史, 大森 美佐子, 河端 恭代. 低出力レーザー治療によるかゆみの抑制. 日レ医誌. 2003; 24: 3-10.
- 5) Amano A, Miyagi K, Azuma T, Ishihara Y, Katsube S, Aoyama I, Saito I. Histological studies on the rheumatoid synovial membrane irradiated with a low energy laser. Lasers Surg Med. 1994; 15: 290-294.

- 6) 伊藤 雄介. 培養滑膜細胞の PGE2 および IL-1 β の産生に及ぼすレーザー照射の影響. 聖マリアンナ医科大学誌. 1990; 18: 643-651.
- 7) 斎藤 明義, 森本 祐介, 布袋屋 浩. スポーツ障害の半導体レーザー治療. 臨床スポーツ医学. 2005; 22: 25-31.
- 8) 布袋屋 浩, 斎藤 明義. 低反応レベルレーザーによる腰痛治療. 骨・関節・靱帯. 2003; 16: 957-961.
- 9) 渡部 一郎, 眞野 行生. 低出力レーザー照射法 (LLLT). リハビリテーション医学. 2001; 38: 587-595.
- 10) 森本 祐介. スポーツ障害に対する LLLT の効果. 日レ医誌. 2018; 38: 446-449.
- 11) 森本 祐介, 斎藤 明義, 加藤 敦, 龍 順之助. 半月板損傷に対する最新の治療法—レーザーによる断裂半月板の融着—. 東日本整災会誌. 2005; 17: 156-162.
- 12) Lemole GM Jr, Anderson RR, DeCoste S. Preliminary evaluation of collagen as a component in the thermally induced 'weld'. Lasers in Dermatology and Tissue Welding. 1991; 1422: 116-122.
- 13) 村山 光義. 筋疲労改善に対する LLLT・LEDT の効果. 日レ医誌. 2018; 38: 432-438.