Potassium Titanyl Phosphate (KTP)
レーザーの脳神経外科手術への使用経験
Neurosurgical application of potassium
titanyl phosphate (KTP) laser

齋藤 洋一, 加藤 天美, 種子田 護, 吉峰 俊樹,
有田 憲生, 池田 卓也*, 早川 徹

大阪大学医学部脳神経外科
〒565 大阪府吹田市山田丘 2-2
* 大阪大学医学部中央手術部

Youichi SAITOH, Amami KATO, Mamoru TANEDA, Toshiki YOSHIMINE,
Norio ARITA, Takuya IKEDA* and Toru HAYAKAWA

The Department of Neurosurgery, Osaka University Medical School
*Surgical Center, Osaka University Medical School

要 旨

KTP (Potassium titanyl phosphate) レーザー手術装置を種々の開頭術の際に使用し、その有用性を検討した。本装置はNd : YAGレーザー光をKTP結晶により周波数を通倍し、緑色レーザー光として出力する。この波長はヘモグロビンの吸収極大とはほぼ一致し、止血的切開能力の向上が図られている。レーザー光は直径0.3mmから0.6mmの水晶ファイバーにより術野に導かれる。小型軽量のバヨネット型ハンドピースは操作性に優れており、術野の妨げとなることはなかった。また出力部先端が焼損しても容易に更新できた。これらの特性により従来摘出困難とされていた脳や頭蓋底深部の腫瘍性病変でも、確実に蒸散、凝固が可能であり、極めて有用であった。種々の照射条件による深達度を組織学的に検討した結果、KTPレーザーによる熱変性は照射部位に比較的限局することが動物実験でも臨床例でも明らかとなり、本装置を慎重に使用すれば、術野周辺への影響を最小にして、安全に手術が可能となることが確かめられた。

キーワード : KTP レーザー, YAG レーザー, 脳神経外科手術テクニック

Abstract

We have used potassium titanyl phosphate (KTiOPO₄ : KTP) laser in various craniotomies, and evaluated its efficacy. The KTP laser has a wavelength of 532nm, which is just a half wavelength of neodymium:yttrium-aluminum-garnet (Nd : YAG) laser. Its

(平成5年4月28日受理, 平成5年6月21日掲載決定)
(Received April 28th 1993, Accepted June 21th 1993)

energy is easily absorbed in hemoglobin because the wavelength is very close to that of maximum absorption to hemoglobin. This evidence is beneficial for the hemostatic cutting. The KTP laser light is delivered through a flexible quartz fiber to the operative field. The visible green laser light allows the surgeon to set the target precisely. With the light bayonet hand piece, the laser could be introduced even through a minimum opening to the deep seated skull base tumors. The laser was used in both contact and non-contact methods with simply cleaving the tip of the fiber, whenever polluted. The tissue damage caused by laser irradiation was investigated with brain tumors as well as rat cerebrum. It was disclosed that the thickness of thermal damage was no more than 1.5mm when the laser mode was set for the usual tumor evacuation. These features of the KTP laser apparatus is considered to be powerful advantage for using in micro-neurosurgery.

Key words : Potassium Titanyl Phosphate(KTP)laser, Nd:YAG laser, Neurosurgical technique.

【はじめに】

脳腫瘍外科領域へのレーザーの応用は、1966年にrubyレーザーを用いたのが最初である¹⁾。1970年代よりCO₂レーザーが脳神経外科領域に導入され^{2, 3, 4, 5)}、さらに1980年Beckら⁶⁾がNd:YAGレーザーを導入し、CO₂レーザーとともに併用されるようになった⁷⁾。両者の特徴を簡単にまとめると、CO₂レーザーは限局した部位を無血的に蒸散でき、硬くて出血性の腫瘍にも有効である⁸⁾。Nd:YAGレーザーは組織透過性が高く、散乱して厚い熱凝固層をつくるため、止血性が高いが、蒸散能力が低いという欠点がある⁸⁾。ところでこれらのレーザーは特殊な症例を除き、一般的な脳神経外科手術法としては普及に至らなかった^{9, 10, 11, 12)}。その理由として価格が非常に高く、装置が大がかりであったり、操作性などの問題点があげられる。

最近KTP/532レーザーが開発され、これまでに外科、産婦人科、耳鼻科領域に導入されたが¹³⁾、最近脳神経外科領域にも活用されつつある¹⁴⁾。このレーザーはNd:YAGレーザー光(波長: 1046nm)をKTP結晶により周波数を通倍し、緑色レーザー光(波長: 532nm)として出力する。この波長はヘモグロビンの吸収極大(575, 540, 415nm)のうち540nmとほぼ一致し、止血機能の向上が図られている。今回開頭術におけるKTP/532レーザー手術装置の特徴および有用性について報告する。

