

Grethac 光疼痛緩和治療器の現状と新規開発装置の特徴

1. 概要

この装置は光照射によって痛みを緩和させるものであり、生体内にもっとも効果的な波長成分を含み、光と細胞の作用が穏やかに進むように光照射出力が設定されている。照射用光源にはハロゲンランプを採用し、照射光はチョッパーによってパルス光として出射される。生体内に効果的な波長成分はフィルターによって選択される。

2. 光線療法

生体への光照射効果は古くから知られている。例えば、昭和の初めには炭素アークによる可視光線を用いた光線療法が始められた。光線療法の特徴は次のように示されている。

2. 1 光線療法の特徴

1. 無害で副作用、中毒もない。これは公的な実験 2 回で無害が証明されている。
第一回の立会い試験は厚生省衛生局、第二回は厚生省係官立会いで東大物療内科と眼科で臨床試験 6 ヶ月(戦前のもの)
2. 簡易、安全でだれでも容易に取り扱える。
3. 治療は暖かでもっとも感じの良い間隔で行うので幼児も眠ったまま治療できる。
4. 治療器は低廉で治療実費も安く、通常の治療は一日 1 回 30 分以内である。
5. あらゆる疾患に応用でき、家庭用治療器としてすでに六十余年利用されている。
6. 正しく利用することで、あらゆる疾病を治療して良効を得られる。

2. 2 光線療法の効果

1. 痛みにも有効(鎮痛作用)、麻薬を用いずに外傷、内臓疾患、神経痛、リウマチ、癌等あらゆる疾患に応用可能。
2. かゆみを伴う疾患にも有効
3. アレルギー性疾患にも有効
4. 潰瘍、炎症性疾患にも有効(床ずれ、内臓器、人体内部の炎症緩和)
5. 骨疾患にも有効(カリエス、骨折)
6. 寄生虫にも有効
7. 歯の疾患にも有効(歯根膜炎など)
8. 麻痺性疾患にも有効
9. 中毒公害病にも有効
10. 成人病(脳卒中、心臓病、悪性新生物)に応用可能
11. 重篤、余命数日、数時間といわれた疾患に応用可能

このように、何に対しても光照射療法が有効であるといわれると、現在のわれわれの常識からみても本当かという印象が強い。しかしながら、最近の光・生体作用について検討を加えてみれば、あながち間違っていると断定することはできない。当然なことであるが、人

類誕生時から今に至るまでヒトは太陽光線下で生存してきたわけであり、したがって光と生体の相互作用は人が安全に生存できる環境を生体に構築することをもたらしたに相違ないといえよう。したがって、ヒト内部に異常が生じたときに、光-生体の相互作用が正しく行われれば、その異常を修復するという仮説が成立するはずである。光線療法は一民間療法として医学の本流からみてほとんど省みられることはなかったが、ここ数十年のレーザーを中心とする美容外科における発展、低出力レーザーによる疼痛緩和、などで改めて光と生体の相互作用が理論的、臨床的に検討・使用されている。このような成果とすでに 80 年以上も前に開発されて使用されてきた光線療法による成果を比較すれば、レーザーによる適用範囲は限定されている。この理由は実用化されているレーザーの発振波長が限定されていることによる。具体的な適用症例はあざ、しみ、しわなどの美容関係、痛み治療、などが知られている。この種の治療に当初はレーザーが使用され、ついでランプ照射で最近では LED による方法も開発されている。これらは特定の波長範囲の光源をもちいて、作用を効果的に行うことは良く知られているが、細胞と光との相互作用が十分に解明されていない状況をみれば、LED やレーザーのように特定波長での発光源を使用するよりは広範囲な波長成分をもつ連続波長成分をもつ光源を使用するほうが効果的であると理解できる。その反面装置の小型化に対する課題が生じる。

光線治療法と現在知られているレーザー、ランプ、LED の使用波長を以下に示す。

光線治療の主な光波長と現在用いられているレーザー、LED などの波長との関連

対 象	光線治療法	レーザー、ランプ、LED 治療
化粧法：のりをよくする	発光色:赤、顔中心にあたたかい 照射時間 20 分	500-1500nm
にきび	発光色：赤、薄赤 頬と額、肝臓部、各五分	ブルーLED
そばかす、小じわ、たるみ、しみ	白、桃色、血流を上げる部位と顔 15 分	532nm, 577nm, 694nm
ねんざ	赤、桃色、赤+白、赤+淡赤 一箇所 5 分、患部 30 分	1 0 6 4 nm,
打撲、骨折	赤+薄赤 一箇所 30-50 分	---
歯痛	赤+薄赤 歯根部 5 分	632.8nm 650 nm
舌癌など	赤+赤	1.9 μ m

光線治療法の色はカーボンに混入させた金属添加物によって特定の発色光を強くさせるものであり、ほとんどの治療対象に対しては赤色光が使用されていることが示されている。

この光線治療器が製品化され、広範囲に使用されていた当時は細胞と光の相互作用に対する確かな知見は知られておらず、これらの光源選択(波長選択)はほぼ実験的な結果をもとによっていると思われる。この結果から、光線治療法は十分にその臨床的効果が発揮できていたと判断できる。

