
 話 題

冠動脈外科におけるレーザーの開発

岡 本 好 史

1960年人口ルビーを使ってレーザー光を取り出すことに成功した。人口ルビーなどの固体中に含まれる特定の物質あるいはCO₂などの気体にエネルギーを加えると、発振して光を発する。発振の仕方は、媒質によって固有であり、レーザーの分類はこの媒質による。レーザー光は、自然光にはないいくつかの特徴がある。発振して得た光は単一の波長で位相がそろって平行光線となる。光は波長によって、それぞれの特性があり、特定の波長の持つ生体への影響だけを利用したい場合には非常に都合がよい。こうした特性をもつ光を取り出す技術がレーザー (LASER: Light Amplification by Stimulated Emission Radiation) である。レーザー光は指向性が高く、拡散が少ないため、一点に焦点をあわせると高いエネルギーを集中できる。

CO₂ レーザーは、波長が 10600 nm でもっとも長く、水に吸収されやすい。直接水に照射した場合、0.01 mm の深さに達するまでにその 9 割が熱エネルギーに変換される。つまり組織の表面で照射されると表面でほとんど熱エネルギーに変わって組織を蒸散させ、深部へはエネルギーの影響を及ぼさない。この特性はメスとして使用される。レーザー出力を 20 mW~30 mW に落とすと組織を融解、密着させることができる。小口径の血管断端に照射すると血管吻合が可能で、過剰肉芽によって生じる吻合部狭窄も最小限に抑えることができ良好な血行再建が期待できる。Nd-YAG (neodymium: yttrium-aluminum garnet laser) は波長が 1060 nm の近赤外光でエネルギーは組織の数 cm の深さに浸透していく。周辺組織までも熱凝固・変化効果がえられ、内視鏡的な焼灼治療に使用される。眼底光凝固治療に用いられる Argon レーザーは波長 488 nm で水に吸収されず、水晶体をほぼ完全に透過し網膜上にだけエネルギーを集中させることができる。

レーザーの開発は冠動脈形成術にも応用されるようになった。

1963年 McGuff, Bushnell¹⁾ らによってレーザーを用いて血管内病変を蒸散させうることを発表した。1980年台になって Choy, Ginsberg らにより臨床応用へ向けての研究がなされ、血管の閉塞病変や狭窄病変に対するレーザーの使用が試みられた。

近年冠血行再建術における経皮的冠動脈形成術 (PTCA) が定着してきた。本法では狭窄部の動脈硬化病変等をバルーンで圧挫させることにより、内腔拡大をはかるものであるが、そのことが治療法としての限界といえる。PTCA 施行後比較的早期で約30%の再狭窄が発生するといわれている。

レーザーを用いた血管形成術では、血管内の硬化性、内膜肥厚病変を蒸散・焼灼して根本的に内腔の拡大を図るものであり、再狭窄の防止及び完全閉塞例の再開通に大きな期待が寄せられている。しかし冠動脈に対するレーザー血管形成術 (PTLCA) は、冠動脈は細くかつ蛇行、分枝して走行し、また心拍動でレーザープローブと血管の同軸性が保ちにくく穿孔の危険性が高く、ガイドワイヤーや血管内視鏡の併用等問題が多い。

現在末梢血管外科で臨床応用が試みられているのは Argon レーザー、Nd-YAG レーザーが多い。照射方法は直射タイプと先端に metal tip を取り付ける方法がある。metal tip の方法では、ファイバー先端に取り付けた tip をレーザー光で加熱し、血管壁の狭窄病変等を焼灼しようとするものである。

YOSHIFUMI OKAMOTO: Laser Coronary Angioplasty

Associate Professor of Cardiovascular Surgery, Faculty of Medicine, Kyoto University.

Key coords: Coronary angioplasty, Excimer laser, Holmium YAG laser, Photodynamic therapy

索引語: 冠動脈形成術, エキシマレーザー, ホルミウムヤグレーザー, 光化学反応.