【方 法】

〈KTPレーザー手術装置〉

本体は小型化(W: 51.4, D: 90.2, H: 130.8cm)

が図られており、本体の移動、設定が容易で、騒音も小さかった。冷却水と排水用パイプの接続が必要である。光ファイバーは直径0.3, 0.4, 0.6mmの中から選ぶことができ、術野や病変によって、また切開、蒸散、凝固のそれぞれの目的に応じて、そのまま接触法、非接触法のどちらにも使用できる。様々な長さのバイヨネット型のハンドピースと組み合わせると、深部の病変でも術野を妨げることなく確実に蒸散減圧や凝固が可能であった。ハンドピースは小型軽量で長時間使用しても術者に疲労はなかった。光ファイバーはテフロンでコーティングされており、レーザー出力部は先端のテフロンを除去して使用する。術中先端が焼損すれば、先端を切断し、テフロンコーティングを除去することで更新できる。この作業は簡単で1分以内に施行できた。照準光と手術光は同一波長の緑色可視光で同一光路を通るため、焦点にずれが発生せず、高い手術精度が得られた。フィルターモジュールは手術用顕微鏡に装着され、レーザー使用時のみフィルターが作動、従来の眼鏡型フィルターに比べ顕微鏡下レーザー手術が容易になっている。

〈対 象〉

15例の脳神経外科手術にKTPレーザー手術装置(LASERSCOPE, CA, USA)を使用した。内訳は髄膜腫が5例、くも膜嚢胞が2例、脊索腫、下垂体腺腫、モヤモヤ病、星細胞腫、嗅神経芽腫、血管腫、聴神経鞘腫、AVMが各々1例である。髄膜腫、脊索腫、星細胞腫、嗅神経芽腫、血管腫、聴神経鞘腫では腫瘍切除に使用し、特に髄膜腫では腫瘍硬膜附着部の焼灼に用いた。経蝶形洞下垂体腺腫摘出時には、蝶形洞粘膜焼灼、及び

止血に用いた。モヤモヤ病では浅側頭動脈の剝離に使用した。通常レーザーの出力は5から10Wとし、必要に応じて15Wとした。蒸散にはファイバー先端を組織に接触あるいはごく近接させ、1秒間に5mm程度の速度で移動させた。凝固には組織とファイバー先端との距離を約3mmに保ち、1秒間に1cm程度の速度で対象領域を走査するように動かした。

〈レーザー深達度の組織学的検討〉

2例の髄膜腫および1例の星細胞腫では、レーザー照射部位の熱変性を組織学的に検討した。すなわち直径0.6mmのファイバーをもちい、組織までの距離を1mmまたは3mmとして5または10Wで照射した。ファイバー先端の移動速度は1cm/秒とした。また組織表面より1または3mmの位置にファイバー先端を固定し、10Wでそれぞれ1秒、9秒、ならびに12秒照射した。

同様に体重300gのオスWistarラットを用いレーザー照射による組織損傷の検討を行った。ラットはケタール麻酔下で開頭し、手術と同様に種々の条件で大腦表面にレーザー照射を行った。過量の麻酔薬注入により屠殺し、脳はホルマリン固定の上、パラフィン切片を作成しHE染色を行った。

【結 果】

〈手術応用〉

髄膜腫、星細胞腫では出力5・10Wでファイバー先端を5mm/秒程度のゆっくりした速度で動かすことで、ほとんど出血なしに腫瘍蒸散を行うことができた。より出血性の組織にはレーザー出力を増すことで対応し、血管腫では腫瘍はほぼ無血的に蒸散されていった。しかし嗅神経芽腫例では、凝固が完了する前に血液が湧き出し、止血が困難な場合があった。その際には、従来のオキシセル・ビオボンドやバイポーラー凝固鑷子で止血した。一般には出血さえコントロールできれば腫瘍の蒸散減圧は確実に行うことができた。特に斜台脊索腫例では超音波破碎吸引装置が入らない頭蓋底深部の弾性硬腫瘍の摘出にきわめて有用であった。くも膜嚢胞切除にも用いたが、くも膜下腔と交通をつけることは可能であった。その他浅側頭動脈の剝離や経蝶形洞手術における粘膜の止血にも有用性が認められた。しかしAVM剝離操作においては動静脈吻合のため赤色を呈する血管の止血は困難であった。また表面が白色の、特に石灰化病変の摘出にはレーザー光の吸収が悪いためか、蒸散に時間を要した。ガイド光が可視であるため、非接触法で凝固する際正確にできた。眼の保護のためのフィルターにより出血等の赤色の識別が難しくなるが、レーザー作動時のみフィル

