世界におけるレーザー医学

Laser Surgery and Medicine in the World

渥 美 和 彦

Kazuhiko Atsumi, MD.

東京大学 医用電子研究施設

University of Tokyo

Abstract

Therapeutic applications of lasers have been mainly concentrated to destruct biological tissues by high laser energy. However, recently biostimulations by use of low laser energy become one of the recent topics in laser medicine. Furthermore, new lasers of diode, excimer, etc. are applying into medical fields and the special laser hospital was constructed and opened in Japan.

1) レーザー医学の国際的動向

最近の国際レーザー会議の動向をみると、レーザー光の高エネルギーの応用におけるより広い範囲への展開とともに、一方、低エネルギーの応用が注目されている。

表1 国際レーザー医学シンポジウム(イタリアのBologna, 1985年6月26～28日)の発表論文からみた応用分野

1) General Surger	9	12) Endoscopy	11
2) Neuro Surgery	7	13) PDT	24
3) Ophthalmology	16	14) Low Power Laser Therapy	35
4) Otolaryngology	22	15) Laser and Pain Therapy	8
5) Dentistry	22	16) Phototechnology	8
6) Cardiovascular Surgery	12	17) Physics & Biophysics	19
7) Plastic Surgery	12		
8) Dermatology	10		
9) Gynecology	5	Total	250
10) Urology	4		
11) Orthopedics	26		

本年、6月、イタリアのボローニアで、国際レーザー医学シンポジウムが行われたが、その発表論文の分類は表(1)および表(2)のごとくである。

表(1)は、レーザーの利用分野別に分けたもので、低エネルギーレーザー治療が35と最も多く、次いで整形外科26、光化学療法 PDT 24、耳鼻咽喉科 22、歯科 22 の順になっている。

表(2)は、利用されたレーザーの種類によって分類した

表2 国際レーザー医学シンポジウム(イタリアのBologna, 1985年6月26～28日)よりみたレーザーの種類

•CO ₂	76	•Excimer	5
•He-Ne	37	•Krypton	4
•Mid-Laser	37(He-Ne, Diode)	•N ₂	3
•Nd-YAG	32	•Gold Vapore	2
•Argon	28	•Nd-glass	1
•Argon Dye	20	•Ruby	1
•Diode	20		
		Total	266

表3 医用レーザー・オプトエレクトロニクス会議 (西独. München 1985年7月3日～5日) の発表論文の内容

(利用分野)		(レーザーの種類)	
Basic Research	11	CO ₂	9
Neuro Surgery	1	Nd-YAG	8
Otolaryngology	2	Argon	5
Cardiovascular Surgery	1	Argon-Dye	3
G I	1	He-Ne	12
Gynecology	2	Diode	3
Urology	2	Ruby	1
Orthopedics	1	Krypton	1
P D T	6	Cu	1
Biostimulation	6	Dye	1
Diagnostics	4	Optical Fiber	2
Instrument	2		
		Total	46
Total	39		

もので CO₂ が 76 と最も多いが、次いで He-Ne 37, Mid-laser (He-Ne, Diode) 37 であり、次いで Nd-YAG 32, Argon 28 の順になっている。Argon-Dye 20, およびダイオード 20 も最近多くなっており、新しいレーザーとして Excimer 5 と増加している。

本年 7 月、西独のミュンヘンにおいて国際オプトエレクトロニクスの会議があり、医学に関する会議も開かれたがその発表論文を分類したものが表(3)である。

表(3)によると、この会議では分野としては基礎的研究 11 と最も多いが、PDT 6 と並んで生体刺激 6 が多くになっており、レーザーによる診断も 4 と増加している。利用されるレーザーとしては He-Ne 12 と最も多いが、CO₂, Nd-YAG, Argon に次いで、ダイオードの利用も増加しつつある。

1979 年におけるわが国の病院での医用レーザーの設置予測数は表(4)のごとくであり、主として CO₂ 30, 次いで Nd-YAG 20, さらに Argon 5 であった。それが、1984 年になると、表(5)のごとく Nd-YAG が急激に増加し、CO₂ と同数の 180 になり、Argon 40, Argon Dye 25 となっており、He-Ne, ダイオード, N₂ および Excimer などが増加している。

わが国のレーザー医学の利用分野および利用されるレーザーの装置展開を、1983 年、1984 年、1985 年の年次大会の発表論文の推移よりみると、分野では PDT, 内視鏡, 歯科が多くなっており、同時に、基礎的研究, レーザー診断および医用レーザー装置の研究も活発化して

表4 わが国の病院に設置されている医用レーザー装置 (1979 年 9 月)