3 光—細胞相互作用の最近の知見

3. 1 L L L T (Low Intensity Light Treatment) の生物学的基礎

以下に記載する L L L T の生物学的基礎について、Hamblin の論文に基づいている。

[Mechanisms of Laser Induced Hair Regrowth] Michael R. Hamblin, Harvard Medical School, Aesthetic Buyer Guide March/April 2006, pp28-33

低出力光が生きている生物学的組織に及ぼして、どのような効果をもつかという光生物学的の最初の法則は、光子がある種の分子的発色団あるいは光受容体に属する電子吸収バンドで吸収されなければならないということである。この発色団の同定を見つける試みは作用スペクトル (Action spectra) で行われた。波長、波数、周波数または光子エネルギーの関数として生物学的光反応をグラフ化するものであり、光受容体分子の吸収スペクトルと類似なものである。構造化した作用スペクトルが存在するのは研究している現象が光生物学的の一つであることの強い証拠になる。(すなわち、細胞光受容体と信号通路の存在)

第2の重要な考察には組織の光特性が含まれる。組織中における光の吸収と散乱は波長依存性があり (赤色スペクトルよりはブルーの範囲のほうが吸収、散乱ともずっと高い)、基本組織発色団 (ヘモグロビンとメラニン) は波長 600 nm 以下の短波長域で強い吸収バンドを持っている。水は 1150 nm 以上の長波長で十分に吸収され始める。これらの理由によって、赤色と近赤外線波長域に組織のいわゆる光学窓 (optical window) が存在する。この領域では光の効果的透過が最大になる。結果を図1に示す。

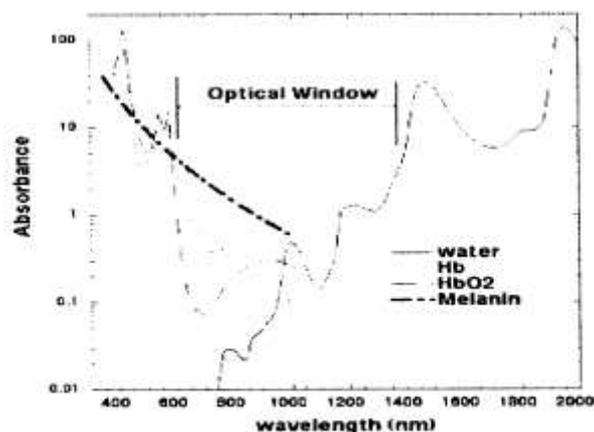


Figure 1. The optical window in tissue between 600 and 1200 nm where absorption of light by tissue chromophores is minimized.

それ故、たとえブルー、緑、黄色の光成分をもつ光源であっても、光学的に透明な培養媒質中で成長した細胞に十分な効果を及ぼし、動物や患者にLLL Tを使用する場合には赤色と近赤外線光（600～950 nm）のみが有効である。

1989年に細胞レベルでのLLL Tの作用機序は細胞の呼吸チェーン構成要素により単色の可視およびNIR（近赤外）光が吸収されることに基づいていることが示唆された。内部のミトコンドリア膜は5個の合体した膜タンパクの複合体を含んでいる：NADH脱水素酵素（複合体Ⅰ）、コハク酸塩（エステル）脱水素酵素（複合体Ⅱ）、シトクローム C 還元酵素（複合体Ⅲ）、シトクロームC酸化酵素（複合体Ⅳ）及び、ATP シンターゼ（2つの分子結合に触媒作用を及ぼす酵素）（複合体Ⅴ）と一つの複合体から別の複合体へ電子を動かす2個の自由拡散分子のユビキノン（各種の動物組織にあり細胞内電子伝達機能を持つビタミンの一種）とシトクロームCからなる。

呼吸チェーンはNADHとFADH₂（クエン酸またはKrebs回路）から（プロトンの助けで）放出されるエネルギーを用いて水分子を形成する。マトリックスから内部膜空間へプロトン（H⁺）励起で伝達されるエネルギーを利用して水分子を形成する酸素分子へ電子が段階的に伝達される。自発的な伝送過程が膜内部で形成されるプロトンの勾配でミニチャア電池が形成される。プロトンはこの勾配を下降し、膜内部にあるATPシンターゼ複合体である積算タンパクの他の複合体を通ることでマトリックスに再び入り込む。

