Nd-YAGレーザー導入によるレーザー脳神経外科手術の進歩

滝 和郎・武内 重二・米川 泰弘・山上 達人・大槻 宏和・半田 肇
織田 祥史*

Advance in Laser Neurosurgery by Introduction of the Nd-YAG Laser

Waru TAKI, Juji TAKEUCHI, Yasuhiro YONEKAWA, Tatsuhito YAMAGAMI,
Hirokazu OHTSUKI, Hajime HANDA and Akihumi ODA

Department of Neurosurgery, Kyoto University, Kyoto; *Department of Neurosurgery, Kochi Medical School, Kochi

Abstract

Experimental and clinical investigations were made to determine the suitability of the Nd-YAG laser in neurosurgical operations.

The vaporization effect of the Nd-YAG laser coagulator (Molelectron 8000, Medilas YAG) was experimentally examined using various materials. When boiled fish paste and a human skull were irradiated at a distance of 2 mm, vaporization occurred at the energy level of 70 watts, 1 sec. and 80 watts, 1 sec., respectively. At an energy level of 50 watts, 5 sec., rabbit livers was vaporized to the depth of 1 mm and kidney to a depth of 2.3 mm. From these experiments, the vaporization effect of the Nd-YAG laser proved adequate for clinical use.

Using a Nd-YAG laser coagulator, 38 brain tumors were removed; they consisted of 19 pituitary adenomas, 10 meningiomas, 3 gliomas, 1 multiple myeloma, 1 fibrous dysplasia, 1 arteriovenous malformation, and 2 other brain tumors. The Nd-YAG laser had a greater hemostatic effect than the CO₂ laser and it appeared suitable for highly vascular tumors. Since the laser beam of the Nd-YAG laser was transmitted by a flexible quartz fiber, it could be freely moved under the operative microscope. Thus, coagulation and hemostasis of a specific target site could be performed with ease making the laser highly suitable for the removal of deep seated tumors. In the transsphenoidal approach, the Nd-YAG laser permitted easy opening of the sella and sphenoid, even in the conchal type and presellar type sphenoid.

Thus, with its strong hemostatic effect and flexible quartz fiber, the Nd-YAG laser has wide application in microneurosurgery especially with regard to easy removal of brain tumors.

Key words: Nd-YAG laser, CO₂ laser, brain tumor, microsurgery

I はじめに

脳神経外科領域では、CO₂レーザーの使用については多くの報告がなされているが^{2,5-8)}、Nd-YAGレーザーを使用した報告は、おそらく本邦では初めてであろう。CO₂レーザーは、髄膜腫などの易出血性腫瘍、脳底部、側脳室の硬い腫瘍、脊髄腫瘍に有効であるとされている。これはCO₂レーザーを使用すれば、非接触性に組織の気化蒸散と同時に止血ができる事実による。現在までに我々は、30

例以上の脳腫瘍摘出にCO₂レーザーを使用し、CO₂レーザーの有意性、現在の限界について発表してきた^{6,8)}。我々のCO₂レーザーの使用経験から判断すると、CO₂レーザーの止血効果はなるほどすぐれているが、限界があり、易出血性腫瘍ではかなり頻回に通常の止血方法を用いなければならず、特に現在出血しているところを止血するのが困難である。またflexibleな導光路が未完成であるため、microscopeに装着した際に可動性に限界のあることが指摘できる。CO₂レーザーのこれらの欠点に対して、Nd-YAG

京都大学脳神経外科 *高知医科大学脳神経外科

Address reprint requests to: W. Taki, M. D., Department of Neurosurgery, Kyoto University, 54 Shogoin Kawahara-cho, Sakyo-ku, Kyoto 060.

