

疼痛緩和のためのレーザー治療 —— 現状と今後のトレンド

アントニオ・ラスパ

慢性痛を治療するための非侵襲的なレーザー機器に対する需要の高まりが市場の力強い成長を促し、革新的な技術開発を後押ししている。

組織の切断や焼灼、腫瘍の破壊を目的とした高出力外科用レーザーとは異なり、低出力レーザー治療（LLLT）は光が照射された身体部分の自然治癒メカニズムを刺激することで効果を発揮する非侵襲的治療法である。LLLTでは、生体組織は光を吸収し、一酸化窒素（NO）を放出する。NOは鍵となるシグナル分子であり、血流を促してリンパ液の還流量を増加させる。これにより、炎症プロセスを抑制して腫れを抑

え、周辺組織の治癒を刺激する。この光は、波長600～950nmの赤及び近赤外線（near-IR）スペクトルである。ほとんど熱が発生しないため、冷光と呼ばれることもある。この低エネルギーレーザーは、50～500mWの出力で1平方センチメートルあたり数ジュールという治療エネルギーにより、温度上昇は0.1～0.5℃と最小にとどめている。このレーザーは0.5～2.0cm²を透過し、0.3～5cm²の表面治療面積を持つ。

より深い透過性と広い表面治療面積を必要とする治療では、高強度レーザー治療（HITL）が求められることも多い。HITLは、1波長あたり5～10Wの高出力レーザーを使用して最大10cm²まで透過し、表面治療面積は70～80cm²に及ぶ。しかし、LLLTとHITLの作用機序は同じであるため、両者ともに痛みを伴わない非侵襲的な施術として使われ、副作用もほとんどない。さらに重要なことは、副作用があり得る鎮痛薬の使用を減らし、多くの場合には単に痛みを緩和するだけでなく、炎症や痛みの原因も治癒できることである。



図1 レーザー治療デバイスのコア技術はダイオードレーザーに基づいている。他にはない出力や波長の拡張性があり、幅広い医療用途に利用されている。

レーザー治療の適応となる病態

疼痛緩和のためのレーザー治療に関する臨床試験が米国や欧州全域で行われ、現在では以下の病態に関連した疼痛及び炎症緩和を目的に、FDAや英国、EUで承認されたレーザーベースの機器が幅広く存在する。

「骨関節疾患」変形性関節症や一般的な関節痛など、主に高齢者集団に影響を与える一群の病態。生活の質に大きな影響を与える。ここでの目的は、関節包の炎症抑制、疼痛症状の緩和、機能障害の軽減（筋肉への作用）、関節周囲の浮腫の軽減、生活の質の水準維持への貢献、薬物療法による疼痛緩和のコントロールである。

「神経筋障害」特に若く活発な人々に影響を与える疾患で、しばしば神経

疲労や筋疲労を伴ったり、スポーツ障害に起因したりする。脊椎領域の腰椎や頸椎に影響を及ぼす神経筋疾患も含まれ、非常に一般的である。患者の生活の質や仕事の能力を損なうほど繰り返し生じる。レーザー治療は、筋弛緩と微小循環の改善を介して、痛みを軽減するために使用される。

「腱鞘炎」腱や関連領域に影響を及ぼす痛みをまとめてグループ化したもの。短い回復時間とハイパフォーマンスへの素早い切り替えを必要とするスポーツ選手に多く見られる。スポーツ外傷学の分野では、レーザー治療の抗炎症作用、抗浮腫作用、鎮痛作用により、疼痛症状や局所的な腫れを解消し、治療を補助して競技への復帰を早める。

「浮腫・血腫」浮腫はリンパ系、血腫は循環系の病態に関連する。浮腫は、間質腔と毛細血管の間にあるフィルタシステムの不均衡の結果である。血腫は、血管外の血液の異常な集まりであり、静脈壁や動脈壁または毛細血管壁の損傷後に生じる。レーザー治療は、微小循環とリンパ液の還流を促す作用があり、外傷に伴うことが多いこれらの症状の治療に大きく貢献できる。

「組織損傷」この分野では、レーザー治療は組織の治療と機能回復を促進する。組織レベル(細胞外マトリクスのリモデリング、炎症プロセスの調節、筋形成の誘導など)と、細胞レベル(分化プロセスの誘導、成長促成物質を含む物質の放出など)の両方で起きる特定の生物学的メカニズムがある。

技術

レーザー治療デバイスのコア技術はダイオードレーザーに基づいている。比較的シンプルなモノリシック半導体の構造により、電気エネルギーを直接レーザー光に変換できる。ダイオードレーザーは他にはな



図2 エレクトロ・メディカル・システムズ社(EMS)の併用療法アプローチには高出力レーザーが搭載されており、筋骨格障害の患者に対して早期回復を可能にしている。

い出力や波長の拡張性もあり、幅広い医療用途に利用されている(図1)。

半導体組成を変えることで、出力波長を青、緑、赤、近・中赤外線に至る波長を選択でき、必要な出力を得ることができる。こうして、医学的に興味深い波長を作成できる。出力波長に幅広い選択肢があるため、特定の目的のニーズに合致するようレーザーシステムを調節できる。たとえば、血液凝固を最大化する、コラーゲンを引き締める、組織焼灼を最大化する、軟組織への透過深度を最大化するか表面治療にとどめる、標的細胞を破裂させる、などがある。すべての用途に対して最高の選択性、つまり不要な副作用を最小化しつつ最大効果をもたらすような最適な波長が1つ以上ある。

