

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22592083

研究課題名(和文) 光干渉断層画像診断法の歯科領域への応用と最適化に関する研究

研究課題名(英文) Optimization and clinical application of optical coherence tomography in dentistry

研究代表者

倉林 亨 (Kurabayashi, Tohru)

東京医科歯科大学・医歯(薬)学総合研究科・教授

研究者番号：60178093

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、MTFと呼ばれる物理学的指標を用いて、歯科用OCTの空間分解能を客観的な評価方法を確立することを目的とした。各OCT画像の深さ方向のMTFが50%程度、10%程度まで低下する空間周波数は、それぞれ 6 cycles/mm, 11～12 cycles/mmであった。本研究から得られた成果は、歯科画像診断におけるOCTの適応範囲を明らかにする上で重要な情報を提供するものと考えられた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to establish the objective evaluation methods for spatial resolution of OCT (optical coherence tomography) for dental use by the physical analysis using MTF. The spatial resolution in which MTF in the depth directions decreases to 50% and 10% was 6 cycles/mm and 11-12 cycles/mm, respectively. We consider that these results will provide useful information in order to evaluate the clinical application of OCT in dentistry.

研究分野：歯科放射線診断学

科研費の分科・細目：歯学・病態科学系歯学歯科放射線学

キーワード：OCT 解像度

1. 研究開始当初の背景

近年生体医療用光学分野の進歩は著しく、その中でも新時代の医療用診断機器として OCT (Optical Coherent Tomography, 光干渉断層画像診断法) が注目されている。OCT の臨床応用の可能性については、1991 年に米国 MIT から初めて報告がなされ (Huang D et al. Optical coherence tomography. Science 254: 1178-1181, 1991)、そのわずか 5 年後には眼科領域にて実用化がなされた。その後消化器癌、肺癌、動脈血管壁の診断等、臨床医学分野全般に活用できる診断技術として世界的な技術開発競争が行われてきた。OCT の最大の特徴は非侵襲的に極めて高精細な画像が得られることである。また電離放射線による被曝を伴わない生体に無害な検査法であり、同時性、客観性という特徴も兼ね備えている。

OCT は既存の画像診断法とは全く異なる次世代の診断技術であり、今後臨床医学の様々な領域に急速に普及してゆくものと予想される。しかし OCT の歯科臨床への応用については、これまでに断片的な報告が散見されるのみであり、臨床応用の実用化の段階には至っていない。このような背景のもと、我々は産学官連携にて歯科用 OCT 画像診断機器の開発を行い、その試作機を用いて、歯科臨床への応用の可能性を検討してきた (1.角保徳他. 歯科用光断層画像表示システム. 特願 2006-235030: 2006 年 8 月 31 日出願, 2.角保徳他. 歯科用光断層画像表示方法. 特願 2007-307711: 2007 年 11 月 28 日出願)。この歯科用 OCT は、従来型の OCT と比較して、計測感度は 100-1000 倍、計測速度においては数十倍まで向上しており、歯科領域においては、臨床でのチェアサイドにおける診査をリアルタイムに実現することを可能としている。また得られる画像はきわめて高精細であり、従来の画像診断法では不可能であった口腔領域の微細構造や病変を検出できる可能性が十分に期待できる。

一方で、歯科用 OCT の最大の特徴とされている空間解像力について、これを物理学的、客観的に定量化する手段は、未だ確立されていない。今後歯科臨床において OCT を有効に活用してゆくためには、OCT 画像の解像限界を正しく評価し、歯科画像診断における OCT の適応範囲を明らかにすることが重要と考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、OCT の最大の特徴である空間解能について検討を行い、その客観的な評価方法を確立することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) MTF 測定ソフトウェアの開発

Embarcadero 社製の統合開発環境である Delphi XE を使用して、大量の画像データから画像の解像度を客観的に評価する手法である MTF (modulation transfer function) を算出するためのソフトウェアを Graphic User Interface (GUI) を持つアプリケーションとして開発し、利用することとした。開発に際しては、以前に我々が歯科用コーンビーム CT における MTF 計測の研究を行った際に開発したソフトウェアのソースコードの一部を転用した。