1995年に5個の作用スペクトルの解析では乳類細胞では赤色—NIR(近赤外)領域での一次的光アクセプターはシトクロームC酸化酵素であることが示唆された(図2)。解析した作用スペクトルはお互い非常に異なる過程であると思われるにもかかわらず、非常に近接した(信頼制限内)ピーク位置を持つことに注目すべきことである。酵素は2個の鉄センター、ヘムとヘムa₃(またシトクロームaとa₃とも称せられる)をもち、2個の銅センター、Cu_AとCu_Bからなる。完全に酸化されたシトクロームc酸化酵素はFe(Ⅲ)酸化状態にそれぞれに鉄元素を、およびCu(Ⅱ)酸化状態にそれぞれに銅イオンを持っている。酵素中には多くの中間的混合した化学結合形態があり、COやCN及びギ酸塩を含むその他の配位リガンド（配位化合物中の金属原子・イオンと結合している分子やイオン）がある。酵素の多くの個々の酸化状態は異なる吸収スペクトルをもち、その結果おそらく報告されているLLL Tの作用スペクトルにおけるわずかな相違をもたらす。

Karu グループの最近の報告ではLLL Tの作用スペクトルには次の波長帯域で4個のピークを観測している。

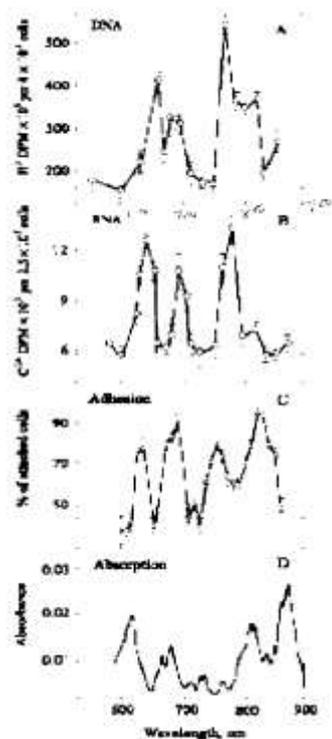


Figure 2.
Action spectra for
(A) DNA synthesis,
(B) RNA synthesis,
(C) cell-plastic adhesion,
and (D) absorption
spectra of dried cell
layer. HeLa (human
cervical carcinoma)
cells were used.

From:
Low-Power Laser
Therapy, Chapter 48
Tiina I. Karu Institute of
Laser and Information
Technologies Russian
Academy of Sciences
Troitsk, Moscow Region,
Russian Federation
Biomedical Photonics
Handbook
©2003 by CRC Press LLC

- 1) 613.5-623.5nm 2)667.5-683.7nm 3) 750.7-772.3nm 4) 812.5- 846.0nm

分子による光子吸収は電子的励起状態をもたらし、その結果電子遷移反応を促進させる。より多くの電子輸送はATPの産生を増加させる。光はATP合成を増加させ、プロトンの濃度勾配を増加させることで、Na⁺/H⁺ および Ca²⁺/Na⁺ antiporters (この単語の日本語名は辞書にないが、調べた範囲ではこの言葉は使用されている)を増加させ、Na⁺/K⁺ATPase 及び Ca²⁺ポンプのようなイオンについてのATP輸送キャリアを増加させる。ATPはアデニルシクラーゼの基質であるので、それ故、ATPレベルはcAMPレベルを制御 Ca²⁺ と cAMPは非常に重要な第2のメッセンジャーである。特に、Ca²⁺ はほとんど人体の各プロセス（筋肉収縮、血液凝固、神経での信号伝達、遺伝子発現及びそれ以上）を調整する。

生成されたシトクロームc酸化酵素はATPの産生を増加させるに加えて、それ以外の機構がLLL Tで作動していると思われる。これらの機構としてまず、我々は一重項酸素仮説を考察する。遷移金属配位センターが欠落しているポリフィリン様可視吸収バンドをもつある種の分子とフラビントキソキノンが光子吸収後長寿命 3 重項に遷移出来よう。この3重項状態はエネルギー輸送が反応性種、すなわち1重項酸素を生成する基底状態酸素と反応するものである。

注) 酸素分子の基底状態は3重項状態にある。スピン量子数が1の状態に対応。励起によって1重項酸素が形成される。

このことはガン細胞を殺傷し、血管を破壊し、および病原菌を殺傷する光化学的治療

(PDT) で利用されている分子と同等である。PDTの研究者は高いドース（エネルギー量）で見られる殺傷の代わりに、非常に低いPDTは細胞増殖と組織刺激をもたらすことを提起している。

提案する次の機構は酸化還元反応の特性変性という仮説である。ミトコンドリア代謝交替と照射による呼吸鎖活性がまたスーパーオキシゲン陰イオンの産生を増加させる。酸素の全細胞生成は基本的にはミトコンドリアの新陳代謝状態に依存する。細胞内の他の酸化還元反応鎖はまたLLL Tで活性化できよう。食細胞においては照射がこれらの細胞の原形質膜に位置しているNADPH-酸化酵素の活性を介して、非ミトコンドリア呼吸をバーストしよう。（反応性酸素種、特にスーパーオキシゲン陰イオン）。