受稿 1982年1月22日 受理 1982年5月11日

レーザーはより大きな止血効果を有し、microscope 下にこの操作が容易であると思われた。そこで、Nd-YAG レーザーの有用性を、実験的、臨床的に検討した。

II Nd-YAG レーザーの臨床への応用

レーザー装置：用いた Nd-YAG レーザー装置は Molectron 8000, Medilas YAG であった。両機種ともに最大出力100Wで、最長10秒の連続照射が可能である。レーザービームは石英ファイバーによって導かれる。ファイバーは直径0.6 mm で、その外側は、直径2～3 mm の teflon tube で覆われている (Fig. 1)。したがって顕微鏡下手術では、CO₂ レーザーのように顕微鏡に特殊なアダプターを用いて装着する必要はなく、ファイバーをそのまま術野に持ってゆき、用手的に自由に動かすことが可能である。ファイバーをそのままの状態でも使用することもできるが、折れ曲がる可能性のあること、ファイバー先端に血液などの付着する可能性のあることより、我々は Fig. 2 に示すように、ファイバーを金属性の吸引管の中に挿入し、吸引管手元のコックでファイバーを固定した。ファイバー先端が、吸引管先端より約2 mm 内側にくるように調節した。ファイバーと同軸にガス・ジェットを1～60 cc/sec で噴出させ、水、血液を照射部位より吹き飛ばすようになっており、現在出血している場所の止血に都合がよい。

安全対策：Nd-YAG レーザー使用時の安全対策は、CO₂ レーザー使用時と大差はなかったが、眼の保護には特に気をつける必要があった。前述のごとく、顕微鏡使用時は、Nd-YAG レーザー専用のフィルターレンズ (Fig. 3) を顕微鏡に装着すれば、術者は防御眼鏡を着用しなくてもよい。このフィルターレンズによる術野の色調の変化は非常に少なく、減光度も低かった。顕微鏡を使用しないときはレーザー防御眼鏡、あるいはゴーグル着用が必要である。手術室内の人員は、すべて防御眼鏡の使用を義務づけた。普通の眼鏡型のものでは側方より入射したレーザーは防御できないので、ゴーグル着用が望ましい。しかし、ゴーグルは重くて側方視野が限られ、また術野の色調の変化が強くて疲労しやすかった。手術器具は反射を避けるため、黒くクロームメッキを施した。その他、排煙、術野の防御、麻酔などは、CO₂ レーザー使用時に準じた⁹⁾。

照射効果：CO₂ レーザーはほぼ100%水に吸収されるので、組織表面の蒸散にきわめて効果のあることはすでに報告した。これに対し、Nd-YAG レーザーは水に吸収されにくく、組織に浸透散乱し、組織の凝固止血作用に向いていると言われている。このため、現在まで主として胃潰瘍出血の止血方法として用いられてきており、腫瘍を摘出することにはほとんど用いられなかった。もし Nd-YAG レーザーに組織の気化蒸散効果がなければ、従来の止血凝固法と大差なく、脳腫瘍摘出に際して役割の少ない器具としか判定できないであろう。そこで各種材料に Nd-YAG レーザーを照射し、その気化蒸散効果をみた。用いた材料は、カマボコ、ウサギ腎、肝とヒト頭蓋骨である。Fig. 4

Fig. 1 Optical fibers that transmit Nd-YAG laser.

Fig. 2 An optical fiber is inserted and fixed to a sucker to prevent the thin fiber from breaking.

Fig. 3 Filter lenses that are attached to the operative microscope and used for protection of the eyes.

ザーに組織の気化蒸散効果がなければ、従来の止血凝固法と大差なく、脳腫瘍摘出に際して役割の少ない器具としか判定できないであろう。そこで各種材料に Nd-YAG レーザーを照射し、その気化蒸散効果をみた。用いた材料は、カマボコ、ウサギ腎、肝とヒト頭蓋骨である。Fig. 4

Fig. 4 Boiled fish paste was irradiated at a distance of 2 mm. The vaporization produced small holes on the surface.

は、カマボコを照射距離 2 mm で照射条件を変更して照射したものである。出力は10Wから100Wまで変更し、照射時間を 1, 2, 3, 4, 5, 9 秒に設定した。カマボコでは、出力が60Wであると照射時間 2 秒以上で、70Wでは 1 秒以上で小孔を生じた。ウサギの肝、腎を照射距離 2 mm, 出力50W, 照射時間 5 秒で照射すると、肝では深さ平均 1.0 mm, 腎では平均 2.3 mm の小孔を生じた (Table 1)。照射エネルギーを大にすれば、気化蒸散の程度が大きくなった。Fig. 5 はヒト頭蓋骨を Nd-YAG レーザーで照射したものであるが、出力80W, 1 秒照射以上のエネルギーで小孔を生じた。CO₂ レーザーに比較して気化蒸散の程度は低い、現在の市販機器で気化蒸散効果が十分であることがわかった。