(2) ファントムおよび OCT 撮影について

Santec 社より購入したガラスエッジを基にファントムを作成した。撮影においては、ガラスエッジを反射面がほぼ水平になるように設置し、OCT の標準的な条件 (2D) で高さを撮像視野の中段付近で無作為に細かく変えながら、真上より 50 回の撮影した。この際の画素サイズは X 座標方向で $6.5\mu\text{m}$ ($=5\text{mm}/758\text{pixels}$)、深さ方向で $17.5\mu\text{m}$ ($=7.5\text{mm}/428\text{pixels}$) であった。

(3) MTF の評価

全 50 回の撮影画像は、幅 758 列 x 高さ 428 行の画素群からなる 1 画素あたり 256 段階の輝度情報が納められた非圧縮の Windows Bitmap ファイルとしてそれぞれ保存された。これらの画像は、上記の MTF 測定ソフトウェアに読み込まれ、画素ごとの輝度は信号強度 (dB) に変換された。同ソフトウェア上にて Window Center 及び Window Width を変えながら各画像を確認し、撮像範囲内のうち左側辺縁部、中心付近、及び右側辺縁部に、それぞれガラスエッジ反射面付近にノイズが少ないと判断される連続した 50 列を選び出し、各列上のガラスエッジ反射面の上下 32 行の画素を ROI として設定した。すなわちこのガラスエッジのそれぞれ 50 回の撮影 x 50 列 = 2500 列からなる各 ROI には、反射面の上方の低信号領域から反射面直近の高信号領域を経て反射面下方の低信号領域に至る、画素の高さと信号強度の組み合わせが記録されていることになる。ガラスエッジの反射面は目視にてほぼ水平に設置されたが、完全な水平にはなり得ない。そのため、各 ROI の 2500 列の画素群におけるそれぞれのガラスエッジ反射面の位置的高さは若干異なるが、今回開発したソフトウェアの機能により、各 ROI における真のガラスエッジ反射面の高さを算出した後、全ての ROI を、ガラスエッジ反射面の位置の高さを基準として同期させることが可能であった。この同期された、画素の位置の高さ-信号強度の散布図を画素サイズ

の 1/10 の間隔でリサンプリングし、更にゼロイン
グと明らかなノイズを除去することで、上下方向
の線広がり関数 (Line Spread Function: LSF)を
得た。さらに、LSF をフーリエ変換することで光
学伝達関数 (Optical Transfer Function: OTF)
を算出し、OTF の絶対値を計算することで MTF
を得た。

4. 研究成果

ガラスエッジファントムを撮影した OCT 画像
の左側辺縁部、中央付近部、右側辺縁部に設
定された各 ROI における、画素の高さ - 信号
強度 (dB) の散布図は、それぞれ Fig 1, Fig 2,
Fig 3 のようになった。これらの散布図を、本来の
撮像視野内深さ方向の画素サイズの 1/10 の間
隔 (1.75 μ m) でリサンプリングした後、ゼロイン
グ及び明らかなノイズデータの除去を行って LSF
とした。各 LSF を重ね合わせたグラフを Fig 4 と
して示した。更に、各 LSF をそれぞれフーリエ変
換することによって OTF を算出し、OTF の絶対
値として MTF を得た。各 MTF を重ね合わせたも
のを Fig 5 として示した。

各 OCT 画像について、撮像視野の中段あた
りの深さにおいては、左側辺縁部、中央付近部、
右側辺縁部のそれぞれの深さ方向の LSF 及び
MTF をグラフ上で比較するといずれも類似して
おり、MTF が 50%程度まで低下する空間周波数
(以下 MTF₅₀)は 6 cycles/mm、MTF₁₀は 11 ~ 12
cycles/mm であった。