食細胞に及ぼす照射効果は照射条件と同様に宿主組織の生理学的状態に依存する。生理学的条件下ではシトクロームc 酸化酵素の活性度はまた一酸化窒素（NO）で調整される。この調整はミトコンドリア呼吸の可逆的抑制を介して生じる。レーザー照射とシトクロームc 酸化酵素の分子内での電子の流れの活性化はNOによる反応中心の部分的抑制を逆転させ、この方法で呼吸速度（NO仮説）を増加させるという仮定ができる。NOドナーによる照射効果の変形に及ぼす最近の実験結果ではこの仮説を排除できない。また病理学的条件下ではNO濃度は増加することに注意すべきである。（この増加は主としてNOを生成するマクロファージの活性化による）

また、この状況は種々の細胞の呼吸活性度がNOで抑制されることの可能性を増加させる。これらの条件下では細胞呼吸の光活性化は有益な効果を持っているよう。

いくつかの重要な調整経路（一連の酵素反応による最終産物に到る経路）は細胞の酸化還元反応状態を通して伝達される。このことは酸化還元反応敏感転写因子または細胞膜を介する細胞質から核への恒常性的カスケードの細胞信号を含んでいよう。LLL Tはより大きい酸化の方向に全体の細胞酸化還元反応ポテンシャルをシフトさせることが提案されている。全体的細胞の酸化還元反応状態は動的平衡の還元と酸化当量間の全体バランスを示し、さらに3つの組み合わせ、すなわち、NAD/NADH, NADP/NADPH およびGSH/GSSG(GSH=グルタチオン:酵素の活性化を促す)で決定される。

細胞外刺激が細胞信号経路を介して増殖、分化、及び細胞死（アポトーシス）といった細胞反応を引き出すことが信じられている。細胞酸化還元反応状態の調整が細胞信号送付を通して（及び転写因子の誘導で）遺伝子発現に影響する。少なくとも良く同定された転写因子が少なくとも二つある。すなわち、細胞間酸化還元状態で調整されているように核因子κB (NF-κB)と触媒タンパク (AP)-1 である。

一つのルールとして、酸化剤は細胞信号伝達系を刺激し、脱酸素（還元）は一般に上流での（遺伝子配列の中で、転写がほかよりも早く起こる部分）信号伝達カスケードを抑制し、その結果として転写因子の抑制をもたらす。いまや、遺伝子発現の酸化還元反応を基にした調整は細胞生物学の基本的作用機序を与える。

細胞の信号伝達における類似のまたは同一過程にもかかわらず、照射に対しての最終

的な細胞反応は転写因子の異なるモードの存在かによって異なるということを強調することは重要である。LLL T効果の大きさは細胞の最初の酸化還元反応状態に依存する。特定の成長条件に対して細胞の全体としての酸化還元反応が適切或いは、近似的に適切な場合には細胞反応は弱いか欠落している。目標とする細胞の酸化還元反応ポテンシャルがもっと変形された状態に（および細胞内pHが低い場合）最初から移行している場合には細胞反応はより強くなる。このことは細胞反応の程度が異なる実験でなぜ大きく異なっているか、またある場合には存在しないかを説明している。

3. 2 創傷治癒の作用機序

創傷治癒のメカニズムも知られている。具体的には創傷治癒に関与する増殖因子としては：

- 1) 血小板由来細胞増殖因子 (platelet-derived growth factor :PDGF)
PDGF の作用は損傷部への好中球やマクロファージなどをよび集め、繊維芽細胞、平滑筋細胞の増殖を促進する
- 2) 繊維芽細胞増殖因子 (Fibroblast growth factor:FGF)
FGF には 9 つの異なる遺伝子産物をもつが、創傷治癒には basic fibroblast growth factor (bFGF, FGF-2) が重要である。bFGF はマクロファージ、血管内皮細胞、角化細胞、軟骨細胞、骨芽細胞、平滑筋細胞などの増殖を亢進させ、創傷治癒過程全体に関与する。特に血管新生作用が強く、肉芽形成の促進には有用とされる。
- 3) 形質転換細胞増殖因子 (transforming growth factor β : TFG- β)
この因子は当初繊維芽細胞の形質転換、増殖促進作用を持つ因子として発見されたが、現在では増殖抑制・調整因子としての役割が重要視されている。
- 4) 上皮細胞増殖因子 (epidermal cell growth factor: EGF)
EGF は各種サイトカインの中で活性が安定し、種特異性をもたないことから、特にケラチノサイトの増殖作用が強く上皮細胞の増殖を刺激するために、創傷治癒に関連した領域で注目を集めている。皮膚欠損症や角膜損傷の治癒促進効果が報告されている。
- 5) インスリン様細胞増殖因子 (insulin like growth factor :IGF-1, IGF11)
この因子はソマトメジンともいわれ、成長ホルモンを活性化することにより、細胞のタンパク合成や増殖を促進する。

以上のような細胞増殖因子が関与して、創傷治癒が関与しているが、低出力レーザー照射作用機序としては：

- (1) レーザーが繊維芽細胞に作用し、プロコラーゲンの産生を増強する・
 - (2) 光化学作用により血液やリンパ流の改善
 - (3) 照射部に生じた軽い炎症作用が血管の再生、血流量の増大をおこす
- などが知られている。