CO ₂ Laser	: 30
Nd-YAG Laser	: 20
Argon Laser	: 5
(Medical statistics of Japan)	
Total Population	: 105 Million
Medical Doctor	: 0.12 Million
Total Patients	: 10 Million/year
Hospital	: 7,000
Medical Care Cost	: 7 Trillion Yen (1979)
CT Scanner	: 1,000 Units
Dialyzer	: 15,000 Units
Ultrasonic Echography	: 30,000 Units

表5 わが国の病院に設置されている医用レーザー装置 (1984 年 10 月)

CO ₂ Laser	180
Nd-YAG Laser	180
Argon Laser	40
Argon-Dye Laser	25
Total	425

Others

He-Ne Laser	30
Ruby Laser	10
N ₂ Laser	5
Krypton Laser	3
Excimer Laser	5
Diode Laser	20
Total	75

Grand Total 500

いる。(図1)

利用されるレーザーは、Nd-YAG の増加が著しく、次いで CO₂, Argon および Argon-Dye となっており、ダイオードの利用も最近、急激にふえる傾向にある。(図2)

すなわち、レーザーの医学への応用は、分野の多様化とともに、多様なレーザーが利用されるようになっていくが、新しい分野として低エネルギーの利用が著しく多くなっているのが目立っている。

2) 低エネルギーレーザーの医学応用

このような背景の中で、低エネルギーのレーザーの医学応用の国際シンポジウムが本年7月東京において行われた。ヨーロッパより Galletti, Mousques, Amar, Fasano, 米国より Scott, Omura, カナダより McKibbin, 中国より Qin, Zhou, Yu などの低エネルギー利用の専門家が招待されたが、その低エネルギーレーザー利用のトピックスとしては、歯科、産婦人科、血管吻合、創傷治癒、血流の改善、内視鏡、整形外科、スポーツ医学、疼痛の抑止、レーザーはり、およびレーザー診断などがあげられる。(表6, 表7)

2-1) 低エネルギーレーザーの定義と分野

さて、ここで低エネルギーレーザーとは何かということを検討する必要がある。現在のところ、低エネルギーに対する明確な定義というものはない。しかし、レーザー光のエネルギーによる生体への作用という面から考えると、図3のごとく、低エネルギーレーザーを位置付け

図1 日本レーザー医学会年次大会 (1983～1985) における発表論文からみた応用分野

図2 日本レーザー医学会年次大会 (1983～1985) における発表論文からみたレーザーの種類

図3 レーザー光照射の生体への効果

表6 国際低エネルギーレーザー医学利用会議の展望講演(東京, 1985年7月18-20日)

° Opening Address

Future Medicine will be Opened by Laser Application
(Dr. K. Atsumi)

° Special Lecture

- 1) Natural and Laser Light-Types of Medical Lasers and Their Characteristics (Dr. F. Inada)
- 2) Present and Future of Photodynamic Therapy (Dr. Y. Hayata)
- 3) The Recent Situation and Problem of Therapeutics in Laser Endoscopy (Dr. T. Takemoto)
- 4) Application of Low Energy Laser to Living Tissue (Dr. T. Oshiro)
- 5) Current Status of Laser Medicine and Surgery in U. S. A. with Gynecologic Field in Particular (Dr. R.S. Scott, U.S.A.)
- 6) Application of Low Energy Laser in Europe (Dr. Galletti, Italy)
- 7) Application of Low Energy Medical Laser to Dental Surgery (Dr. Mousques, France)
- 8) Tooth Extraction under Laser Acupuncture Anesthesia (Dr. Y. Zhou, China)
- 9) Application of Electromagnetic Energy in Acupuncture (Dr. Y. Omura, U.S.A.)
- 10) Application of Low Energy Laser to Acupuncture (Dr. K. Kamikawa)
- 11) Experiences with the Use of the Infra-red Diode Laser in Aesthetic Plastic Surgery (Dr. R. Amar, France)
- 12) Application of Laser Light to Treat Certain Lesions in Standardbreds (Dr. L.S. McKibbin, Canada)
- 13) Application of Laser Technique in Chinese Veterinary Medicine (Dr. C. Yu, China)
- 14) Introduction to the Society for Researches and Applications of Laser in Medicine and Surgery (Dr. V.A. Fasano, Italy)

ることができる。

レーザーの低エネルギーが生体の組織に照射されると、生体の細胞の中の生化学物質が活性化される。さらに、レーザーのエネルギーが増加すると生体組織に刺激作用が生じてくる。これらの効果はレーザー光の光化学作用および電磁的作用(?)と考えられる。なお、さらにレーザー光のエネルギーが増加すると、生体組織の蛋白質が変性を受け、さらにエネルギーが増加すると、いわゆる熱作用が生じ生体組織が凝固し、遂には高温のために生体組織が気化蒸散することになる。