Fig.1 : Laser wound in meningeoma tissue, Arrow heads indicate tumor capsule. HE stain(x100). (diameter of fiber: 0.6mm, laser power: 10W, distance: 1mm, handpiece movement: 1cm / sec)

Fig.2 : Laser wound in rat cortex (arrow heads), HE stain (x100). (diameter of fiber : 0.6mm, laser power: 5W, distance: 1mm, handpiece movement: 1cm / sec)

ターが働く機構は、その欠点を補っている。

〈レーザー深達度の組織学的検討〉

光ファイバーはすべて直径0.6mmを使用した。髄膜腫に対しては10Wで1mm離して1秒照射すると、深さ1.2mmまで腫瘍細胞核の変性、細胞質の染色性低下、組織構築の破壊、腫瘍内出血が認められた。3mm離して9秒照射すると、深さ3.5mmまで同様の所見がみられ、12秒照射すると熱変性の及ぶ深さは変わらなかったが組織破壊はより顕著であった。また1mm離して1cm/秒で移動照射すると、深さ0.5mmの溝が形成されたが、熱変性は腫瘍被膜内に限局しており、腫瘍実質には及んでいなかった(Fig.1)。星細胞腫に対しては5Wで1mmの距離から照射したが、表面より1.0mmの深さまで、核は変性し、腫瘍基質の染色性が変化していた。またラット大腦表面から1mm離して1cm/秒で移動しながらレーザー照射すると皮質内に出血がおこり(Fig.2)、出力5Wだと0.8

mmの深さまで、10Wだと1.7mmの深さまで神経細胞、グリア細胞の変性がみられ、組織構築の破壊がおこっていた。

【考 察】

これまでにCO₂レーザー、Nd:YAGレーザー、アルゴンレーザー等が脳神経外科領域に導入され、摘出困難な部位の腫瘍性病変をより正確に摘出することを目的として改良が加えられてきた。レーザーによる腫瘍切除の特徴は、より狭い視野からアプローチできることで、脳べら等による脳への損傷を減らすことができる¹⁵⁾。また腫瘍摘出時の出血は従来の摘出法に比べ一般に少なくできると考えられる。今回KTPレーザーを使用して、その波長がもたらす高い切開、止血能および照射部位に比較的限局された組織変化などのKTPレーザー本来の特質のみならず、ガイド光が可視である、ハンドピースが軽い等の手術機器としての使いやすさにより、従来到達困難とされてきた深部腫瘍性病変の手術にきわめて有用であった。しかし他のレーザー手術機器と同様、表在性病変やAVMなど血管性病変に対する有用性は他の方法と比較してとりわけ優れているとは考えられなかった。

今回KTPレーザー照射部位の病理変化を観察し、組織深達度を検討したところ、当然照射時間、出力によって組織深達度は変わるが、蒸散を目的とした使用であれば脳組織でも3mm以下と考えられ、熱変性は照射部位に比較的限局していた。またこの結果はラット肝に対するレーザー照射データとほぼ一致し¹³⁾、犬の脳に対する照射データともほぼ一致していた¹⁴⁾。

様々なレーザーの神経組織深達度については充分には明らかにされていない。血液中のレーザー透過度はCO₂レーザーで0.02mm、KTPレーザーで0.05mm、アルゴンレーザーで0.2mm、Nd:YAGレーザーで7.6mmといわれる¹⁵⁾。神経組織内の深達度はCO₂レーザーでは0.2mm、アルゴンレーザーでは0.5mm以下、Nd:YAGレーザーでは約3.5mmと報告されている²⁾。KTPレーザーはアルゴンレーザーに波長が一番近いので、組織深達度も近いと報告するものもある²⁾。しかし出力が同じであればCO₂もNd:YAGレーザーも組織深達度は同じと報告している著者もある¹⁶⁾。またNd:YAGレーザーは優れた止血能を持つが、思いがけず深い部位の脳を損傷してしまう(popcorn effect)ことがあることが報告されている^{17, 18)}。この報告では出力は20Wで使用しているが、今回我々はKTPレーザーを通常5W、高くても15Wで使用した。それゆえこの程度の出力ではその恐れは少ないと考えられる。またKTPレーザーの波長はヘモ

グロビンの吸収極大(575, 540, 415nm)のうち540nmとはほぼ一致するため、Nd:YAGレーザーと比べると散乱が少ないと考えられる³⁾。よってKTPレーザーは照射部位に限局された熱変性を特徴とし、照射部深部までの組織凝固能よりはむしろ蒸散能に優れているように思われる。レーザーの出力、照射面までの距離、標的組織の色調、血流動態を考慮しないと一概に組織深達度を論じることはいけませんが、これらの特質はKTPレーザーを顕微鏡下手術に用いる上で極めて有用と考えられる。今回光ファイバーは直径0.6mmのみを使用した。耳小骨など超微小な部位の手術には0.3mmのファイバーが適している。しかし一般の脳神経外科領域での蒸散、凝固を目的とした使用には0.6mmのファイバーのみで組織からの距離を調節する事で十分である。