4 疼痛緩和装置の概要

疼痛緩和装置は主として半導体レーザを光源とするもので現在多数販売されている。

4. 1 現在市販されている装置概要(最新のものではないことに注意)

レーザーの種類	機種名	波長(nm)	モード	出力 (mW)	発売元	装置価格 (万円)
半導体レーザー	セミレーザーナノックス LX-800	780±10	連続波	30±5	ジーシー	48
	ダイオード60M	830	連続波	60	長田電機	
	ダイオードS	830	連続波	30	長田電機	57.5
	Compact Laser	790	連続波	30	モリタ	
	Trinpl D	905	パルス 47.5 ~ 3Hz	0.095 ~ 6.08 10Wピーク	ヨシダ	37.5
	オサダライトサージ 3000	810±10	連続リビ ート	0.1~3	長田電機	380
	ツインレーザーEL-600	830		60×2	OG 技研	295
	Model MLD-2001	830		60×2	持田製薬	295
	Model MLD-1002	830		60	持田製薬	145
	Model 100	810	連続波	パルス ピーク10W	NIIC	59.8
He-Neレーザー	タカラ Belbeam	632	連続波	6	タカラベルモント	
	ソフトレーザー632	632.8	連続波 1 ~ 99Hz	6	パナソニックヘラウス	

4. 2 既存装置仕様の特徴と分析

1. 市販装置の仕様特徴は次のように整理できる。
 - 1) 照射モードはおおむね連続波 (CW) である。
 - 2) 波長は半導体レーザーの場合には GaAs 系材料によるものであって、波長域としては 800~900nm である。
 - 3) He-Ne は本来の発振波長のものに限定。これ以外に泉工医科のものは 8.5mW で価格 210 万円で販売し、相当数の販売実績がある。
 - 4) 注目すべきことはヨシダとパナソニックヘラウスのパルス発振ができることである。

2. パルス照射の必要性

低出力レーザー装置においては通常 CW(連続波)で使用されているが、なぜパルス波が一般的でないかについては不明である。パルス照射の必要性についてはすでに生体反応の視点で検討されている。

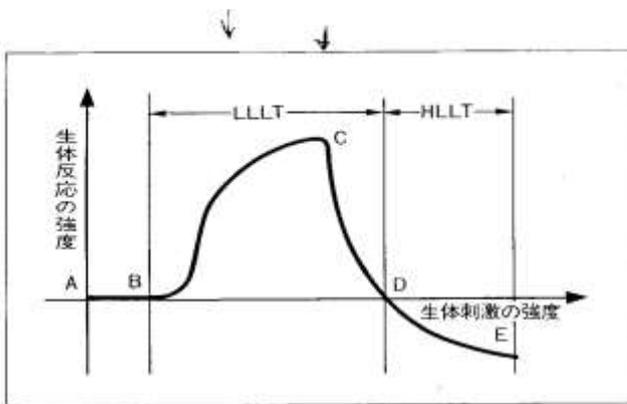
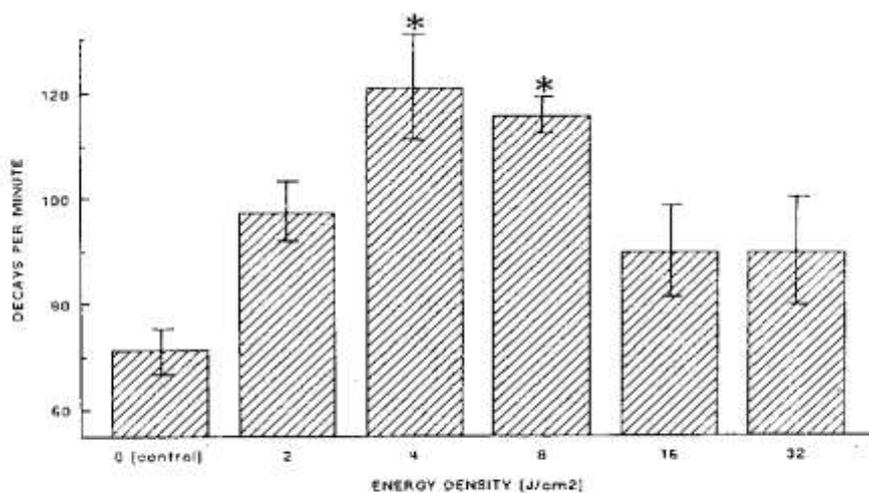


図 14・2 アーンツ・シュルツの法則曲線（大城）
 （大城俊夫：痛みに対する低反応レベルレーザー療法と応用に関する再考。日本レーザー医学会誌，9：33～42，1988。より引用）