本研究では、自作のソフトウェアを用いたこと
により撮像範囲内の左側辺縁部、中央付近部、
右側辺縁部の各部位について、計 2500 列の画
素群を ROI として設定して LSF 及び MTF を算
出することが出来た。各 ROI はそれぞれ 32 画素
からなっているため、各測定部位につき 80,000
個の画素のデータから LSF や MTF を測定したこ
ととなる。このデータ量は、詳細な LSF 及び MTF
算出には十分な量であり、実際に位相を同期し
た画素の高さと信号強度の散布図を見みると、
隙間無くプロットで埋まっていることが確認でき
た。

今回の研究では、撮像視野内の深さ方向
MTF について検討した。今後の課題として、深
さ方向の MTF だけではなく、水平方向の MTF
の解析が残されている。今回我々が開発した
MTF 測定ソフトウェアは、水平方向の MTF 解析
についても簡単に対応が可能となりとなっ
ているが、留意すべき点として以下のことがあげ
られる。一般に撮像機器の分解能が上昇すると
MTF は上昇するが、これは必ずしも撮像機器の
分解能の上昇を意味しない。すなわち撮像機器

に入力されたイメージデータが、観察者に見え
る形で出力される前のプロセスで画像処理され
ることによって、MTF の上昇が認められる場合が
ある。しかしそのような場合、必ずノイズ特性が
追従することが知られており、今後は MTF 解析
を更に進めると共に、OCT のノイズ特性の調査
についても検討すべきであると考えている。

