波長帯域別スーパーパルスレーザーの組織作用に関する基礎的研究

河野明正, 阿部裕輔, 米沢卓実, 鎮西恒雄*, 満洲邦彦*, 鈴川正之
井街 宏, 小野俊哉, 渥美和彦, 藤正 巖*

東京大学医学部医用電子研究施設
東京大学先端科学技術研究センター*

TISSUE EFFECTS OF SUPERPULSE YAG LASER WITH DIFFERENT WAVE LENGTHS

Akimasa KOUNO, Yusuke ABE, Takumi
YONEZAWA, Tsuneo CHINZEI, Kunihiro
MABUCHI, Masahiro ASANO, Masayuki
SUZUKAWA, Kou IMACHI, Toshiya ONO,
Kazuhiko ATSUMI, Iwao FUJIMASA

Institute of Medicalectronics, Faculty
of Medicine and Research Center for
Advanced Science and Technology,
University of Tokyo

We have studied the effects of superpulse YAG laser by changing its peak energy and wave length when irradiated on an animal tissue, with the idea that by changing the peak energy and pulse duration the superpulse laser could be used both for cutting and for coagulation. With the irradiation of superpulse YAG laser of three different wave lengths (1064, 532, 355 nm), it was shown that the higher the peak energy and the shorter the wave length, the better the vaporization and the lesser the thermal effect of the tissue. This laser may be used for variety of conditions.

1. はじめに

現在使用されている医用レーザー装置は、切開や凝固などその目的に応じて、波長の異なる複数のレーザー装置を使い分けているが、一台の装置でそれらの目的を達成することができれば、非常に有用であると考えらる。

この可能性を有するレーザーの一つとしてスーパーパルスレーザーに着目した。スーパーパルスレーザーを生体に照射した場合、ピーク出力が高くパルス幅が短ければレーザー照射部の周囲組織に対する熱作用が少ない組織蒸散が可能であり、また、そのピーク出力を下げた繰り返し周波数を上げると、生体作用はCWレーザーに近いものとなって組織の凝固が起こることが予測される。したがって、ピーク出力と繰り返し周波数を適当に制御することにより生体組織に対する蒸散能と凝固能を自由に制御できる可能性がある。

一方、スーパーパルスレーザーは、すでに金属などの切断には用いられているが、その生体作用については十分な解明がなされておらず、このレーザーが生体組織に対してどのような作用を有するかを検討することで、その医用レーザーとしての可能性を求めることができると思われる。

本研究はYAGレーザーを用いて、赤外、可視、紫外の3波長帯域別にスーパーパルスレーザーを発生し、そのピーク出力と繰り返し周波数が生体に与える影響を比較検討することを目的としている。今回は、スーパーパルスレーザーのピーク出力が生体に与える作用について報告する。

2. 使用レーザー装置の仕様

本研究に用いたスーパーパルスレーザー装置の仕様を表1に示す。パルス幅は8nsecと非常に狭く、さらに波長は赤外から紫外の範囲での発振が可能で、出力は可変である。

表 1. スーパーパルスレーザーの仕様

レーザーの種類	パルスYAGレーザー (Qスイッチ)	
パルス幅	8 nsec	
発振周波数	1~20 pulse/sec.	
波長	基本波	1064nm (赤外)
	第二高調波	532nm (可視)
	第三高調波	355nm (紫外)
最高パルス出力	基本波	750mJ/pulse
	第二高調波	380mJ/pulse
	第三高調波	180mJ/pulse

3. 実験方法

本装置では、パルス幅が8 nsecとほぼ一定であるので、1 パルス当りの出力はピーク出力の大きさにほぼ比例している。

そこで今回の実験方法としては、パルスYAGレーザーのQスイッチにより発生するジャイアントパルスをプリズムとアパーチャーを介して生体組織に照射した(図1)。被照射体としては、ヤギとブタの摘出腎臓を用いた。