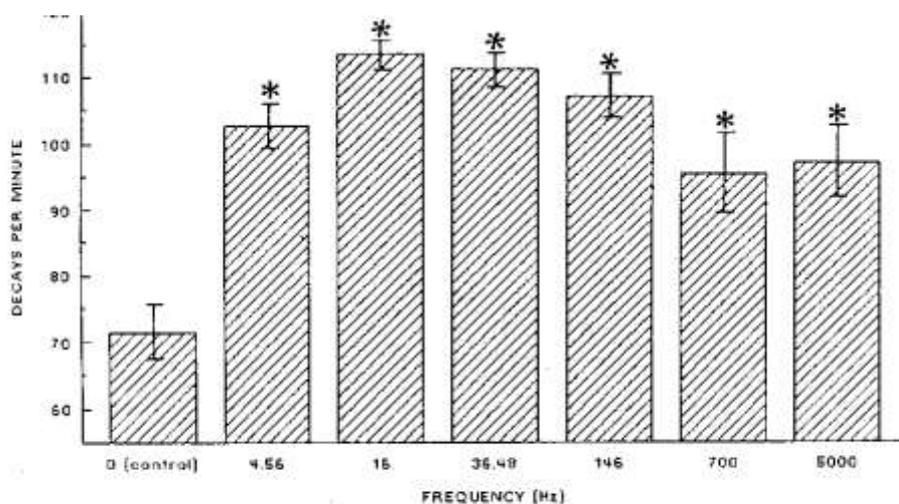
19世紀の後半，ドイツの Arndt-Rudolph と Schlutz-Hugo はアーンツシュルツの法則（Arndt-Schlutz-law）という学説を発表した。この学説は「生体は弱い刺激に対して活性化され，その活性化の現象は刺激が強くなるにつれ増大するが，ある閾値に達すると生体の反応は逆に抑制され，さらに刺激を強くしていくと生体の反応が停止する」というものである。これを図式化したのが図 14・2 であり²¹⁾，筆者はこれをアーンツシュルツの法則曲線と名づけた。この曲線で A B 間では生体刺激に反応せず，B 点で PAR が，C 点で PDR が始まる。B D 間で生体反応の強度は刺激前より強くなり，LLLT に利用される。一方，D E 間で生体反応の強度は刺激前より弱くなり，HLLT に利用されることになる。

このアーンツ・シュルツの法則によれば，CW 照射を継続すれば当然生体刺激が最大強度に達したあとには反応が抑制されることになる。同様なデータはマクロフェージに対するの周波数特性の測定を行った Young らの実験結果を示す。



Wavelength - 660nm
Frequency - 5000Hz

Figure 1. Graph plotting energy density (J/cm²) against decays per minute. *Significantly greater than control ($p < 0.01$)



Energy Density - 2J/cm²
Wavelength - 660nm

Figure 2. Graph plotting frequency (Hz) against decays per minute. *Significantly greater than control ($p < 0.01$)

この測定結果からエネルギー密度と照射周波数と細胞活性との間に最適値が存在することがわかる。特に、周波数特性の測定から CW(コントロール)と最大周波数との間には概略2倍近い差があることに注目する必要がある。このデータを参照すれば、既存装置が総じて連続波 (CW) モードを使用していることに問題があると判断できる。

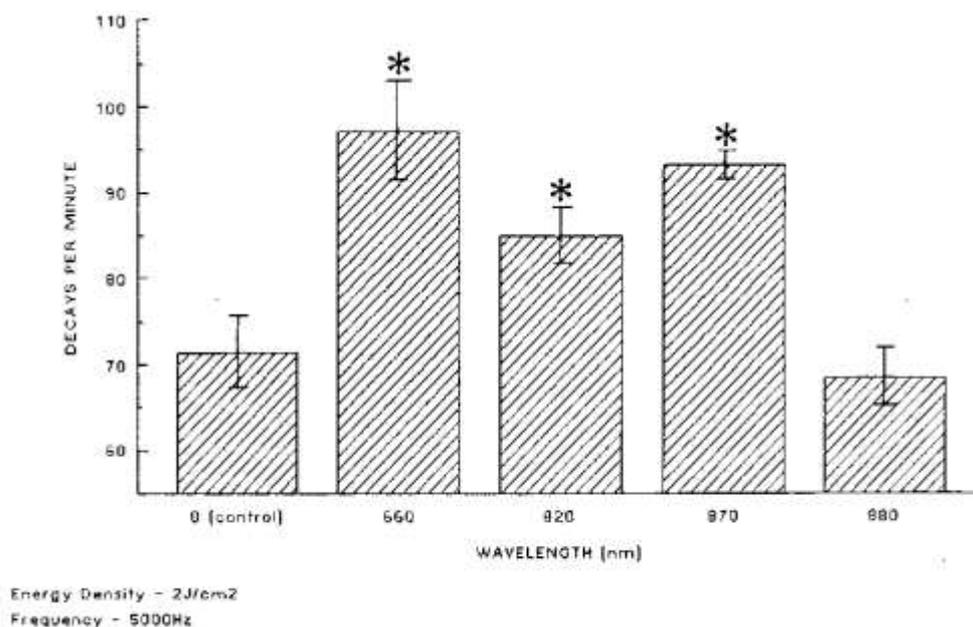


Figure 3. Graph plotting wavelength (nm) against decays per minute. *Significantly greater than control ($p < 0.01$)