レーザー光の低エネルギーとは、一般に出力 100mW 以下、パワー密度としては $50\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下である。これに比して高エネルギーとは、20~120 W 以上、パワー密度としては $50\sim 100\text{W}/\text{cm}^2$ 以上である。また、低エネルギーの生体組織への効果は非熱的であり、高エネルギーの効果は熱的であると言える。ここで、中間的な移行部としての蛋白質の変性の状態を低エネルギーの中に包含することもある。

そこで、レーザー光の低エネルギーの応用としては表 8, 9, 10 のごとく、治療、診断、その他に分類される。

表7 国際低エネルギーレーザー医学利用会議のトピックス、ワークショップおよびセミナー(東京、1985年7月18-20日)

° Topics

- 1) Low Energy Laser Application in Dentistry
- 2) " in Obstetrics and Gynecology
- 3) " in Vascular Anastomosis
- 4) " on Wound Healing
- 5) " in Improvement of Blood Circulation
- 6) " in Endoscopy
- 7) " in Orthopedics
- 8) " on Sports Injuries
- 9) Laser Treatment for Chronic Pain in Anesthesiology
- 10) Laser Acupuncture in Neurological Condition
- 11) Clinical Diagnostic Application of Low Energy Laser

° Workshop

- 1) Pain Alleviation by Organic Stimulation
- 2) Effectiveness of Low Energy Laser on Human Body, Dogmatism and Examination
- 3) Introduction of Laser Equipments for Medical Use

° Seminar

- 1) For Dentists
- 2) For Acupuncture

表8 低エネルギーレーザーの医学応用(Ⅰ)

A) 治療	A-1) 光化学的效果	A-2) 電磁的效果	A-3) (弱)熱的效果
	1) 光増感物質 + 光化学作用	1) レーザーはり	1) 生体組織の溶接
	2) 培養がん細胞の抑制	2) 疼痛緩解	2) 小血管の吻合
	3) 殺菌効果	3) 創傷治癒	3) 虫歯の予防
	4) 酵素とビタミンの活性化		

表9 低エネルギーレーザーの医学応用(Ⅱ)

B) 診断	B-5) 刺激閾値測定
B-1) レーザー透視	痛み, 温度, 色覚
B-2) スペクトル分析	B-6) ホログラフィ
1) レーザー光の反射, および吸収	1) 眼底カメラ
2) レーザー蛍光分析	2) 超音波ホログラフィ
3) レーザー光励起蛍光がん診断	B-7) スペックルパターン
4) 血液中酸素飽和度の計測	1) 眼球屈折異常検査
B-3) レーザー可干渉性	B-8) 検体検査
1) 微小歪みの計測	1) レーザー微粒子光計測
2) 鼓膜振動	a) 自動細胞分別
3) 網膜解像力測定	2) レーザー散乱
B-4) レーザードブラー法	a) 精子泳動度計測
1) 網膜血管血流計	b) 懸濁計
2) 血管・心臓内の血流プロファイル計測	B-9) レーザー顕微鏡

低エネルギーレーザーの治療としては、1)光化学効果、2)電磁的効果、3)弱い熱的効果などを有するものが含まれる。診断としては、1)レーザー透視、2)スペクトル分析、3)可干渉性を利用するもの、4)レーザードプラー法、5)刺激閾値、6)ホログラフィ、7)スペックルパターン、8)生体資料分析、9)レーザー顕微鏡などが含まれる。その他としては、1)リハビリテーション、2)雑などがある。

2-2) がん診断・治療装置

わが国の三大国民病は、がん、心臓病および脳卒中の

表 10 低エネルギーレーザーの医学応用 (Ⅲ)

C) リハビリテーション

c-1) レーザー感覚補助

- 1) 盲人用レーザー杖
- 2) ホログラフィ眼鏡

D) その他

- 1) レーザー人工光合成
- 2) 酵素賦活
- 3) レーザー光通信による医療情報システム
- 4) レーザー画像処理

表 11 レーザー医学のがん、心臓病および脳卒中への応用

	診 断	治 療
が ん	<ul style="list-style-type: none"> ・ レーザー発光分光分析法 ・ 超音波ホログラフィ法 ・ レーザースペクトル診断法 ・ レーザー光がん蛍光法 ・ 赤外線レーザー内視鏡 ・ モークロナル抗体とレーザー細胞識別 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高エネルギーによるがん破壊 ・ 光増感物質のレーザー光励起による制がん ・ 紫外線レーザーの光化学効果
心臓病	<ul style="list-style-type: none"> ・ 超音波ホログラフィ ・ X線ホログラフィ ・ レーザードプラー血流計測 ・ レーザー光分光分析 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 血管内レーザー内視鏡による心臓弁手術 ・ レーザー光心筋穿通による血管再生 ・ レーザー光による狭窄冠動脈の開存 ・ レーザー光による洞房結節あるいは刺激伝導系への刺激
脳卒中	<ul style="list-style-type: none"> ・ 超音波ホログラフィ ・ X線ホログラフィ ・ レーザードプラー血流計測 ・ レーザー光刺激閾値測定による神経麻痺局在の定量化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 脳内出血部位の止血および修復 ・ レーザー光刺激による壊死巣拡大の防止 ・ 脳内血管動脈瘤治療 ・ 四肢麻痺筋のレーザー光刺激によるリハビリテーション

