

# 医療用途として外科手術に適している 2 $\mu$ mレーザー

コーリー・ブーン

この波長域のレーザーは安定性、効率、費用対効果、使いやすさが以前よりはるかに向上しており、医学や外科手術への応用がさらに進んでいる。

レーザーは医療を含め、幅広い産業で必要不可欠なものとなっている。多くの使用事例では、レーザーを用いた手術ではメスよりも精度が高く、感染の可能性を軽減し、さまざまな角度からきれいにカットできる。出力波長が1~1.5 $\mu$ mのレーザー光源が広く普及しており、よく使用されている。その一方、2 $\mu$ mレーザーも大幅に進歩しており、急速に評価が高まっている。

## 2 $\mu$ mレーザーの進化

最初の2 $\mu$ mレーザー光源は、大型で高価な液体窒素冷却装置だった。現在、2 $\mu$ mダイオードレーザーは30mm程度まで小さくなり、より小型の2 $\mu$ mファイバレーザーも利用できる。パルス発振と連続波(CW)発振の両方が可能だ。

CWレーザーとパルスレーザーの両方の

ドープメントとして最も多く使用されているレアアースはトリウム( $Tm^{3+}$ )とホルミウム( $Ho^{3+}$ )である。これらの元素のイオンは、さまざまな母体結晶やガラスファイバ内でレーザー発光を実現するために使用される。トリウムレーザーはCW動作に適している。一方、ホルミウムはパルスレーザーやQスイッチレーザーに適している。これは、ホルミウムをドープした結晶では高くゲインされるためである。トリウムレーザーのもう1つの利点は、市販の波長800nmのレーザーダイオードでイオンを励起できることだ。ホルミウムは、イオンを励起するのに1.9 $\mu$ mの励起光源が必要である。

## 水中での2 $\mu$ m吸収

2 $\mu$ mレーザー光源は精密な外科手術

に適している、なぜなら、ほとんどの生体組織を構成する水分子は、2 $\mu$ m波長で大きく吸収するためである。水のO-H結合の伸縮振動と変角振動は、2 $\mu$ mレーザーパルスの振動周波数と一致する。

特定の振動モードに起因する吸収量を正確に決定することは困難だ。というのも、これらの効果はすべて連動しており、吸収におけるスパイクは簡単に観察できてしまう。異なるレーザータイプに対する、水の吸収スペクトルと組織の浸透深さを図1に示す。2 $\mu$ mでは、吸収ピークと0.6mm前後の浸透深さの組み合わせにより、この波長領域がレーザー手術に最適となる。3 $\mu$ mにも吸収ピークはあるが、この波長での透過深さは高くなく、外科手術には十分ではない。

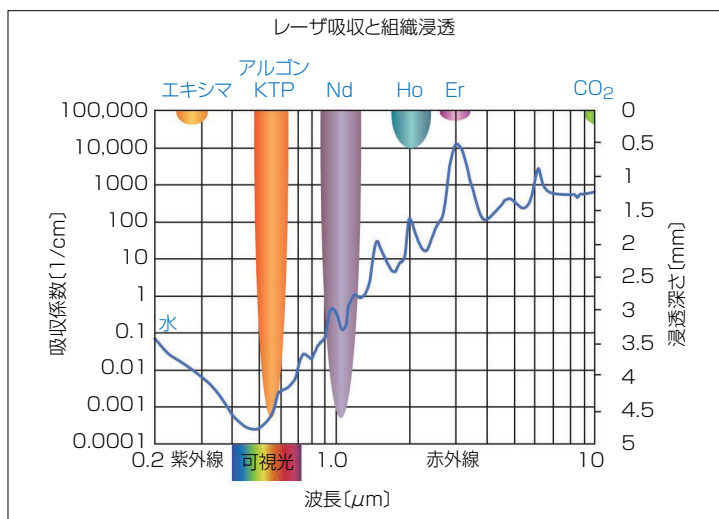


図1 異なる波長における、水の吸収と組織の浸透深さ

## 2 $\mu$ m照射下での凝固

2 $\mu$ mレーザーは吸収レベルが高いため、傷害ゾーンは0.5mmほどの小ささで済む。このため手術による切除の精度が向上し、周囲へのダメージを最小限に抑える。また、2 $\mu$ mレーザーを照射すると、血液が液体から半固体に変化して血栓を形成する凝固が起きる(図2)。この凝固により出血量が減り、手術がよりきれいに、より効率的に行える。