しかし本法では周囲組織に対する熱損傷は避けられず、血栓形成や遠隔期での開存性にも影響するものと考えられる。いずれにしてもこれらのレーザーは組織深達度が高く、水による吸収度が低いため周囲組織への熱損傷が大きい。

EXCIMER レーザーは、紫外線領域で発振する高出力パルスレーザー (KrF 248 nm, XeCl 308 nm) で水による吸収度が高いため組織深達度は少なく、したがって熱損傷も少なく、鋭利な蒸散能を有している。冠血管形成術に適したレーザーとして開発がすすめられている²⁾。

ACC (American College of Cardiology) 1991年3月, Atlanta でエキシマレーザー (PTLCA) の臨床成績が報告された。

Excimer laser coronary angioplasty (ELCA) Registry 15施設, 958症例, 1,151冠動脈枝の成績で、初期の成功率は94%と極めて良好であった。合併症は血管解離12.5%, 閉塞5.4%, spasm 2%, 血栓形成1.9%, 穿孔1.1%, emboli 0.8%, 瘤形成0.5%, 心筋梗塞1.4%, 緊急バイパス手術3.5%, 死亡0.3%であった。これらの臨床経験を通じて、ELCA は従来の PTCA の適応を拡大する可能性を指摘している。広範な狭窄 (10 mm 以上), 石灰化, 狭窄の偏在, 開口部狭窄, 完全閉塞, バイパスグラフトの病変, ステント挿入部の狭窄などにも適応となる。また ELCA で部分開通が得られれば, 引き続き PTCA を行うことにより, より完全な血行再建が可能となる。強い石灰化病変でも96%の成功率であった。

しかし ELCA 6ヶ月後468症例, 715枝に冠動脈造影を施行して, 実に51%の再狭窄が認められ, 残念ながら ELCA は再狭窄の問題に対する解決法とはならないことが判明した。しかし再狭窄の原因を詳細に検討してみると, 狭窄病変の長さ, 石灰化の有無, PTCA の併用, 用いたカテーターのサイズ等とは全く関係なく, 用いたレーザーのエネルギー量と逆相関していた。エネルギー量で $50\sim 59 \text{ mJ/mm}^2$ で最も効果があり, $30\sim 39 \text{ mJ/mm}^2$ は $40\sim 49 \text{ mJ/mm}^2$ に比し有意に再狭窄の発生頻度が高かった。実験的にもレーザーエネルギー量とクレーターの深さ, つまり組織蒸散程度は一次相関することが知られている。高エネルギーでは残存狭窄が減少して遠隔成績の向上となったと理解できる。

レーザーを冠動脈に使用するためには, レーザー光を細いファイバー内へ導光する必要がある。ファイバー導光の困難なレーザーは開発から除外されていく。高いエネルギーではファイバーが破壊される。より高いエネルギーを導光するためにはより丈夫なファイバーを開発するか, あるいはパルス幅を広げてピークエネルギーを抑える方法がとられる。

Holmium: YAG laser が新たに実験段階にはいった。このレーザーは, 通常 silica fiber ですぐれた導光ができ, 組織吸収性がよく, 熱損傷はほとんどなく, 従来のと比しより安全に容易に使用可能なレーザーとしての大きな期待がもたれている。

レーザー医学の進歩は著しいものがある。多く基礎的実験, 臨床経験の試行錯誤をくり返しながら, 新しい方向性をさぐっていく。

レーザー照射により, 動脈硬化病変のみを選択的に蒸散する方法はいまだない。しかし将来脂質親和性の高い光増減物質を用いる光化学反応による治療 photodynamic therapy が PTLCA に応用できれば, 冠血管への悪影響はより少なく, より確実な効果が期待できるだろう。

References

- 1) McGuff PE, Bushnell D, Soroff HS, et al: Studies of the surgical applications of the laser. *Surgical Forum* 14: 143-145, 1963.
- 2) 岡林 均, 荻野 均, 岡本好史, 他: エキシマレーザーを用いた Laser Angioplasty, *日本レーザー医学会誌* 10: 125-127, 1989.