原 著

慢性関節リウマチにおける低出力低反応レベル レーザー治療と高出力低反応レベルレーザー治療の 鎮痛効果とレーザーエネルギーの関係

◎ 小幡 純一

日本リウマチレーザー研究所

〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺 1-8-7

TEL 044-955-0875 FAX 044-954-0622

The relationship between acute pain relieving effects
on chronic rheumatoid arthritis patients treated by low power
low reactive level laser treatment (low power LLLT)
and high power LLLT and laser energy

◎ Junichi OBATA

Japan rheumatism and laser laboratory

1-8-7, Manpukuji, Asao-ku, Kawasaki, Kanagawa, 215-0004, JAPAN

TEL 044-955-0875 FAX 044-954-0622

要 旨

各種疼痛性疾患に対する鎮痛効果を目的として臨床応用されているいわゆる低反応レベルレーザー治療 (LLLТ) 装置には、2つのタイプがある。1つは従来型でレーザー光の照射スポットを絞った低出力 (出力10~100mW, パワー密度1.923~9.615W/cm², C. W.) LLLТ装置であり、もう1つは高出力 (出力1000mW, パワー密度0.57W/cm², C. W.) LLLТ装置である。我々は、慢性関節リウマチに対してこのコンセプトの異なる2つのタイプの低反応レベルレーザー治療を行い、その鎮痛効果とレーザーエネルギーの関係について検討した。結果は、従来型の低出力LLLТにおける鎮痛効果の有効率は70%以上であり、出力およびパワー密度と有効照射時間に負の相関関係を認めたが、出力60mW以上では有効率に有意差はなかった。一方、高出力LLLТの鎮痛効果は照射時間にかかわらず30%と低かった。鎮痛作用については総出力よりもパワー密度が重要であることが示唆された。

◎ キーワード : 低反応レベルレーザー治療, 低出力レーザー治療, レーザーエネルギー, 慢性関節リウマチ, 半導体レーザー

Abstract

Two types of low reactive level laser treatments (LLLT) have been used to treat patients with chronic rheumatoid arthritis (RA). Acute pain-relieving effective ratio of the low power and low power density laser treatment (10~100W, 1.923~9.615W/cm², C.W.) was over 70% and that of the high power and low power density laser treatment (1000mW, 0.57W/cm², C.W.) was about 30%. An inverse relationship was observed on RA patients treated by low power level lasers (10~60mW) between the laser power and the effective time of irradiation. Laser power plays an important role in determining the degree of the pain-relieving effects. However, the rates of effect were not significantly different between the 60mW treated groups and the 100mW treated group. An inverse relationship was not observed on the 1000mW treated group between the rates of effect and effective time of irradiation. Laser power density plays a more important role in determining the pain-relieving effects than total laser power.

○ **Key words** : Low Reactive Level Laser (LLLT), Low Power Laser Treatment, Laser Energy, Chronic Rheumatoid Arthritis, Diode Laser

I はじめに

レーザー治療は従来その発射装置の出力 (Power) によって低出力、中出力そして高出力レーザー治療と区別されてきた。一方、生体の反応性からみた分類としては、低反応レベルあるいは高反応レベルレーザー治療と呼ばれている。しかし、これまでは同じレーザー治療をレーザー光発射装置側に立って見るか、生体側から見るかの違いでしかなかったようにも思えた。数年前、鎮痛効果を含め、同じような作用、効果を期待する出力1000mWレーザー治療装置が開発され、広く臨床応用されるようになった。この装置は従来の低出力あるいは低反応レベルレーザー治療器と呼ばれる装置とコンセプトが異なり、レーザービームを絞った従来型の点照射タイプに対して、照射野あるいは照射面積を広くとった、いわゆる面照射タイプのレーザー治療装置である。従来型の低出力低反応レベルレーザー治療に対して、高出力低反応レベルレーザーに属する治療装置である。慢性関節リウマチ (RA) における点照射タイプレーザー治療の鎮痛効果の有効率が約70%であることは、すでに内外の報告¹⁾でも明らかであ

るが、面照射タイプレーザー治療に関しては一定の認識が得られていない。そこでこの2つの異なるタイプに属するレーザー治療装置を用いて、RAにおける鎮痛効果を比較し、その相違点について検討し、低反応レベルレーザー治療の今後について考察を試みた。