他のレーザータイプは、さらに凝固を促す。しかし、凝固が強すぎると手術後の

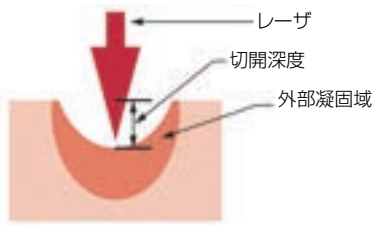


図2 2 $\mu$ mレーザー照射で形成される凝固により出血を最小限を抑える

合併症の原因となってしまいます。2 $\mu$ mレーザーの凝固レベルは凝固深度が約0.1～0.2mmで、ちょうどよい利益をもたらす。出血の緩和と熱損傷のバランスをとり、手術後の合併症予防となる。手術は非常に繊細なプロセスであるため、下層組織へのダメージを抑えるために切開深度を細かく制御する必要があります。2 $\mu$ mの切開と蒸発の速度は、生体組織にどのような血管があろうと比較的一定で問題ないため、2 $\mu$ mレーザーシステムは異なるタイプの組織にフレキシブルに対応する。

## 眼への安全性、手術への応用

2 $\mu$ mの波長は眼への照射に安全とされている。一般的な範囲は1.4～2.4 $\mu$ mあたりで、眼の硝子体内で強く吸収され、網膜に達しないためである。2 $\mu$ mレーザーによる不可逆的な眼球損傷の強度しきい値は、1 $\mu$ mのような短い波長のしきい値よりはるかに高い。しかし、こうした安全性の利点にあるにもかかわらず、2 $\mu$ mビームは網膜以外の眼の他の部分に損傷を与える可能性があるため、レーザーの安全性に関するあらゆる予防措置がとられるべきである。

2 $\mu$ mレーザーの特性はここまで述べたように、多くの異なる組織タイプにおいて切開と蒸発のスピードが比較的安定していることであり、さまざまな手

## 2 $\mu$ m医療レーザー手術の用途

### 神経外科

- ・嚢胞開窓術
- ・脳室-脳槽開窓術
- ・第三脳室開窓術
- ・腫瘍切除
- ・止血

### 脊髄外科

- ・レーザー椎間板切除術
- ・椎間孔拡大形成術
- ・経皮的レーザー椎間板減圧術 (PDLL)

### 呼吸器科

- ・気管支鏡検査
- ・気道再疎通
- ・閉塞除去
- ・組織凝固

### 一般外科

- ・循環器臓器の手術
- ・組織蒸発
- ・凝固
- ・痔

### 関節鏡検査

- ・皮膜収縮
- ・軟骨のスムージング
- ・半月切除術
- ・滑膜切除術

### 耳鼻咽喉科

- ・扁桃摘出術
- ・顎骨切除術
- ・腫瘍摘出術
- ・肉芽腫切除術
- ・口蓋垂口蓋咽頭形成術 (UVPP)

### 泌尿器科

- ・前立腺気化切除術
- ・前立腺蒸散術
- ・前立腺切除術
- ・前立腺核出術
- ・膀胱頸部切開術
- ・狭窄部開口術
- ・膀胱腫瘍の気化切除術
- ・腎臓部分切除術
- ・腹腔鏡検査
- ・結石破砕術

### 婦人科

- ・ポリープ切除術
- ・子宮内膜症
- ・子宮摘出術
- ・癒着剥離術
- ・円錐切除術
- ・子宮筋腫核出術

\*黄色文字は  
パルスレーザーシステムを使用する

術への応用に対して理想的な選択肢となる。表に示すように、神経外科、耳鼻咽喉科、呼吸器科、脊髄外科、婦人科、泌尿器科、関節鏡検査などの領域に広がって、レーザーには多様な使用事例がある。2940nmと2790nmを含む、より波長の長いエルビウムレーザーは、ニキビ除去や肌の若返りにも使用され

ている。

2 $\mu$ mスペクトル領域のレーザー光源は、医療用途において非常に有用であることが証明されている。生体組織における吸収率が高く、熱損傷領域が小さく、眼に安全な波長であることから、高い評価は続き、レーザー手術により広く使用されるだろう。

### 著者紹介

コーリー・ブーンは米エドモンド・オプティクス社 (Edmund Optics) のテクニカルマーケティングマネージャー。