いずれにせよ本研究から得られた成果は、
歯科画像診断における OCT の適応範囲を明ら
かにする上で重要な情報を提供するものと考え
られた。

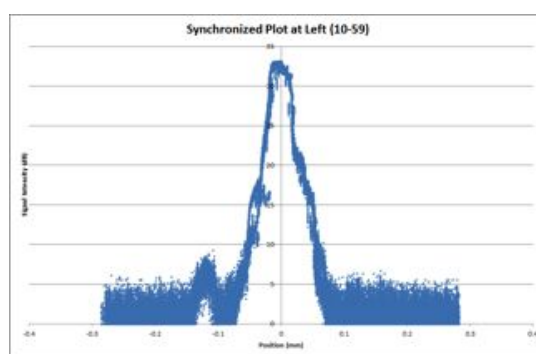


Fig 1

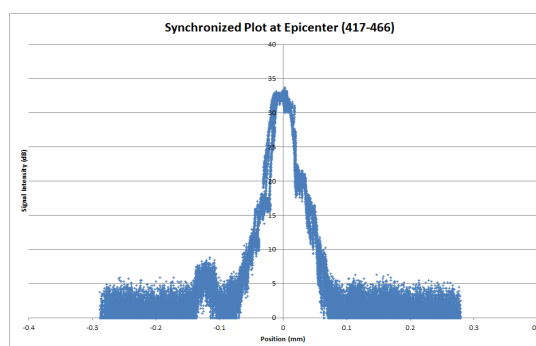


Fig 2

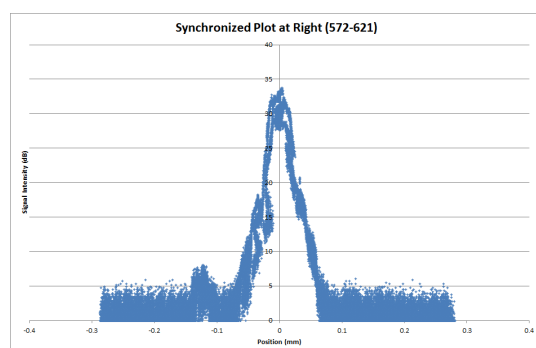


Fig 3

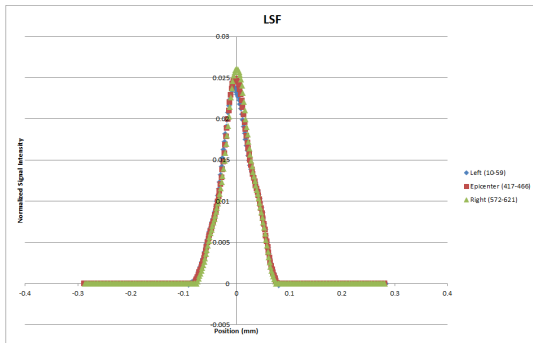


Fig 4

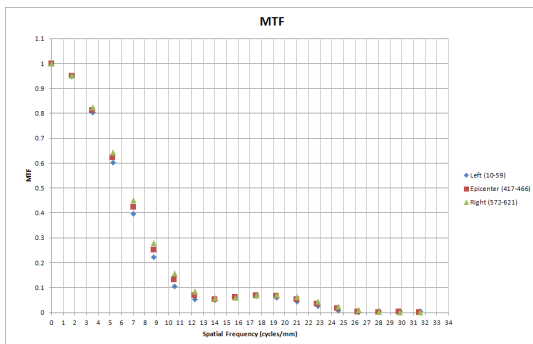


Fig 5

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 20 件)

1. Hikita R, Miyamoto JJ, Ono T, Honda E, Kurabayashi T, Moriyama K. Activation patterns in the auditory association area involved in glottal stop perception. *J Oral Biosci* 55: 34-39, 2013. (査読有)

2. Imaizumi A, Kodama S, Sakamoto J, Sasaki Y, Otonari-Yamamoto M, Kuribayashi A, Kurabayashi T, Sano T. Imaging findings of benign peripheral nerve sheath tumor in jaw. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 116: 369-76, 2013. doi: 10.1016/j.oooo.2013.06.010. (査読有)

3. Kamrun N, Tetsumura A, Nomura Y, Yamaguchi S, Baba O, Nakamura S, Watanabe H, Kurabayashi T. Visualization of the superior and inferior borders of the mandibular canal: a comparative study using digital panoramic radiographs and cross-sectional computed tomography images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 115: 550-7, 2013. doi: 10.1016/j.oooo.2013.01.001. (査読有)

4. Kretapirom K, Okochi K, Nakamura S,

Tetsumura A, Ohbayashi N, Yoshino N, Kurabayashi T. MRI characteristics of rheumatoid arthritis in the temporomandibular joint. *Dentomaxillofac Radiol* 42: 31627230, 2013. doi: 10.1259/dmfr/31627230. (査読有)

5. Kuribayashi A, Imaizumi A, Tetsumura A, Yoshino N, Kurabayashi T. Magnetic resonance imaging of myoepithelioma in the salivary glands. *Oral Radiol* 29: 87-91, 2013. (査読有)

6. Nakamura S, Toriihara A, Okochi K, Watanabe H, Shibuya H, Kurabayashi T. Optimal timing of post-treatment [18F] fluorodeoxyglucose (18F-FDG) –PET/ computed tomography (CT) to identify tumor recurrence, nodal metastasis, and distant metastasis for surveillance and discuss the optimal timing of 18F-FDG-PET/CT examination after the completion of treatment for head and neck malignancy. *Nucl Med Commun* 34: 162-7, 2013. doi: 10.1097/MNM.0b013e32835bdf3. (査読有)

7. Nomura Y, Watanabe H, Shiotsu K, Honda E, Sumi Y, Kurabayashi T. Stability of voxel values from cone-beam computed tomography for dental use in evaluating bone mineral content, *Clin Oral Implants Res* 24: 543-8, 2013. doi: 10.1111/j.1600-0501.2012.02420.x. (査読有)

8. Ozaki Y, Watanabe H, Nomura Y, Honda E, Sumi Y, Kurabayashi T. Location dependency of the spatial resolution of cone-beam computed tomography for dental use. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 116: 648-655, 2013. doi: 10.1016/j.oooo.2013.07.009. (査読有)