II 対象と方法

対象はアメリカリウマチ協会診断基準による Definite以上の慢性関節リウマチ (RA) 患者である。10段階疼痛アナログスケール (VAS) で3以上の運動痛を有するSteinbroker分類でStage I~IIIの炎症手関節を無作為に選んだ。レーザー治療装置は出力10~100mW、先端部の照射スポット面積が0.03cm²以下の点照射タイプ (Aタイプ) と照射面積が約1.77cm²で出力1000mWの面照射タイプ (Bタイプ) の2つのタイプを用いた (表1)。Aタイプレーザー治療は先に報告²⁾したように、同一症例の両側または片側手関節についてレーザー出力、機種を変えてくり返し照射を試みたものである。照射は手関節周囲圧痛点 (約12点以下) に対して各々15秒間ずつ照射する毎に

表1 レーザー治療器検討機種とレーザーエネルギーからみた措置の能力

タイプ	レーザー出力 (mW)	装置型式	プローブ先端部 照射スポット面積 (cm ²)	パワー密度 (W/cm ²)
A	20	JQ305	0.0104	1.923
	40	JQ305	0.0104	3.846
	60	JQ305	0.0104	5.769
	100	JQ305	0.0104	9.615
	(参考) 10	FLAT10	0.0314	0.318
	(参考) 60	EL700	0.000314*	31.8
B	1000	MLD1005	0.03以下	約1.9
			1.7663	0.566

* : プローブ先端部より10mm

表2 レーザー治療効果判定基準

急性鎮痛効果

レーザー治療直後の疼痛寛解の程度に関する患者表現および治療前、直後の10段階疼痛アナログスケール (VAS) の変化によって以下の5段階で評価。

〈患者表現〉		〈VAS〉	〈PRS〉
悪化	悪くなった	1段階以上悪化	悪化 10~
不変	変わらない	変化なし	無効 9~10
軽度改善	少し良くなった	1段階改善	微効 6~8
中等度改善	大部良くなった	2段階以上改善	有効 2~5
著明改善	(ほとんど)痛くない	VAS 0~1	著効 0~1

鎮痛効果を評価し、1点2分間(120秒間)までの照射時間の範囲で照射をくり返し、中等度改善以上の効果が得られた段階で照射終了とした。使用したGa-Al-As半導体レーザー治療器はそれぞれ異なる装置の能力をもったJQ305(日本赤外線工業、出力20~100mW、パワー密度約1.923~9.615W/cm²、波長810nm、C.W.)、FLAT10(富士電機、出力10mW、パワー密度約0.318W/cm²、波長830nm、C.W.)、EL700(松下電機、出力60mW、パワー密度約1.9W/cm²、波長830nm、C.W.)の3機種である。このパワー密度の異なる6種類のレーザー光をすべて照射できた例は10手関節で、5、4、3、2、1種類のみ照射できた例はそれぞれ5、7、1、14、12手関節であった。最終的に65炎症手関節に対し、合計156回のレーザー治療を試み鎮痛効果とレーザーエネルギーの関係について評価した。さらに、今回我々は新たに66炎症関節を対象として、Bタイプレーザー治療装置(MLD-1005松下、Ga-Al-As半導体レーザー、出力1000mW、パワー密度約0.57

W/cm²、C.W.)を用い、手関節周囲圧痛点(約12点以下)に対して、1点15、30、60秒間照射をそれぞれ1週間以上の照射間隔で同一手関節にくり返し治療を試みた。治療結果については、著明改善、中等度改善、軽度改善、不変、悪化の5段階で治療直後にVASによって評価し急性鎮痛効果を判定した。なお、そのうち61症例については、同時に日本レーザー治療学会判定基準に準じたPain Relief Score (PRS)を用い、著効、有効、微効、不変、悪化の5段階で評価した(表2)。

III 結 果

Bタイプレーザー治療群の鎮痛効果を表3に示した。VAS群の評価でみると、照射時間が1点15秒間~60秒間の範囲では、照射時間との相関性は認めず、照射時間にかかわらずすべて軽度改善以上で60~70%、中等度改善以上となるとすべての照射群で有効率30%前後であった。PRSの評価でも照射時間と有効率に相関性は認めなかった。一方、先に報告したAタイプレーザー治療群65

表 3 RA手関節における面照射 (B) タイプレーザー治療の鎮痛効果判定

-VASとPRSの比較

(出力1W MLD-1005 松下)

V A S	照射時間	著明改善	中等度改善	軽度改善	不変	計
	15秒	1 (4.4)	5 (21.7)	8 (34.8)	9 (39.1)	23
		6 (26.1)				
		14 (60.9)				
	30秒	5 (19.2)	3 (11.6)	10 (38.4)	8 (30.8)	26
		8 (30.8)				
		18 (69.2)				
	60秒	4 (23.5)	1 (5.9)	6 (35.3)	6 (35.3)	17
		5 (29.4)				
11 (64.7)						

