

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 16 日現在

機関番号：34519

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24791929

研究課題名(和文)レーザー光による骨切り後の骨癒合の研究

研究課題名(英文)Healing response of the bone following laser osteotomy

研究代表者

曾束 洋平 (Sotsuka, Yohei)

兵庫医科大学・医学部・助教

研究者番号：40437413

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：1070nmの波長を持つイッテルビウムファイバーレーザーにて骨切断し、骨の創傷治癒(骨癒合)に関して、調査した。

出力を60Wとし、20mm/secにてコンピューター制御で骨切断を行なった場合、切断幅はノコギリで切断した場合と比べて、ほぼ同じ幅であったものの、レーザー光で切断した場合のほうが0.1mm幅が広がった。3週間後に切断部の脱灰標本作製してみると、仮骨の形成が確認でき、ノコギリで切断した場合も同様で、両者に差はなかった。手動での切断は、出力を20Wと30Wと設定した。出力の大きいほうが熱損傷も大きかったが、切断幅は、ノコギリで切断した場合と比べ、ほぼ同等であった。

研究成果の概要(英文)：We have compared the histological appearance of bone ablation and healing response in rabbit radial bone osteotomy created by surgical saw and ytterbium-doped fiber laser controlled by a computer and manually. The output power of the laser was 60W at the scanning speed of 20mm/sec scan using continuous wave system. Bone osteotomy was performed by an ytterbium-doped fiber laser and a surgical saw. Additionally, histological analyses of the osteotomy site were performed on day 0 and day 21. Ytterbium-doped fiber laser osteotomy revealed a remarkable cutting efficiency. Lased specimens have shown no delayed healing compared with the saw osteotomies. The output power of the laser was 20W and 30W using continuous wave system with a manual ablation. Those osteotomies revealed also a remarkable cutting efficiency.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・形成外科学

キーワード：レーザー 骨切り コンピューター支援 骨癒合

### 1. 研究開始当初の背景

手術における骨の切削は現在機械的なノコギリ、ドリル、ノミといったものを術者が手で支え行っている。作業時には大きな振動、反動が起き、切断線がぶれる、切り代が大きくなる、周囲の熱変性がおきる、結果的に計画通りの手術が行われないといった問題がある。昨今の画像処理技術の進歩により、術前にとても精密な計画が行われても、実際の手術においてはやはり術者の熟練に頼らざるを得ないのが現状である。

医療の分野で、レーザー光は様々な臨床応用がされている。レーザーの生体組織への作用を考えると、熱による作用、圧力による作用、光化学反応、電磁波作用の4つに大別でき、それぞれ重視される性能、適用されるレーザーについては各種開発されている。作用毎にさまざまなことに応用されているレーザーではあるが、骨を加工することに関してはまだ実用的なものは開発されていない。歯科領域においては Er:YAG レーザーで波長 2.94 $\mu\text{m}$  のレーザー光発振し、水分子に吸収させその熱で組織の蒸散を引き起こすことで骨を切削するものの報告がある。しかしこの場合、熱は周囲の組織にも伝導され細胞の壊死を招き、レーザー出力の効率も悪く、ノコギリ、ドリルに比べて利点はあまりない。レーザー光による骨の切削が可能となれば、微細な切断、無反動、非接触で骨を切断することができる。また、光の特性を活かし、骨以外の部位(筋肉など)にレーザーが照射されても傷をつけることをできるだけ制限し、骨を加工することが可能となる。

### 2. 研究の目的

兵庫医科大学形成外科学は光産業創成大学院大学内ベンチャーであるジューニアルライト社と共同で臨床での実用を目的としたレーザー光による骨の切削装置の開発を開始した。

レーザー光による骨の切削装置の開発が可能であると判断できたものの、レーザーの出力や走査スピードによる骨の創傷治癒(骨癒合)に関して現在不明な点が多い。

具体的には、骨の切削を正確に確実にを行い、周囲の骨組織への熱変性・骨の癒合の状態を確認する必要がある。将来的には、各種パラメーターの最適な組み合わせを探る必要がある。パラメーターとして、レーザー出力、走査スピードや反復回数、冷媒の吹きつけスピードなどを明らかにしなければならない。切断された骨の断端では創傷治癒が起こり、骨癒合しなければならない。パワーが強ければ、骨切削はできても、変性が強いいため、骨癒合は得られない、もしくは相当な時間が必要となる。パワーが弱ければ、骨切削はできない。実験段階において、生体の生きた骨を切り、数週間後の仮骨形成、再生、骨癒合度を評価する必要がある。

### 3. 研究の方法

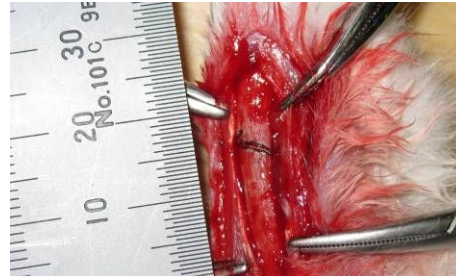
ウサギの橈骨を切断しても前肢で体重を支えることができる。このことを利用して、レーザー照射後の創傷治癒、骨癒合具合を組織学的に検討した。