この波長依存特性から細胞活性に有効な範囲としては 660-900 nm 程度に集中していることに注意する必要がある。

3. 照射エネルギー密度

照射エネルギー密度によっても細胞活性が大きく変わることから、高ピーク発振する NIIC やヨシダ製のものはこの条件を満足できないといえる(照射時間を長くしないと満足できないため)。通常の CW であれば、レーザーの場合にはスポット径が小さいから出力として、1 mW, スポット径として 1 mm とした場合であっても、エネルギー密度として 0.127 J/cm² となるために、必要とするエネルギー密度をうるためには 100 秒程度照射するだけで達成できることから、あまり問題にならない。

4. まとめ

従って、既存措置における最大の課題は照射モードが CW である点にあると判断できることである。なぜ、このような仕様の製品が主流になったかは不明であるが、おそらく、半導体レーザーのパルス化において技術的に問題があったことがその要因として考えられる。

5. 既存装置の臨床評価

低出力レーザーによる作用機序としてはすでに広く知られているように、

- ① コラーゲンの新生促進
- ② 組織酸素活性の亢進
- ③ 血管新生の促進
- ④ 血流の改善、促進
- ⑤ 生体活性物質の産生
- ⑥ 神経興奮性の抑制

⑦ 免疫能の向上

などが知られている。

6. 非レーザー光による疼痛緩和装置

最近新規疼痛緩和装置が発表された。この装置は光源は非レーザー光であり、上記にしめたような効果効能を具体的に可能とする装置のようである。その詳細を示す。

「The Bearable Lightness of Healing」によれば光治療によって痛み除去に即効性があり、すでに大リーグでも実績があるとのことである。この記事では光源が非レーザーであり、以下のような製品仕様が示されている。

1. 名称 : Photonic Stimulator

2. IR intensity : constant mode; 10 levels with 150mW/cm² at full power

Waveform : Constant and Sinusoidal 20Hz to 200Hz

Heat Lamp Intensity: 20-70lumens

Time setting: 1 to 9.9 min

Programmable Parameter setting: 99

Power 120/240 VAC, 50/60Hz

3. Price 6500USD

2. 作用機序および効能

この装置は次の効果があるとしている。

- 1) 血流を刺激し、血液循環をよくする。
- 2) 損傷した細胞が回復
- 3) ダメージを受けた神経細胞の治療 : 脊髄損傷など
- 4) スポーツでの損傷治療
- 5) 筋肉をほぐす
- 6) 痛みの緩和
- 7) 腫れの解消
- 8) 痛みの緩和作用は神経回路の感度が低下し、体内でエンドルフィンが分泌されることによる。
- 9) テニスエルボ
- 10) 火傷

同様な作用機序は当然レーザー光においても確認されている。

公表特許公報特表 2001-511667 に関連する技術内容が公開されている。(公開:平成13年8月14日)

名称 : 光エネルギーによる生物学的組織の刺激(アメリカ1996出願)

概要 : Nd : YAGレーザーの基本波でパルスモードまたは連続モードで1平方センチあたり100-1000mWの低レベル反応性レーザーシステムを使用して、損傷性の熱効果に生体組織をさらすことなく、微小循環の刺激により、軟組織内の痛みを軽減

し、炎症を減少させ、組織の治癒力を増強させることが見出された。照射対象部位でのエネルギー密度は一平方センチメートルあたり約0.1-約15ジュールの範囲内に制限される。

作用機序

血管壁が光をうけると平滑筋細胞内で緊張が抑制され、毛細血管内の血流が増加する。また次の効果が観測された。

- 1) 末梢毛細血管新生
- 2) 血小板凝集の減少
- 3) 組織のより大きい酸素化を可能にする三重項から一重項の形態への O_2 の還元
- 4) 血液中の緩衝物質濃度の低減
- 5) 赤血球変形指数の安定化
- 6) 血液の過酸化脂質酸素化産物の低減、
- 7) 抗トロンビン活性指数の増大
- 8) スーパーオキシドジムスターゼおよびカタラーゼのような抗酸化系酵素の刺激
- 9) 照射部位での静脈およびリンパ球の流出の増大
- 10) 照射部位での組織浸透性の著しい増大による組織内の水腫および血腫濃度の即時減少をもたらす。
- 11) 細胞レベルでは、ミトコンドリアもまた、増大した量のADPを産生し、結果としてATPの増加をもたらす
- 12) 細胞レベルで細胞膜においてカルシウム及びナトリウムポンプの刺激増大
- 13) 神経レベルでは上述の治療的処置の結果として以下の効果が観測された。
 - (1) つぶれた及び無傷の神経の潜在的作用の増加
 - (2) 血液供給及び軸索数は照射部位で増大
 - (3) 癒痕組織の抑制
 - (4) 神経の膜浸透性が直ちに増大する
 - (5) カルシウム及びカリウムイオンの浸透性の長期変化
 - (6) RNA及びDNA産生が増強
 - (7) 神経再生において重要な因子である一重項 O_2 が発生する。
 - (8) 神経障害を伴う病的退行変性が再生へと変化する。
 - (9) 星状細胞と希突起膠細胞の両方が刺激され、これによる末梢神経の軸索及びミエリンの再生増加が引きおこされる。
- 10) 血球の食作用は増大し、これにより感染が実質的に低減する
- 11) コラーゲンの強化を生み出すと同時に関節中の腱、神経、囊の炎症減少を提供する抗炎症現象も存在する
- 12) 制限された循環条件下での開いた創傷の閉鎖における肉芽組織の著しい増大
- 13) 組織の痛覚消失が観測された