P R S	照射時間	著効	有効	微効	無効	計
	15秒	0	7 (30.4)	5 (21.8)	11 (47.8)	23
		7 (30.4)				
		12 (52.2)				
	30秒	2 (9.1)	4 (18.2)	9 (40.9)	7 (31.8)	22
		6 (27.3)				
		15 (68.2)				
	60秒	3 (18.8)	2 (12.5)	3 (18.7)	8 (50.0)	16
		5 (31.3)				
8 (50.0)						

(PRS: 日本レーザー治療学会効果判定基準に準ず)

有効率 (%)

手関節における鎮痛効果をVASで評価した結果は、レーザー光の出力が10~60mWの範囲であれば、照射時間と有効率が正の相関を示していた (表4)。しかも、中等度改善以上の有効率で比較してみるとBタイプレーザー治療群の有効率は照射時間にかかわらず約30%であり、出力10mW~20mWのAタイプレーザー治療群の1点30秒間照射に相当する有効率である (表5)。しかし、10mW~20mWのAタイプレーザー治療群の有効率が照射時間と相関して、有効率が60~70%まで上昇したのに対し、効果の相違は明らかであった (図1)。

RA手関節周囲圧痛点1点あたりのレーザーエネルギー密度と鎮痛効果の関係をみてみると、点

照射型のAタイプレーザー治療群は各出力においてエネルギー密度と有効率に正の相関を示しているが、面照射型のBタイプレーザー治療では有効率とエネルギー密度に相関性はなかった (図2)。レーザーエネルギー密度と鎮痛効果の有効率を図にプロットしてみると、Bタイプレーザー治療の場合、Aタイプと同様の照射時間では、エネルギー密度が低すぎるものが指摘された。有効率が劣ることはレーザーエネルギーの面からも明らかであった (図3)。

IV 考 察

波長800nm前後のAタイプ半導体レーザー光の鎮痛効果については、出力が重要な要素であ

表4 RA手関節周囲圧痛照射1点あたりの点照射(A)タイプレーザー出力別照射時間と鎮痛効果の関係

(有効率=中等度改善以上症例/全症例)

レーザー 治療器機種	出力 (mW) (パワー密度 W/cm ²)	照射時間 (秒)						症例数
		15	≤30	≤45	≤60	≤90	≤120	
JQ305	20 (1.923)	1 (3.4)	8 (27.6)	16 (55.2)	20 (69.0)	22 (75.9)	22 (75.9)	29
	40 (3.846)	3 (11.1)	11 (40.7)	15 (55.6)	19 (70.4)	20 (74.1)	21 (77.8)	27
	60 (5.769)	8 (26.7)	18 (60.0)	19 (63.3)	23 (76.7)	23 (76.7)	24 (80.0)	30
	100 (9.615)	9 (27.3)	20 (60.6)	22 (66.7)	25 (75.8)	27 (81.8)	28 (84.8)	33
	検定*	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
FLAT	10 (0.318)	0 (35.0)	7 (50.0)	10 (60.0)	12 (75.0)	15 (75.0)	15 (75.0)	20
EL700	60 (1.9)	7 (35.0)	12 (60.0)	15 (75.0)	15 (75.0)	16 (80.0)	16 (80.0)	20

※: 4群間におけるKruskal-Wallis検定 上段: 有効症例数(累積)

*: P<0.05

下段: 有効率(累積%)

表5 RA手関節周囲圧痛照射1点あたりのレーザーエネルギー密度と鎮痛効果の関係

(有効率=中等度改善以上症例/全症例)

レーザー 治療器 タイプ	レーザー 治療器機種	出力 (mW) (パワー密度 W/cm ²)	照射時間 (秒)						症例数
			15	≤30	≤45	≤60	≤90	≤120	
A	JQ305	20 (1.923)	28.8 (3.4)	57.7 (27.6)	86.5 (55.2)	115.4 (69.0)	173.1 (75.9)	230.8 (75.9)	29
		40 (3.846)	57.7 (11.1)	115.4 (40.7)	173.1 (55.6)	230.8 (70.4)	346.1 (74.1)	461.5 (77.8)	27
		60 (5.769)	86.5 (26.7)	173.1 (60.0)	259.6 (63.3)	346.1 (76.7)	519.2 (76.7)	692.3 (80.0)	30
		100 (9.615)	144.2 (27.3)	288.5 (60.6)	432.7 (66.7)	576.9 (75.8)	865.4 (81.8)	1153.8 (84.8)	33
	FLAT	10 (0.318)	4.77 (0)	9.54 (35.0)	15.9 (50.0)	19.1 (60.0)	38.6 (75.0)	38.2 (75.0)	20
	EL700	60 (1.9)	28.5 (35.0)	57.0 (60.0)	85.5 (75.0)	114.0 (75.0)	171.0 (80.0)	228.0 (80.0)	20
		1000 (0.566)	8.49 (26.1)	17.0 (30.8)	N.D	34.0 (29.4)	N.D	N.D	66
B	MLD1005	1000 (0.566)	8.49 (26.1)	17.0 (30.8)	N.D	34.0 (29.4)	N.D	N.D	66