- (1) ウサギを全身麻酔下で橈骨を露出した。
- (2) レーザー照射(出力、走査スピード、走査反復回数、冷媒の吹きつけスピードなど)を施行後、骨膜を縫合し、切断箇所をマークした。
- (3) 皮膚縫合し、通常の飼育を行なった。当日と3週間後に安楽死させ、当該部位を切り出し、脱灰標本を作製。骨を含めた周囲組織を含めて、組織学的に創傷治癒、仮骨形成、熱変性の度合いを評価した。
- (4) コントロールとして、機械的なノコギリ(ボーンソー)で骨切断した群と比べた。
- (5) また、手動によるレーザー照射での骨切断も検討した。

### 4. 研究成果

波長は 1070nm を選択し、ファイバーレーザーとし、出力を 60W とし、20mm/sec にて実際に骨の切断を行なった (Fig1)

Fig1



レーザーでの骨切断面 (Fig2) とボーンソーでの骨切断面 (Fig3) であるが、どちらも確実に骨切断されている。また切断幅はおよそ 500 $\mu\text{m}$  であった。レーザーでの骨切断面は、熱変性や焦げた炭化物はほとんど認めなかった。また一層の薄い凝固層を形成していた。ボーンソーでの切断面では熱変性は認めず、組織を破壊して切断しているため、出血を認めていた。

Fig2

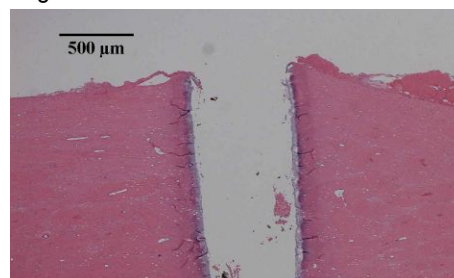


Fig3



3週間後に切断部の脱灰標本を作製してみると、レーザー切断群 (Fig4)、ボーンソー群 (Fig5) とともに仮骨の形成が確認できた。

Fig4

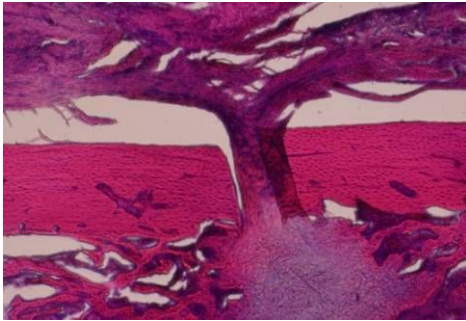
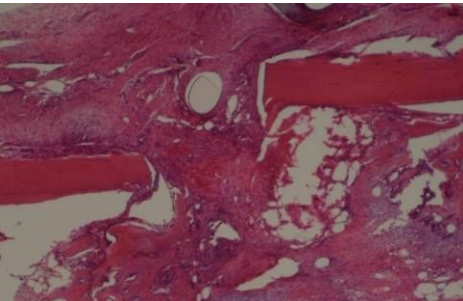
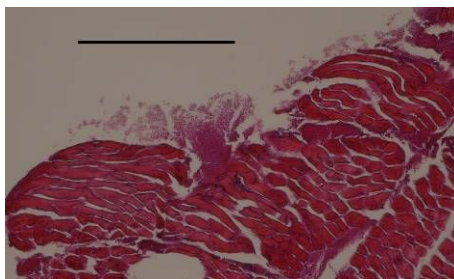


Fig5



筋肉組織にレーザー照射した場合、熱変性も認めず、炭化も認めなかった (Fig6)。

Fig6 (Bar is equal to 500μm)

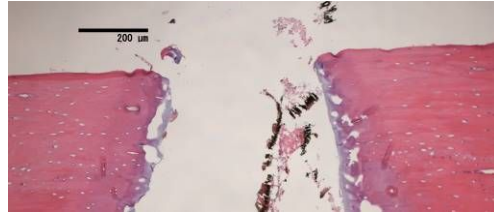


手動にて骨切断も行なった。設定出力を30W (Fig7)、20W (Fig8)とした。両者とも、骨切断が可能であった。切断幅も400μm程度であった。30Wでの骨切断は、熱変性が20Wと比べて大きかった。

Fig7



Fig8



#### まとめ

波長は1070nmを選択し、ファイバーレーザーとし、出力を60Wとし、20mm/secにて実際に骨の切断を行なったが、ボーンソーで切断するのとは比べ、切断も、骨治癒も組織学的にほとんど差がなかった。レーザーによる骨切断が骨治癒を含めて可能であることが示唆された。

骨と隣接する筋肉へのダメージは1070nmの波長を選択することにより非常に少ないことがわかった。

レーザーにて骨切断・骨治癒が可能になれば、コンピューター制御により照射するレーザーを用いて、正確な骨加工が可能となり、精密な手術計画に基づき正確に短時間に手術が可能になると期待できる。

現在骨切り後はチタンプレート等にて骨固定を行なっているが、日本建築の特徴とされる釘を使わないほぞ組み加工のように、コンピューター技術により、骨の接合面を凹凸等に加工し、プレートを使わない骨固定、しっかりした骨接合が期待できる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

1. Sotsuka Y, Nishimoto S, Tsumano T, Kawai K, Ishise H, Kakibuchi M, Shimokita R, Yamauchi T, Okihara S.  
The dawn of computer-assisted robotic

osteotomy with ytterbium-doped fiber laser.  
Lasers Med Sci. 2014 May;29(3):1125-9.  
doi: 10.1007/s10103-013-1487-y. ( 査読有 )

6 . 研究組織

(1)研究代表者

曾束 洋平 ( SOTSUKA, YOHEI )

兵庫医科大学・医学部・助教

研究者番号 : 40437413