臨床応用：現在までに、38例の脳腫瘍に Nd-YAG レーザーを使用した。38例の内訳を Table 2 に示した。Nd-YAG レーザーの使用結果を先に記述する。まず操作性については、顕微鏡下では、CO₂ レーザーより格段に良好であった。気化蒸散効果は CO₂ レーザーより劣るが、顕微鏡下の手術では十分であった。止血効果は非常に良く、通常の止血方法をほとんど用いる必要がなかった。現在出血しつつある血管の止血は、CO₂ レーザーでは難しいが、

Fig. 5 Human skull bone was irradiated by the Nd-YAG laser at a distance of 2 mm.

Table 1 Depth of tissue vaporization caused by Nd-YAG laser photocoagulation. (5 sec. of continuous 50 watt exposure at 2 mm distance)

	Mean	S.D.	
liver	1.0 ± 0.6	(N=21)	
kidney	2.3 ± 0.4	(N=6)	

Nd-YAG レーザーではきわめて容易であった。これらの結果、易出血性で硬い腫瘍、たとえば髄膜腫に有効であった。顕微鏡下での操作性が向上したので、脳底部腫瘍、脳室内腫瘍に有効であった。経鼻的下垂体腫瘍摘出術では、骨の切削に有効であった。

Ⅲ 症 例

代表例を挙げ、上記結果を具体的に述べる。〈症例 1〉は、肉眼的手術の代表例である。

〈症例 1〉 44才、女性、嗅窩部髄膜腫

主訴：嗅覚脱失

入院時所見、諸検査結果：両側のうっ血乳頭、左顔面のしびれ感あり。CT スキャンでは、前頭蓋底より上方に伸展する占拠性病変を認めた。病変は造影剤にて高度に増強

Table 2 Nd-YAG laser use in clinical cases

Total	38
pituitary adenoma	19
chromophobe	18
eosinophilic	1
meningioma	10
convexity	2
sphenoid ridge	2
posterior fossa	3
olfactory groove	1
orbit	1
pterion	1
glioma	3
glioblastoma	1
astrocytoma	1
oligodendroglioma	1
acoustic neurinoma	1
multiple myeloma	1
fibrous dysplasia	1
arteriovenous malformation	1
others	2

された (Fig. 6).

手術: 両側前頭開頭を行った。皮膚切開、硬膜切開にはレーザーを使用せず、硬膜切開反転後、右前頭葉の一部をレーザーブレードで uncap した (Fig. 7)。レーザーブレードは Auth¹⁾により開発されたもので、刃は石英製である。刃の先端より発射されるレーザーにより組織の止血、凝固を行い、同時に石英の鋭利な刃で切開する。前頭葉の切開はほぼ無出血に行えたが、このレーザーブレードは術野に対してやや大きく、脳外科手術では、さらに小さくする必要があると思われた。腫瘍摘出に先立ち、腫瘍に Nd-YAG レーザーを強力に照射した。レーザー光は組織内で散乱、吸収され、数 mm の凝固層が作り出された。この凝固層を鋭利な金属メスで切開切除した。出血はほとんどなかった。たとえ出血しても、通常の止血方法を用いずとも、YAG レーザーの照射できわめて迅速に止血できた。YAG レーザーだけで止血できない所はほとんどなかった。Nd-YAG レーザーでの凝固、メスによる切除を繰り返し、腫瘍を全摘した。前頭蓋底の腫瘍付着部は Nd-YAG レーザーの照射で処理した。この腫瘍付着部の処理は非常に便利であり、特に parasagittal meningioma での、sinus 近傍の凝固処理に有効と思われた。

〈症例 2〉は microsurgery への応用の代表例である。

〈症例 2〉 38才、女性、蝶形骨縁髄膜腫

左耳難聴で CT スキャンを受け、偶然占拠性病変を指

Fig. 6 Pre (left) and postoperative (right) CT scans of olfactory groove meningioma. Not enhanced.

Fig. 7 The laser blade developed by Auth¹⁾.

