骨の赤外分光特性の個体差に関する実験的検討

加藤 一¹⁾, 長澤 明範²⁾

¹⁾ 芝浦工業大学工学部通信工学科, ²⁾ 東海大学開発工学部医用生体工学科

Experimental Study on Individual Difference of Infrared Spectral Characteristics
of Bone with regard to the Differences of Pig Bone Tissues' Subject

Kazuichi Katoh¹⁾ and Akinori Nagasawa²⁾

¹⁾ Shibaura Institute of Technology, Faculty of Engineering

²⁾ Tokai University, School of High-Technology for Human Welfare

Abstract

Previous studies have revealed that hard tissues, either bone or dental structures, provide the huge absorption spectrum in the narrow wave band around $9.6 \mu\text{m}$, and the wavelength at the absorption peak has the crucial importance in the laser surgical effect on hard tissue. This study was designed for the precise research for the individual difference of the optical characteristics of bone tissues.

METHOD : Pig bones (femurs and ribs) were applied for the experimental subject. The spectral analysis of the cortical bone of the different individuals of the subjects was applied in the wave range of $2.17 \sim 25.0 \mu\text{m}$ using the fourier transform infrared spectrophotometer FT/IR5300.

RESULT : ① Every bone tissue has the same wavelength at every infrared spectral peak and no individual difference in the spectral characteristics of bone. This result demonstrates that every bone tissue is composed from the same chemical components. ② The absorbance at every spectral peak, however, is various in each individual bone. This result demonstrates that the contents of the chemical components of bone were delicately different in each individual bone.

The results of this experiment demonstrate that every bone tissue has the same infrared spectral peak, and to get the most excellent effect in laser surgery for bone tissue, this result assures that the oscillator must only be based the laser wavelength corresponding to the huge absorption wavelength of bone tissue ($9.65 \sim 9.67 \mu\text{m}$) and need not vary the laser wavelength with each different bone tissue.

緒 言

硬組織は波数 1030cm^{-1} (波長 $\approx 9.6 \mu\text{m}$) 付近に巨大な赤外吸収スペクトルをもつことがこれまでに認められており^{1) - 3)}、著者らは波長可変 CO_2 レーザー装置を用いた実験において、この巨大吸収波長のレーザーの硬組織加工効果は

格段に大きく、この場合のレーザーの硬組織加工効果はレーザーの波長がこの巨大吸収ピーク波長に近いほど高く、その波長依存度は $10^{-2} \mu\text{m}$ であることを明らかにした⁴⁾。このようにこの波長領域におけるレーザーの硬組織加工効果に関する硬組織の分光特性の意義は極めて緻

密なものであることから、本研究は豚骨を用いて、骨の赤外分光特性に個体差があるか否かについて実験的に検討を行ったものである。

実験方法

1. 分析装置

本研究の分光分析にはフーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR5300型/日本分光株式会社製) を使用した。本装置の主な仕様は、①波数範囲：4600～400 cm^{-1} 、②取り込み波数： $\pm 0.01\text{cm}^{-1}$ 、③分解能：2, 4, 8 cm^{-1} 、④測光範囲：透過率 0～100 % T, 吸光度 0～3 Abs、⑤スペクトル演算処理機能：a) 差スペクトル演算処理, b) スペクトル間の四則演算, c) Abs $\leftrightarrow$ %T スペクトル変換, d) ベースライン補正, e) ズーム, f) ピーク打ち出し, g) ピークサーチ, h) スムージング処理, i) 定量分析などである。

2. 試料および測定条件

測定した試料は屠殺後直ちに冷凍保存した食用豚骨大腿骨を用い、異個体同種骨 (豚A, 豚B, 豚Cの大腿骨中央部) につて分光分析を行った。試料の骨表面に付着している軟組織を除去し、緻密質表面を露出し、同部を歯科用切削機で緻密質骨粉を削出し、これをKBr錠剤法に基づいて測定用マイクロ錠剤を作成した。即ち、赤外透過性のKBr粉末と組織の粉末試料を 1mg : 40 μg 程度の割合で混和し、乳鉢で乳棒を用いて練和混和したのち、加圧して3 mm ϕ のマイクロ錠剤を作成した。分光光度計の測定条件は分解能:2 cm^{-1} 、積算回数:32回、増幅度:autoに設定し、検査波数 (波長) 範囲4600～400 cm^{-1} (2.17～25.00 μm) について測定した。また測定データのS/N (信号対雑音比) を改善す

るためにスムージング (平滑化) 処理を併用して測定を行った。

実験結果

図1に豚骨緻密質について行った透過率分光分析結果の一例を示す。被検波長範囲の中に多くの吸収ピーク部が示されているが、図中に示すNO.1からNO.6の吸収ピーク波長を検討の対象とした。表1は豚A, B, Cの緻密質について測定した6箇所 of ピーク部の波数 (下段は波長) を示したものである。同表から各検体の6箇所の吸収ピーク波長は個体によって微細な差異は認められるがいずれもほぼ同じ値を示している。これらの吸収ピーク波長のうち、とりわけ1030 cm^{-1} (9.6 μm) 付近のそれは巨大な吸収特性を示している。表2は試料の吸収特性を検討するために、測定した各吸収ピーク波長の透過率を吸光度に変換して示したものである。