- (14) 局所レベルでは炎症の減少と滲出物の再吸収が引き起こされる
- (15) 脊髄レベル及び脳内の両方で痛みの生成を調整するエンケファリンおよびエンドルフィンが補充される。セロトニン作動性の経路もまた補充される。
- (16) 作用機序は明確でないが、組織の照射が、痛みの軽減理由である細胞レベルでのエネルギー平衡の復帰を引き起こしている。

7. 新規光疼痛緩和装置の特徴・仕様・適用範囲について

特徴：今回製品化を意図した新規光疼痛緩和装置の特徴は以下に示される。

- 1) 現在知られている低出力光照射効果が最大限発揮できるように構成されている。具体的には温熱作用を主としている従来品に比べて、光-細胞相互作用が十分に生じるような光照射条件を設定している事が第一の特徴である。具体的な対応策は：
- 2) 波長範囲は光の血液吸収がなく、かつ組織内の水吸収が少ない範囲を選定している。
- 3) 照射光は細胞の生体刺激のなれを防止するために、パルス化している。
- 4) 広範囲な部位照射を可能とする複数(3個)光源方式と自在に操作できるスタンドを標準装備している。
- 5) レーザ光と非レーザー光の生体作用の相違は基本的には無いと理解されているが、同一の強度をもつ光が生体表面に入射した場合に、生体内に挿入していく条件が異なっている。レーザーの場合には粗い表面や不均一な媒質を照射し、その散乱光を観察したときに、空間に生じるコントラストの高い斑点状の模様を示すスペckル現象といわれる部分的に強度変化を起こす場合があるが、非レーザー光の場合にはこのような現象は見られない。一端組織内に透過していく場合には干渉性が失われるために、レーザー光と非レーザー光の相違は生じないと理解できる。生体作用を議論する場合にはあくまでも光波長成分、強度が重要になる。この意味で本装置は今まで発表されてきた低出力光による生体作用が適用される。

仕様

- 1) 使用光源：ハロゲンランプ 3台
- 2) 照射波長範囲：600nm～1μm
- 3) 出力可変範囲：5段階設定
- 4) 照射出力値：最低出力時 mW/cm² ～ 最大出力時 mW/cm²
- 5) 照射パルス条件：
- 6) 照射時間設定：1分～10分まで1分間隔
- 7) 照射面積：
- 8) 最大照射時の照射部温度上昇： 度C

装置外観

予想される効果・効能

- 1) 血流を刺激し、血液循環をよくする。
- 2) 損傷した細胞が回復
- 3) ダメージを受けた神経細胞の治療：脊髄損傷など
- 4) スポーツでの損傷治療
- 5) 筋肉をほぐす
- 6) 痛みの緩和
- 7) 腫れの解消
- 8) 痛みの緩和作用(短期的)は神経回路の感度が低下し、体内でエンドルフィンが分泌されることによる。長期的には損傷した細胞の回復を早めることによる痛みの緩和作用
- 9) テニスエルボ
- 10) 火傷
- 11) 虫さされの化膿を防止する
- 12) コラーゲン産生によるしわ取り
- 13) 美肌(肌を白くし、化粧のりを良くする)
- 14) 育毛作用

8. 東京医研のスーパーライザーとの比較

東京医研は長年スーパーライザーと称する光線治療器を販売してきた実績がある。この装置と今回開発した光線治療器は同一の装置なのか、あるいは別個の装置であるかについて比較検討を試みた。

東京医研のスーパーライザーは東京医研から出願されている特許をみれば、以下のよう構成であることがわかる。引用文献：実用新案公報 実公平6-27172

- 1) ハロゲンランプ
- 2) 所定範囲の波長帯をカットするカラーガラスフィルター
- 3) カラーガラスフィルターを透過した赤外線を含む光を患部に案内する可撓性を有する光ファイバーライトガイド
- 4) 光を集光する集光レンズ群
- 5) 集光された赤外線を含む光を直線偏光させる直線偏光板

からなる装置とある。

産業用に利用分野としては理学診療用赤外線治療器に関し、特に患部に赤外線を照射して、温熱効果等により患部を治療する理学診療用赤外線治療器と規定している。

このような装置構成をみれば、患部に一定以上の温度まで上昇させ、温熱効果を生じるように構成されているものである。東京医研およびウシオ電機から出願されている特許と、今回開発された装置との比較を別表に示す。