摘された。CT スキャンでは、左蝶形骨平面に、造影剤で増強される占拠性病変を認めた (Fig. 8)。

手術: 左前頭側頭開頭を行った。顕微鏡を導入後、左前頭葉を圧排すると、頭蓋底より上方に伸展する腫瘍を認めた。腫瘍に Nd-YAG レーザーを 80W で照射すると、まったく出血なく、気化蒸散により組織欠損を生じた。気化蒸散を続け、腫瘍下半分を蒸散させた。正中中部近傍約 1 cm は、Nd-YAG の熱作用が健常部に悪影響しないように通常の方法で摘出した。下半分の腫瘍を摘出し、腫瘍を付着部と切離すると、腫瘍上半分は *en bloc* に摘出できた。レーザー操作はきわめて容易であった。前頭葉は圧排だけで

Fig. 8 Pre (left) and postoperative (right) CT scans of left sphenoid ridge meningioma. Contrast enhanced.

損傷することなく、侵襲はきわめて少なかった。腫瘍の硬膜附着部はレーザーで凝固した。

<Transsphenoidal Surgery>

下垂体腺腫19例の経鼻の下垂体腫瘍摘出術に、Nd-YAG レーザーを使用した。経鼻の手術では、頭蓋底の骨の切削は通常エアドリルで行うが、術野が狭くかつ深いので、時には目的としない方向に手術が進んで行くことがあり、またドリルで周囲健常組織を損傷する場合がある。それゆえ、presellar や conchal type の sphenoid では、しばしば手術が難しかった。Nd-YAG レーザーを使用すると、レーザービームは細くて flexible なファイバーで誘導されるので、深く狭い術野での操作が容易であった。また Nd-YAG レーザーは、骨を凝固削除するのに十分な効果があった。したがって、presellar や conchal type の sphenoid でも手術が可能になった (Fig. 9)。手術を順序立てて記述する。まず蝶形骨を露出するまでは通常の方法を用いた。骨を露出したのち、Nd-YAG レーザーを照射した。照射凝固を繰り返すと、骨はぜい弱になり、また同時に Nd-YAG レーザーの止血効果が加味された。熱凝固された骨は、金属の長い棒、たとえば吸引管で容易に削り落とすことができた。出血は最小であったので、手術野をまっすぐトルコ鞍方向に進めることが容易であった。レーザーによる熱凝固と骨削除を繰り返し、蝶形骨洞の粘膜を露出させた。粘膜も、やはりレーザー照射で凝固後切開した。トルコ鞍底

Fig. 9 Preoperative skull film of a presellar type sphenoid, which was operated on through the transsphenoidal route.

Fig. 10 Diagram showing the biological effects of CO₂ and Nd-YAG lasers.

もレーザーを用いて開放した。硬膜切開は通常の方法を用いた。腺腫はほとんどの場合吸引可能であり、レーザーは用いなかった。腺腫摘出後の閉創には、レーザーは使用しなかった。

Nd-YAG レーザーは 骨も凝固破壊するので、経鼻の下垂体腺腫摘出術以外に、fibrous dysplasia のような骨腫瘍にも利用した。

IV 考 察

CO₂ レーザーに加え、Nd-YAG レーザーの応用は脳神経外科領域に新しい可能性をもたらしたと言えよう。1つは、Nd-YAG レーザーの高い止血作用による。レーザー光の生物物理効果はその波長によって異なる。10.6 μm の波長を持つ CO₂ レーザーは、ほとんど 100% 水に吸収されるので、エネルギーは組織表面で吸収される。表面組織は瞬時に蒸散し、小血管は同時に閉鎖される。しかしこの閉鎖は完全ではなく、しばしば通常の止血方法が必要である⁶⁾。動脈は直径 0.5~0.6 mm を越えると止血は困難であ