Aタイプ: 点照射タイプ

Bタイプ: 面照射タイプ

上段: エネルギー密度 (J/cm²)

下段: 有効率

り、少なくとも我々が検討した10~100mWのレーザー出力(いわゆる低出力レーザー光)の範囲内では、有効率は出力60mW以下で出力と正の相関を示した。出力が高い程効果も高いと言えるが、60mW以上では有効率に有意差がないという結果も得られている。一方、同じパワー密度であ

れば、出力が高い程、短い照射時間で同様の有効率が得られている。さらに同じ出力あるいはパワー密度であれば、照射時間が長い程、すなわちエネルギー密度が高い程、鎮痛効果が得られやすいと言える。しかし、有効率で70%に達するにはエネルギー密度で120J/cm²以上は必要で、200~

図1 RA手関節周囲圧痛点照射1点あたりのレーザー照射時間と鎮痛効果の関係

300J/cm²のエネルギー密度に達すれば、鎮痛効果はほぼ一定になるという結果であった。なお、出力の低いレーザー光の方がエネルギー密度の低いレベルで鎮痛効果が得られやすいという傾向もあった。

レーザー光の鎮痛作用機序の1つとして、レーザー光の物理的刺激が侵害刺激としての十分な刺激強度に達した際、非特異的刺激としてポリモダル受容器から入力され、その結果として鎮痛効果が出現すると考えられる。従って、河谷らが報告³⁾している末梢神経感覚神経伝導の遮断が主たる作用機序の1つだとしても、侵害刺激になりうる最低限の刺激量は必要である。侵害刺激として必要な最低のレーザーエネルギーは、Aタイプ治療器を用いたRAに対する治験の結果では、照射皮膚面でのエネルギー密度として、10J/cm²程度と推測され、約300J/cm²で刺激としてプラトーに達すると考えられた。一方、レーザー光のパワー密度の面から検討した結果、AタイプのGa-Al-As半導体レーザー光では、パワー密度が高い程、鎮痛効果も高いが、5.769W/cm²以上では鎮痛効果に有意差がでなかった。つまり、受容体の閾値より高いレーザーエネルギーを与えることは無意味であるばかりか、副作用を考えれば危険で

あることを示唆する。侵害刺激として十分なエネルギー量に関しては、伊藤ら¹⁾ YAGレーザーを用いて検討しており、触覚域値はパワー密度で8.22W/cm²であり、この付近で最も高い鎮痛効果が得られたと報告している。

今回新たに検討した面照射型のBタイプレーザー治療装置は、出力を従来型Aタイプの10倍以上に設定し、逆に照射野を広くしてパワー密度を低く抑えたものである。従来型の低出力低反応レベルレーザーに対し、高出力低反応レベルレーザーと呼ぶべきものである。また従来型のものはLow Power and High Power Density Laserであり、BタイプはHigh Power and Low Power Density Laserとも言えよう。このBタイプレーザー治療器を用いたRAにおける鎮痛効果についてはDose Dependentではなくエネルギー密度と鎮痛効果に有意な相関はみられなかった。しかも最大有効率は30%と低く、プラセボ効果に近いとも思えた。しかし、今回検討した照射時間では侵害刺激としてなりうる十分な刺激量に達しなかった可能性も否定できない。エネルギー密度からみると、従来型点照射レーザー装置 (EL700, 松下, 波長830nm, 出力 (60mW, C. W.)) の15秒間照射がBタイプレーザーの60秒間照射に匹敵し、こ