現在、理学療法分野における無作為化試験、臨床実践ガイドライン、システムティックレビューを含む書誌データベース(PEDro)には、904/905nmのパルス高出力レーザーのみによる筋骨格障害の治療に関して23件の無作為化比較試験が登録されている。レーザーデバイスが進化することで、より効果的

で透過性が高く、効果の持続性が高い治療が可能となるだろう。また、他の治療技術を組み合わせることで、より良い臨床アウトカムにつながるだろう。

たとえば、スイスのメーカーであるエレクトロ・メディカル・システムズ社(Electro Medical System : EMS)は、高出力レーザーを搭載した併用療法コンセプトを開発している(図2)。ガイド付きマルチモード治療による筋骨格障害患者の早期回復を打ち出しており、負傷したスイスのボブスレー選手が競技に復帰する際に非常に有効であることが示されている。

理学療法用に開発されたもう1つの新技術は、伊メクトロニック・メディカレ社(Mectronic Medicale)によるものである。温度制御でき、高エネルギーで調節可能なマルチモード発光レーザーをベースにした技術で、選択的にエネルギーを変調でき、波長と発光モードを混在できる。これにより、特定の病態を選択的に治療でき、治療効果を最大化できる。(図3)

今後のトレンド

印フューチャー・マーケット・インサ



図3 メクトロニック・メディカレ社のレーザー治療技術は、温度制御でき、高エネルギーで調節可能なマルチモード発光レーザーをベースにしている。選択的にエネルギーを変調でき、波長と発光モードを混在できる。これにより、特定の病態を選択的に治療でき、治療効果を最大化できる。

イト社(Future Market Insights)のレポートによると、LLLTの世界市場は2020年の1億400万ドルから、2031年には1億6540万ドルに、CAGRは4.4%で成長すると予測されている。推進要因には、慢性疾患の有病率の上昇をはじめ、慢性疼痛を治療するための非侵襲的機器に対する需要の急増、技術のイノベーション、革新的製品に対する規制当局からのより迅速な承認取得に対する楽観主義の高まりなどが挙げられている。

ドイツは、2021年に欧州全体で24.3%以上の市場シェアを占める。中国とインドの両国は、CAGRが6%以上で拡大する見通しである。背景には、慢性的な筋骨格痛の発病率の上昇、在宅ケア環境における低温レーザー治療デバイス導入の高まり、ヘルスケアインフラの改善があるという。

スペクトルの青色領域(450nm)で発光するダイオードレーザーを用いる医療機器の開発は、歯科などの用途をターゲットにしている。従来の赤外レーザーが高温の先端で組織を蒸発させるものとは異なり、青色レーザーは人体組織内における高い吸収を利用して組織温度を上昇させ、組織蒸発を直接引き起こす。青の放射エネルギーは水に吸収されないため、治療中の患者に快適性を与え、痛みは最小限で済む。赤外線と比較して、青色レーザー術は施術時間を短縮できる。さらに、切断と凝固を同時に行い、施術部位を清潔に消毒し

て治療プロセスを早める。

もう1つの技術開発は、電力供給と冷却分野にある。ダイオードレーザーの波長安定性、最大出力、寿命のためには、最適な温度を一定に保つ、つまり高速に応答する冷却が重要である。これまで、約200Wまでの熱負荷を冷却する場合、熱電式(TEC)チラーは効率が低いながらも理想的な解決策と考えられてきた。コンプレッサを利用する高効率のチラーは、コンプレッサによる筐体の振動や、高温ガスのパイプ排出による騒音があるため、快適性や静音性に問題があるとされている。

こうした問題を解決するような、コンプレッサを利用したチラーが注目されている。たとえば英AMSテクノロジー社(AMS Technologies)が開発した技術には、広い回転速度を持つインバータや、環境に優しい冷媒がある。これらのチラーは、小型のフォームファクタとなるよう設計されている。レーザー手術やレーザー治療における冷却用途を想定しており、通常はレーザー機器に統合されている。

疼痛緩和を目的としたレーザー治療の将来は有望と見なされている。スポーツ選手からの証言では、レーザー治療はスポーツ外傷の治療に最適であり、迅速かつ効果的、非侵襲的であり、従来の薬物による治療の副作用を回避できると述べている。

レーザー技術における他の注目すべき発展には、単一エミッタで高度にカスタマイズできるダイオードレーザーや青色ダイオードレーザーなどがある。

参考文献

(1) See <https://bit.ly/3tQ9wc0>.

著者紹介

アントニオ・ラスパは、ヨーロッパフォトニクス産業コンソーシアム(European Photonics Industry Consortium:EPIC)のシニアフォトニクスプログラムマネージャーであり、Laser Focus World誌の編集諮問委員会メンバー。e-mail: antonio.raspa@epic-assoc