

審査の結果の要旨

氏名：金 大永

論文題目「Er: YAG laser Bone Cutting Device for Application of Precise Osteotomy」(Er: YAG レーザを用いた整形外科用精密骨切り装置の開発)の学位論文は、水冷却でEr: YAG レーザを移動させながら骨切りを行い、その結果を整形外科手術支援ロボットに応用した研究論文である。

本論文は6章からなり、第1章ではレーザー骨切りの必要性を述べ、第2章では本研究の目的として、熱侵襲を伴わない水冷却レーザー骨切りの最適化を行い、その結果に基づく整形外科用マニピュレータへの応用を述べている。第3章では熱侵襲を避けるために、水冷却によるレーザー骨切りの効率と水の影響について述べ、第4章ではその応用として、寛骨臼回転骨切り術用に製作したレーザー骨切りマニピュレータについて述べている。第5章では本研究の工学的および医学的な効果とその意義について考察している。そして、最後に第6章で結論を述べている。

本研究では硬い皮質骨をEr: YAG レーザにより効率良く、かつ熱侵襲なしで切ることを目的としている。その実現のために水冷却でレーザーを移動させながら、その効率を最大化し、その効果を証明している。レーザー骨切りにおけるパラメータとして、周波数、移動速度、水へのエネルギー吸収を設定し、骨切りの効率を $208 \mu\text{g}/\text{J}$ で最大化した。

寛骨臼回転骨切り術への応用を実現するために開発したマニピュレータは、3自由度を有し、作業空間確保のための筋肉剥離機構にはリンク機構を、正確な骨切りには仮想球運動方式を、骨表面との間隔を維持するには簡単な接触式センサを用い、2次元平面上での安全で効率の良い動作が実現できる構造となっている。開発したマニピュレータの性能を評価するために2種類の実験を行っている。まず、マニピュレータの非生体実験では、 $1.28\text{mm}/\text{sec}$ で移動させながら、6回の照射で半径30mm、深さ0.75mmの溝を、0.3mm精度で切ることが可能であった。ブタを用いた動物実験では筋肉などの剥離に十分な力を示し、1回のレーザー照射で深さ4mmまでの骨切り効率を達成している。方法と評価実験の結果から、レーザー骨切りの有効性が検証され、臨床的に精密な骨切りの新たな手段としての可能性を持つと判断できる。

本論文の結論として、開発したレーザー骨切り装置は、整形外科における有効な支援装置への発展可能性を十分有していると述べている。次の研究課題として皮質だけではなく、海綿骨まで3次元で骨を切ることで、さらに活用度が高い装置への発展が予想される。

以上のように本論文では熱侵襲を伴わないレーザー骨切りを整形外科に応用するマニピュレータを開発した。開発したEr: YAG レーザ骨切りマニピュレータは近年多く行われている低侵襲手術を支援する新たな装置として発展することが期待される。

なお、本論文は、東京大学の土肥健純 教授、波多伸彦 助教授との共同研究であるが、論文提出者が主体となって開発及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。