我々のデータが示すようにKTPレーザー照射による熱変性は照射部位に比較的限局している。従来のレーザーでも同様の問題点であったように、大きな腫瘍を迅速に蒸散するには不向きであるが、ゆっくりと安全に、出血量を少なく摘出する際にはKTPレーザーは適している。

このKTPレーザーと競合しうるのは超音波破碎吸引器である。腫瘍を切除していく速度では超音波破碎吸引器に軍配が上がり、特に軟らかい腫瘍においてはその威力は大きい。しかし超音波破碎吸引器はハンドピースが大きく、狭い部位には挿入できないこともままあり、深部病変での操作ではKTPレーザーの方が優れているように思われた。

将来的には一般開頭手術だけではなく、内視鏡手術への応用も考えられる。こうした場合もKTPレーザーの特質は有利に働くものと考えられる。

【結論】

KTPレーザー手術装置は、従来のレーザーの長所を継承し、かつ手術操作性に優れており、正確に狭い範囲を無血的に蒸散、切開するために優れた性能を有する。これらは特に顕微鏡下手術に有利な特質と考えられた。

REFERENCES

- 1) Rosomoff HL, Carroll F: Reaction of neoplasm and brain to laser. Arch Neurol 14:143-148, 1966.
- 2) Svaasand LO, Doiron DR, Profio AE: Light distribution in tissue during photoradiation therapy. in Workshop on Porphyrin Sensitization. Washington DC, September, 1981, New York,

Plenum Press, 1982.

- 3) Ascher PW: The use of CO₂ in neurosurgery. in Kaplan I (ed): Laser surgery II. Jerusalem Academic Press, Jerusalem, 1978, pp. 28-30.
- 4) Ascher PW: Neurosurgery. in Andrews AH Jr, Polany TG (eds) :Microscopic and Endoscopic Surgery with the CO₂ laser. John Wright PSG, Boston, 1982, pp. 298-314.
- 5) 平石守, 小西敏郎, 三山健司, 平田泰ほか : KTP レーザーとその臨床応用 (特に内視鏡的治療について)第11回日本レーザー医学会大会論文集 : 425-428, 1990.
- 6) Beck OJ: The use of the Nd:YAG and the CO₂ laser in neurosurgery. Neurosurg 3:261-266, 1980
- 7) Caroli F: Laser therapy for the treatment of brain tumors. J Neurosurg Sciences 35:89-92, 1988.
- 8) 滝澤利明 : Annual review神経 1989. 脳腫瘍のレーザー手術 165-172, 中外医学社, 1989
- 9) Abernathy CD, Davis DH, Kelly PJ: Treatment of colloid cysts of the third ventricle by stereotaxic microsurgical laser craniotomy. J Neurosurg 70:525-529, 1989.
- 10) Bucholz RD, Pittman T:Endoscopic coagulation of the choroid plexus using the Nd:YAG Laser: Initial experience and proposal for management. Neurosurg 28:421-427, 1991.
- 11) Seifert V, Gaab MR: Laser-assisted microsurgical extirpation of a brain stem cavernoma: Case report. Neurosurg 25:986-990, 1989.
- 12) Steinberg GK, Marks MP, Shuer LM, Sogg RL et al: Occult vascular malformations of the optic chiasm. Magnetic resonance imaging diagnosis and surgical laser resection. Neurosurg 27:466-470, 1990.
- 13) ナイーム SA, 小西敏郎, 大友裕美子, 伊藤徹ほか : ラット肝におけるKTP, Nd : YAGレーザーの照射効果 第12回日本レーザー医学会大会論文集 : 130-133, 1991.
- 14) Gamache FW Jr, Morgello S: The histopathological effects of the CO₂ versus the KTP laser on the brain and spinal cord:A canine model. Neurosurg 32:100-104, 1993.
- 15) Gammache FW Jr, Patterson RH Jr: The use of the Potassium titanyl phosphate (KTP) laser in neurosurgery. Neurosurg 26:1010-1014, 1990.
- 16) Edwards MS, Boggan JE, Fuller TA:Review article: The laser in neurological surgery. J Neurosurg 59:555-566, 1983.
- 17) Jain KK: Complications of use of the neodymium: yttrium-aluminum-ganet laser in neurosurgery. Neurosurg 16:759-762, 1985.
- 18) Wirth FP, Downing EF, Cannon CL Jr, Baker RP: Experience with the neodymium:Yttrium-aluminum-Garnet laser in forty-two cases. Neurosurg 21:867-871, 1987.