図2 RA手関節周囲圧痛点照射1点あたりのレーザーエネルギー密度と鎮痛効果の関係

のレベルでは有効率がともに30%程度であった。つまり、エネルギー密度から単純に有効率を推定すれば、Bタイプレーザーを1点200秒間以上照射すれば有効率も70%以上に達すると考えられるが、実際にはそれ程単純ではなかろう。Bタイプレーザー光の場合Aタイプと異なり、温熱効果を見逃できないからである。临床上はこの点が決定的な相違点であろう。Bタイプレーザー治療では、照射時間を長くすればする程温かく感じるため、それをプラスと捕らえる患者もあるかと思えば、熱くて照射を続けられないというマイナス効果を訴える患者もある。この効果は本来の低反応レベルレーザー治療にはないものである。その点で、AB両タイプの効果を同じ低反応レベルレーザー治療の範囲内で比較するには今回我々が検討した照射時間（1点60秒間以内）程度が適当であり、それを大幅に延長した照射時間で比較するには別の観点からの検討が必要と思われる。いずれにせよ、出力を上げることで照射時間を短縮するとい

う目的は達成できなかったと言えよう。つまり、出力をどんどん上げて熱作用による副反応を抑制するために照射野をどんどん広げるといったコンセプトは临床上とても魅力的なものに写るが、鎮痛効果を高める目的としては得策と言えず、今後の治療装置開発には一考の余地がある。

以上の結果、鎮痛作用に必要なレーザー光のエネルギー面からの要素は総出力よりもパワー密度が重要と言える。しかも2~6W/cm²程度のパワー密度が十分な刺激量であり、それ以上のパワー密度があっても有効率を上昇させることはなかった。安全面からもむやみに出力あるいはパワー密度を上げることは慎重でなければならない。出力1000mW, C.W. のレーザー光を仮にAタイプにすれば、パワー密度100W/cm²程度となり高反応レベルレーザー光に変わる。すなわち、柴田らの報告⁵⁾のような観血的な神経ブロック療法と呼ぶべきものになるだろう。さらに照射を続ければ組織温度が一気に上昇して、蒸散、

図3 RA手関節周囲圧痛点照射1点あたりのレーザーエネルギー密度と鎮痛効果

蛋白変性が起こるのであろう⁶⁾。今回、コンセプトの異なる2つのタイプのレーザー治療装置について、レーザーエネルギーの面からその鎮痛効果について比較検討を試みた。临床上、従来の点照射タイプのレーザーはコールドレーザーとも呼ばれるものであり、一方、面照射タイプは温熱作用を前面に出したホットレーザーである。従って、同じ低反応レベルレーザーに分類されているとはいえ、临床上は異なるレーザー治療であることは容易に推測できる。一般的にレーザー光が及ぼす生体への熱効果は照射エネルギー密度で決まるので、全照射エネルギー、照射面積、光強度の空間的分布(横モード)などが関係すると言われている。しかし、低反応レベルレーザー光の生体刺激作用にも同じことが言えるかどうか、検討が必要であらう。

V おわりに

面照射(B)タイプレーザーの出現は画期的なことであるということは言うまでもない。このレーザーコンセプトを生かし今後さらに低反応レベルレーザー治療の対象疾患や適応が拡大することを期待したい。いずれにせよ、鎮痛効果あるいは生体刺激作用についてエネルギー面から捕らえた研究は少ないので、今後は低出力・高パワー密度レーザー(Low Power and high Power

Density Laser)と高出力・低パワー密度レーザー(High Power and Low Power Density Laser)を同一視せず、臨床比較研究や基礎研究を進めることが低反応レベルレーザー治療の発展につながるとと思われる。

文 献

- 1) 小幡純一, 柳瀬昌弘, 本村明江, 坂牧玲子: 慢性関節リウマチにおける低出力レーザーの鎮痛効果. ペインクリニック, 8(1): 8-22, 1987.
- 2) 小幡純一, 柳瀬昌弘: 慢性関節リウマチの関節痛に対する低出力半導体レーザー療法の鎮痛効果とレーザーエネルギーの関係. 第14回日本レーザー医学会大会論文集, 313-316, 1993.
- 3) 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, 16(4): 533-539, 1995.
- 4) 伊藤暖果, 各務和宏, 吉田憲司, 深谷雅彦: 低出力Nd-YAGレーザー照射の感覚に及ぼす影響. 愛院大歯誌, 28(2): 613-617, 1990.
- 5) 西坂 剛: レーザーの医療への応用-基礎的知識-. 人工臓器, 16: 1763-1770, 1987.
- 6) 柴田聡彦, 那須優則, 代居 敬: 末梢神経へのNd-YAGレーザー照射の影響に関する基礎的研究. 日本レーザー医学会誌, 19(4): 197-204, 1998.