9. Takahashi A, Watanabe H, Honda E, Sumi Y, Kurabayashi T. Localizing the mandibular canal on dental CT reformatted images: usefulness of panoramic views. *Surg Radiol Anat* 35: 803-809, 2013. doi: 10.1007/s00276-013-1120-6. (査読有)

10. Yuasa-Nakagawa K, Shibuya H, Yoshimura R, Miura M, Watanabe H, Kishimoto S, Omura K. Cervical lymph node metastasis from early-stage squamous cell carcinoma of the oral tongue. *Acta Otolaryngol* 133: 544-51, 2013. doi: 10.3109/00016489.2012.748988. (査読有)

11. Imaizumi A, Kuribayashi A, Watanabe H, Ohbayashi N, Nakamura S, Sumi Y, Sano T, Kurabayashi T. Non-Hodgkin lymphoma involving the mandible: imaging findings. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 113: e33-9, 2012. doi: 10.1016/j.oooo.2011.10.004. (査読有)

12. Kamiyama Y, Nakamura N, Abe T, Munakata M, Nomura T, Watanabe H, Akiyama M, Kurabayashi T. Linear measurement accuracy of dental CT images obtained by 64-slice multi-detector row CT: the effects of mandibular positioning and pitch factor at CT scanning. *Implant Dentistry* 21: 496-501, 2012.

doi: 10.1097/ID.0b013e3182703387. (査読有)

13. Koyama T, Shimura M, Minemoto Y, Nohara S, Shibata S, Iida Y, Iwashita S, Hasegawa M, Kurabayashi T, Hamada H, Kono K, Honda E, Aoki I, Ishizaka Y. Evaluation of selective tumor detection by clinical magnetic resonance imaging using antibody-conjugated superparamagnetic iron oxide. *J Control Release* 159: 413-418, 2012. doi: 10.1016/j.jconrel.2012.01.023. (査読有)

14. Okochi K, Nakamura S, Tetsumura A, Honda E, Kurabayashi T. Magnetic resonance imaging of temporomandibular joint cyst. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol* 113: 827-831, 2012. doi: 10.1016/j.oooo.2011.11.013. (査読有)

15. Tetsumura A, Nakamura S, Yoshino N, Watanabe H, Kuribayashi A, Nagumo K, Okada N, Sasaki T, Kurabayashi T. USPIO-enhanced MRI of highly invasive and highly metastasizing transplanted human squamous cell carcinoma: an experimental study. *Dentmaxillofac Radiol* 41: 55-63, 2012. doi: 10.1259/dmfr/28673011. (査読有)

16. Qiu L, Haruyama N, Suzuki S, Yamada D, Obayashi N, Kurabayashi T, Moriyama K. Accuracy of orthodontic miniscrew implantation guided by stereolithographic surgical stent based on cone-beam CT-derived 3D images. *Angle Orthod* 82: 284-93, 2012. doi: 10.2319/033111-231.1. (査読有)

17. Nakamura S, Okochi K, Kurabayashi T. Dual-Time-Point Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography for Diagnosis of Cervical Lymph Node Metastases in Patients With Head and Neck Squamous Cell Carcinoma. *J Comput Assist Tomogr* 35: 303-307, 2011. doi: 10.1097/RCT.0b013e31820a0af2. (査読有)

18. Ng IW, Ono T, Inoue-Arai MS, Honda E, Kurabayashi T, Moriyama K. Application of MRI movie for observation of articulatory movement during a fricative /s/ and a plosive /t/. *Angle Orthod* 81: 237-244, 2011. doi: 10.2319/060210-301.1. (査読有)

19. Okochi K, Kretapirom K, Sumi Y, Kurabayashi T. Longitudinal MRI follow-up of rheumatoid arthritis in the temporomandibular joint: importance of synovial proliferation as an early-stage sign. *Oral Radiol* 27: 83-86, 2011. (査読有)

20. Watanabe H, Honda E, Tetsumura A, Kurabayashi T. A comparative study for spatial resolution and subjective image characteristics of a multi-slice CT and a cone-beam CT for dental use. *Eur J Radiol* 77: 397-402, 2011. doi: 10.1016/j.ejrad.2009.09.023. (査読有)

[学会発表](計9件)

1. Kurabayashi T. Cone-beam CT for dental

use: comparison with medical CT. Special lecture, 35th Annual Scientific Conference on Dental Research and Continuing Education, Ho-Chi-Minh City, April 8, 2013.