る (Fig. 10). これに比べると, Nd-YAG レーザーは止血に優れている. Nd-YAG レーザーは波長 $1.06 \mu\text{m}$ で, ほんのわずかしき水に吸収されず, 組織に深く浸透する. それゆえ, 以前は深部組織に損傷を与える危険なレーザーと考えるむきもあった. しかし, Nd-YAG レーザーの組織浸透は, 散乱によって急激に減衰することがわかってきた^{2,3)}. この散乱した光は組織内に均一に分布し, 数 mm の凝固層を形成し, 血管を圧迫閉塞する. このため止血がより完全である. この良好な凝固止血作用ゆえ, Nd-YAG レーザーは胃潰瘍出血の治療に用いられてきた. この作用は, 脳神経外科領域では, 髄膜腫のような易出血の腫瘍の摘出に好ましい. Nd-YAG レーザー照射により腫瘍表面数 mm が凝固され, それと同時に血管が閉塞される. この凝固層を切開しても出血せず, 無血の切開が可能となる. この凝固切開方法は, 大きな髄膜腫を肉眼的に摘出する際に効果があった.

止血凝固作用以外に重要なものは, Nd-YAG レーザーの気化蒸散作用である. CO_2 レーザーに比べて蒸散効果は少ないが, 出力をあげて使用すれば十分な蒸散作用がある. 特に顕微鏡下での手術では申し分がなかった. ただ注意すべきは, 同エネルギーの照射でも組織によって効果に差があることで, 透明度の高い組織では蒸散しにくくなる. また周囲への熱作用は CO_2 レーザーより強いので, 腫瘍辺縁部での使用は健常組織を凝固することがあり, 特に注意して行う必要がある.

次に, Nd-YAG レーザーの長所として導光法が挙げられる. これは, 特に顕微鏡下手術について有用である. 現時点で CO_2 レーザーとビームを導くオプティカル・ファイバーがなく, 顕微鏡に特殊なアダプターを装着する必要がある. このため, ビームの方向を変更する際, どうしても可動性に制約がある. 時には顕微鏡自体を動かす必要があり, また focus, defocus の変更も意のままにはいかない. この点 Nd-YAG レーザーはオプティカル・ファイバーで導光できるので, 顕微鏡に取り付けずに, 手に持って自由に患部を照射することができ, はなはだ簡便である. レーザーに慣れていなくても意のままに使えるところが良いように思われる.

このように Nd-YAG レーザーは多くの長所を有し, 経鼻的下垂体腺腫摘出術においても役に立つことがわかった. Nd-YAG レーザー使用により骨の切削がきわめて容易になるので, 術野を正しい方向に進めて行くのが簡単になり, conchal type や presellar type の sphenoid でも手術可能になったことは, 大きな進歩と思われる.

V ま と め

Nd-YAG レーザーは良好な凝固止血能, 易操作性を有し, また十分な気化蒸散作用もあるので, macro の手術でも micro の手術でも, 特に易出血性の脳腫瘍, 脳室内腫瘍の摘出に際し, きわめて有力な手術器具と考えられる. したがって, 手術の簡易化, 適応の拡大に力を発揮すると考える.

文 献

- 1) Doty JL, Auth DC: The laser photocoagulating dielectric wave guide scalpel. *IEEE Trans Biomed Eng* 28: 1-9, 1981
- 2) Fox JL: Use of laser in surgery. *Panminerva Med* 17: 235-237, 1975
- 3) Halldorsson WKT, Lagerholm J: Laser coagulation: practical advice from a theoretical viewpoint. *Applied Optics* 16: 6-9, 1980
- 4) Hofstetter A: The Nd-YAG laser in urology. *The Journal of Japan Society for Laser Medicine* 1: 560-588, 1980
- 5) 神川喜代男, 池田卓也, 早川 徹, 大西俊輝: レーザーメスの脳外科領域その応用. *外科治療* 35: 626-637, 1976
- 6) 滝 和郎, 半田 肇, 米川泰弘, 山下純弘, 森竹浩三, 西浦 巖, 諏訪英行: Microscope 下の脳腫瘍摘出術へのレーザーの応用. *外科治療* 42: 57-63, 1980
- 7) Takizawa T: Comparison between the laser surgical unit and the electrosurgical unit. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 17: 95-105, 1977
- 8) Yonekawa Y, Taki W, Handa H, Miyake H, Oda Y: Experiences of laser microsurgery for removal of brain tumor. *The Journal of Japan Society for Laser Medicine* 1: 269-278, 1980

〔別刷請求先: 〒060 京都市左京区聖護院川原町54, 京都大学脳神経外科, 滝 和郎〕