照射条件は、表2に示すように各波長とも照射時間を変えることによって照射総エネルギーを一定とした。また、発振周波数も20 Hzで一定に保ち、赤外、可視、紫外ともそれぞれ3段階のパルス出力を設定して照射実験を行った。

さらにレンズを用いて、アパーチャーを介したレーザー光を約100 μ mに集光しパワー密度を高めることによって、赤外、可視、紫外の3波長別に組織への照射を行った。

表 2. 波長帯域別スーパーパルスレーザーの照射条件

発振周波数 20Hz

波 長	出 力 (mJ/p)	
1064nm	1)	40 mJ/p (800 mJ/p/cm ²)
	2)	250 mJ/p (5.0 J/p/cm ²)
	3)	275 mJ/p (5.5 J/p/cm ²)
532nm	1)	40 mJ/p (800 mJ/p/cm ²)
	2)	75 mJ/p (1.5 J/p/cm ²)
	3)	125 mJ/p (2.5 J/p/cm ²)
355nm	1)	40 mJ/p (800 mJ/p/cm ²)
	2)	30 mJ/p (600 mJ/p/cm ²)
	3)	20 mJ/p (400 mJ/p/cm ²)

4. 結果

ヤギの摘出腎臓に照射した際の基本波、第二高調波、第三高調波の3波長別の肉眼的所見(図2)では、3波長ともトータルエネルギーが同じであればピーク出力が高くなるほど組織の破壊が大きいことが分かった。このことは図3に示した第二高調波照射部位の光学顕微鏡像からも明かである。また、同じ800 mJ, 5 minの照射では基本波(赤外, 1064nm), 第二高調波(可視, 532nm), 第三高調波(紫外, 355nm)の順に波長の短いほどレーザーによる組織の蒸散は深部にまで達して、良く切れていることが分かった。3波長ともに肉眼的に白い熱変性層が見られたが、3波長間での熱変性の差異は今回の実験では明かではなかった。

アパーチャーを介した後のレーザー光をレンズを用いて集光し、照射パワー密度を高めて組織に照射した場合もレンズで集光しない場合と同様に波長が短いほど組織が深く切れていることが分かった。また、3波長とも肉眼的には熱変性層は認められず、光学顕微鏡所見(図4)でも極めて薄いことが明らかになった。

5. まとめ

スーパーパルスレーザーの組織作用に関して、そのピーク出力の大きさが生体組織に及ぼす影響は、ピーク出力が大きくなるほど、組織蒸散能が大きく、熱変性層が小さい傾向にあることが分かった。

また、レンズを用いてレーザー光を集光し出力密度を高めることにより照射した場合の組織作用は、基本波(赤外, 1064nm), 第二高調波(可視, 532nm), 第三高調波(紫外, 355nm)の3波長とも熱作用の非常に少ない鋭利な組織破壊が可能なが分かった。

以上よりスーパーパルスレーザーのレーザーメスとしての利用可能性が示されたが、パルス出力の大きさを変化させることにより、熱凝固層の厚さを自由にできるという利点があることが分かった。スーパーパルスレーザーの医療応用のためには、さらに本レーザーにおける発振周波数の組織作用の影響に関する研究や種々な組織の切離や凝固における至適条件に関する因子の分析を行う必要があり、今後の課題である。

本研究の一部は文部省科学研究費補助金一般研究(A) NO.63440045の援助により行われた。

図 1. 生体組織へのスーパーパルスレーザー照射実験

図 2. ヤギの摘出腎臓への3波長別照射の肉眼所見
 左上, 基本波 (40mJ/p, 250mJ/p, 275mJ/p)
 右上, 第二高調波 (40mJ/P, 125mJ/p, 75mJ/p)
 左下, 第三高調波 (40mJ/p, 20mJ/p, 60mJ/p)

図3. 第二高調波における光学顕微鏡所見

図4. レンズで集光（約 $100\mu\text{m}$ ）した3波長別照射の
ブタ摘出腎臓での光学顕微鏡所見