三つの成人病である。とくに、がんは最近急激に増加し、わが国の死因の第一位を占めるに至っている。がん、心臓病、脳卒中に対して、レーザー医学は診断および治療の両面より挑戦しているが、その総括が表 11に示されている。

従来より、Argon レーザーおよび Argon-Dye レーザーの低エネルギーを使用したがん診断・治療装置は開発されていたが、最近、通産省の医療福祉プロジェクトの一つとして新しい装置が開発されつつあるので、その概要をここに述べてみる。それは、

- a) 診断および治療のレーザー光の二つの波長をもつ

レーザーシステム

- b) スペクトル分析、イメージインテンフィア、SITカメラなどをもつ検知モニターシステム
- c) 光ファイバーと内視鏡より成る光伝達システムの三つより成り立っている。

a) レーザーシステム

波長可変レーザーとして Excimer レーザーを使用し、診断用に 450nm の波長を、治療用に 630nm の波長を利用する。電力は 1kW 以下で、診療に要する時間は 10～15 分、レーザーの照射の深さは 20mm である。レーザー装置の大きさは、100kg で 100 × 82 × 170cm、分

(各臨床領域の専門外来でレーザーによる小手術が可能)

図4 七里ハイテク医療センターにおける医用レーザーシステムの配置(中央管理のレーザー装置が光ファイバーで各室につながっており、コンピューターによりコントロールされている。)

解能は2mm以下で、2,000時間以上のライフタイムである。

b) 検知モニターシステム

スペクトルと映像イメージの同時表示で、スペクトルの伝達効率12%, Relay レンズの伝達効率20%である。

c) 光ファイバーシステム

1本のイメージファイバーを含む4本の光ファイバーを使用し、光ファイバーの径は4~6mmで、視野は105°で、2MWのレーザー出力に耐え得るものである。

2-3) 生体刺激、とくに疼痛緩和用の医用レーザー

生体刺激用の低エネルギーレーザーとして、He-Ne, Nd-YAG が使用されたが、最近では Diode レーザーの使用が盛んになってきた。ここで、われわれが使用した Diode レーザー装置とその疼痛緩和の効果について述べる。

使用した装置は60mWで、連続波、波長は830nm、消費電力15Wである。筋肉、腱、神経などの各種の痛みを試みて、その定量的評価として赤外線サーモグラフィを使用した。30人の患者に使用して、疼痛の緩和効果があった症例は21例(70%)であり、無効例9例(30%)であ

った。一方、サーモグラムの所見では、温度上昇が14例(47%), 温度下降が11例(37%)を示し、残りの5例(16%)は温度不変であった。

Diode レーザーを使用すると、一般に、血流障害などによる痛みの場合には血流が増加し刺激部位の表面温度が上昇する。一方、炎症などにより高温を呈するものは、レーザー照射によって温度が正常の方向に下降するものが多い。

今後の問題としては、次のようなことを研究する必要がある。

- (1) レーザー照射により疼痛が緩解するメカニズム
- (2) サーモグラフィを利用した効果の長期的観察
- (3) 他の電磁波、例えばマイクロ波、磁場、赤外線などの緩和効果との比較検討

2-4) レーザー病院

さて、このような背景の中で、レーザーを専門とするクリニックや病院が数米において出現しつつあるが、わが国においても最近、大宮市の効外に七里病院が建設されることとなった(図4)。ここでは、レーザー発振装置を中央に置き、2つの手術室と5つの専門外来(内視鏡、形成外科、一般外科、耳鼻科、眼科)に光ファイバーを

つないである。コンピュータ制御により各室の端末を介して、Nd-YAG, Argon, Aigon-Dye から任意のレーザーを任意の出力で指定し、レーザー照射を行うことができる。さらに、移動用として、Nd-YAG, CO₂, He-Ne, Diode などのレーザー装置を有している。なお、将来は、金蒸気レーザー、Excimer レーザーなどを光ファイバーにより伝達する予定である。本年 9 月に開院したが、現在、すでに 50 例にのぼる各種の疾患にレーザー治療を行なっている。