検 討

本実験の結果、各豚骨試料の吸収ピーク波長間に認められた微細な差異 (表1) について、これが各検体の構成成分の違いによるものか否かを検討するため、同一サンプルを同一測定条件 (分解能:2, 算回数:32) で繰り返し測定を試みた。その結果、各吸収ピーク波長は 0～0.06 μm の範囲で微妙に異なるいくつかの吸収ピーク波長が測定されたが、これはピーク部が平坦化しているために複数の吸収ピーク波長が検出されたものと解釈される。本実験で行った各豚骨の吸収ピーク波長の検体間におけるばらつきはこの繰り返し試験値の変動幅と同程度であることから (表1参照、但し、NO.1は水の吸収帯の

ために除く)、豚骨試料の吸収ピーク波長は個体差に関係なく同じであるものと推定される。

つぎに、骨に対するEr:YAGレーザー(波長: $2.94\mu\text{m}$)および CO_2 レーザー(波長: $10.60\mu\text{m}$)と $9.6\mu\text{m}$ 帯に発振波長をもつレーザーとの加工効果について吸光度を用いて比較した。この場合、各KBr錠剤の試料濃度は一定に規格化して作成したものではないので、その吸光度の値で各検体間の吸収の大きさを比較することはできない。そこで、同一検体での $9.6\mu\text{m}$ 帯の巨大吸収ピーク波長(NO.5)の吸光度に対する $2.9\mu\text{m}$ 帯および $10.60\mu\text{m}$ の吸光度との比率を求めて評価した。この結果、各検体の $9.6\mu\text{m}$ 帯での吸収率は $2.9\mu\text{m}$ 帯での吸収率の $2.20\sim 3.29$ 倍、また $10.60\mu\text{m}$ での吸収率の $2.75\sim 4.01$ 倍にも相当するほど大きいことがわかった(表3)。また、この吸収率は個体によって明らかな差異が認められるが、これは骨の主要成分である骨塩の含有量が骨毎に異なることを示すものと考えられる。ただし、 $2.9\mu\text{m}$ 帯の吸収ピーク波長は水に由来するもので、検体の水分含有率によって異なるが、測定時に大気中の環境の影響を受けやすいものと考えられる。

結 論

豚骨の大腿骨緻密質を対象に、波長 $2.17\sim 25.0\mu\text{m}$ の赤外領域の分光特性の個体差による相違について検討した結果、すべての骨試料の赤外吸収スペクトルの吸収ピーク波長はほぼ完全な一致を認めたが、 $9.6\mu\text{m}$ 帯での吸収率は骨ごとに異なることが示された。これは個体が異なっても骨は同じ骨塩組成で構成されているが、骨塩の含有率は骨によって異なることを示

唆するものである。

今回の研究から、骨に卓越した外科的治療効果をもつレーザーの波長は $9.65\mu\text{m}$ 近傍に固定したものでよく、骨毎に波長を変える必要のないことがわかった。

【参考文献】

- 1) 鈴木 貢：生体硬組織無機質の性状に関する理化学的研究，口科誌，1975.
- 2) 長澤明範，西川宏司，平柄喜章：歯牙の光学特性と各種レーザーの歯牙への作用の相異，医用電子と生体工学，18，特別号，178-179，1980.
- 3) 長澤明範：レーザーの組織作用特性と口腔領域への応用，歯科ジャーナル，国際医書出版，1988.
- 4) 長澤明範，加藤一一：硬組織の $9\mu\text{m}$ 帯巨大吸収波長の検索とその加工効果の検討——分光学的検討，第16回日本レーザー医学会大会大会論文集，433-435，1995.

図 1 波長 $2.17\sim 25\mu\text{m}$ (波数 $4600\sim 400\text{cm}^{-1}$)の赤外領域における豚緻密質の透過率分光特性

本研究は平成8年度文部省科学研究費(課題番号06671484)の助成に基づいて行われた。

吸収帯番号 試 料	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6
豚A大腿骨中央部	3325.58 3.0070	1653.14 6.0491	1541.26 6.4882	1456.39 6.8663	1033.94 9.6717	563.26 17.75
豚B大腿骨中央部	3325.58 3.0070	1654.11 6.0445	1541.26 6.4882	1457.35 6.8618	1034.90 9.6628	563.26 17.75
豚C大腿骨中央部	3324.61 3.0079	1654.11 6.0455	1540.30 6.4922	1449.64 6.8983	1033.94 9.6717	564.23 17.72
ピーク波長の分布幅	0.97 0.001	0.97 0.004	0.96 0.004	7.71 0.037	0.96 0.009	0.97 0.030

【上段：波数 (cm^{-1}), 下段：波長 (μm)】

表 1 豚大腿骨緻密質の各光吸収帯のピークトップ部の波数(波長)

吸収帯番号 試 料	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6
豚A大腿骨中央部	0.60	0.82	0.56	0.53	1.48	0.91
豚B大腿骨中央部	0.46	0.58	0.42	0.43	1.01	0.64
豚C大腿骨中央部	0.49	0.69	0.47	0.51	1.61	0.82

表 2 豚大腿骨緻密質の各光吸収帯におけるピークトップ部の吸光度(Abs)

試 料 吸光度の比率	豚 A	豚 B	豚 C
NO.5 / NO.1	2.47	2.20	3.29
NO.5 / 10.6 μm	3.21	2.75	4.01

表 3 豚骨大腿骨緻密質の巨大吸収ピーク部 (NO.5) の吸光度とNO.1の吸収ピーク部および10.6 μm の波長のそれぞれの吸光度に対するの比率