2. Saitoh Y, Takayama T, Omata T, Shibuya H, Miura M, Watanabe H. Development of remotely operated brachytherapy system for oral cancer. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 6-10, Germany, 2013.

3. Lam DP, Kuribayashi A, Imaizumi A, Yoshino N, Kurabayashi T. Usefulness of fast dynamic contrast-enhanced MRI in differentiating benign from malignant salivary gland tumors. *The 19th International Congress of Dent-Maxillofacial Radiology*, Bergen, Norway, June 22-27, 2013.

4. Watanabe H, Takahashi T, Ozaki Y, Honda E, Sumi Y, Kurabayashi T. Localizing the mandibular canal on dental CT reformatted images: availability of panoramic views. *The 19th International Congress of Dent-Maxillofacial Radiology*, Bergen, Norway, June 22-27, 2013.

5. Kretapirom K, Okochi K, Kurabayashi T. MRI characteristics of rheumatoid arthritis in the temporomandibular joints. *The 3rd Tri-University Consortium on Oral Health and Sciences*, Tokyo, November 6-7, 2013.

6. Kamiyama Y, Nakamura S, Abe T, Munakata M, Nomura Y, Watanabe H, Kurabayashi T. Is measurement accuracy of dental CT affected by mandibular positioning? *The 18th International Congress of Dento-Maxillo-Facial Radiology and 52nd Annual Congress of Japanese Society for Oral and Maxillofacial Radiology*, Hiroshima, May 25-29, 2011.

7. Nakamura S, Okochi K, Watanabe H, Kurabayashi T. Optimal timing of the post-treatment FDG-PET/CT for head and neck tumor. *The 18th International Congress of Dento-Maxillo-Facial Radiology and 52nd Annual Congress of Japanese Society for Oral and Maxillofacial Radiology*, Hiroshima, May 25-29, 2011.

8. Watanabe H, Nomura Y, Takahashi A, Sumi Y, Honda E, Kurabayashi T. Variance of the spatial resolution dependent on the locations in cone-beam CT. *The 18th International Congress of Dento-Maxillo-Facial Radiology and 52nd Annual Congress of Japanese Society for Oral and Maxillofacial Radiology*, Hiroshima, May 25-29, 2011.

9. Kawakubo N, Ono T, Miyamoto J, Katsuyama N, Taira M, Honda E, Kurabayashi T, Moriyama K. Upper-limb facilitation by teeth clenching and its brain activation pattern. *55th Annual Meeting of Japanese Association for Dental Research*, Hiroshima, October 8-9, 2011.

〔図書〕(計5件)

1. 倉林 亨. 歯科放射線学第5版, 医歯薬出版, 2013, 438p.
2. 倉林 亨. 基本臨床画像診断, 医歯薬出版, 2013, 176p.
3. 倉林 亨. 口腔科学, 朝倉出版, 2013, 1074p.
4. Kurabayashi T. Atlas De Diagnostico Oral Por Imagens, Elsevier Editora Ltda., 2012, 250p.
5. 倉林 亨. 成人看護学15, 医学書院, 2012, 288p.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

倉林 亨 (KURABAYASHI TOHRU)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究
科・教授
研究者番号: 60178093

(2) 研究分担者

渡邊 裕 (WATANABE HIROSHI)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究
科・准教授
研究者番号: 00361709

角 保徳 (SUMI YASUNORI)
独立行政法人国立長寿医療研究センター・歯
科口腔先端診療開発部・部長
研究者番号: 30187801

島田康史 (SHIMADA YASUSHI)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究
科・助教
研究者番号: 60282761