

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25293385

研究課題名(和文) 光干渉断層計・コンピュータ断層撮影・実体顕微鏡の融合による新たな診断法の確立

研究課題名(英文) Integration of OCT, CBCT and DOM for diagnosis

研究代表者

須田 英明 (Suda, Hideaki)

東京医科歯科大学・歯学部・非常勤講師

研究者番号：00114760

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：根尖周囲外科手術前に撮影したCBCT画像を用いて、歯根破折群と非破折群の骨欠損部を3次元構築し、その体積を評価することで、垂直性歯根破折の鑑別を行うことができる可能性を見出した。内部に根管もしくは歯髓腔を有する象牙質を光干渉断層装置(OCT)で観察した。上顎大白歯髓床底の観察では、近心頰側第2根管の検出率を調査した。肉眼や歯科用実体顕微鏡(DOM)による検出率と比較し、OCTは検出率が高かった。口内法X線撮影法および歯科用コーンビームCTを用いて178歯の既根管処置歯を対象に根尖病変の検出能を検討した。上顎前歯部および上顎大白歯部において根尖病変の見落としが生じやすかった。

研究成果の概要(英文)：The diagnosis of a VRF is confirmed by the observation of a fracture line. Lesions resulting from VRFs can be distinguished from those of non-VRFs on 3D CBCT images with a high degree of accuracy by comparing the volume of bone defects in VRFs with those in non-VRFs on reconstructed three-dimensional (3D) models using pre-operative CBCT images. The ability of optical coherence tomographic (OCT) imaging to detect root canals and pulp chambers was investigated. According to the observation of the maxillary molars, second mesiobuccal canals (MB2) were able to detect by OCT. A combination of OCT and dental operating microscope may improve the rate and accuracy of the detection of MB2 canals. To evaluate the ability of cone-beam computed tomography to detect periapical lesions that could not be detected with periapical radiography, 178 endodontically treated teeth were examined. The result suggests that such lesions tend to exist at maxillary incisor/canine and maxillary molar regions.

研究分野：歯科保存学

キーワード：画像診断 歯科用実体顕微鏡 CBCT OCT 画像の統合 非破壊検査 即時検査 3次元構築像

1. 研究開始当初の背景

1990 年頃から世界の歯内療法に歯科用実体顕微鏡(Dental Operating Microscope, 以下 DOM) 下での治療が取り入れられ始め、本研究課題研究者らも DOM 下歯内療法に関する基礎研究・臨床応用を行ってきた。DOM の使用により、明視・拡大された術野で治療が可能となった。その結果、治療成績の向上・術中のレントゲン検査が不要となる等、国民の健康と保険財政両面に大きく寄与することとなった。しかし、DOM は明視野で術野を拡大して確認できるものの、術野表面しか観察できないという欠点もあった。他方、21 世紀を迎えるとともに急速に発展してきたのが、歯科用 CT(Cone Beam Computed Tomography, 以下 CBCT) である。従来のデンタル X 線写真(Periapical Radiograph, 以下 PR) は 2 次元像であり、診断上の限界があった。医用 CT で頭頸部を撮像すると、被曝線量が多い、解像度が満足できるレベルでない等の問題があった。CBCT は従来の X 線診断に比較して精度が向上したものの、術前診断には有効であるものの、術中の変化に機動的に対応できない、リアルタイムではない、被曝線量が多い等の問題もある。近年、光干渉断層計(Optical Coherence Tomography, 以下 OCT) が開発され、既に歯内療法での診断への応用に関する研究を開始しており、組織表面・浅層の診断が可能である、リアルタイムで観察できる、近赤外光を用い、放射線被曝がない、等の利点および観察部位が限局される、いまだ画像診断システムが確立されていないという欠点を確認している。前述の各診断法に関する研究を進めてきた中で、それぞれの診断法には特徴があり、組織表面(DOM)~表面・浅層(OCT)~深層(CBCT)の各部位を診断していたが、それらを融合して診断を行い、さらに治療に役立てるべきであると考えに至った。

2. 研究の目的

近年、新たな診断法として OCT による組

織表面・浅層の観察が導入された。本研究課題研究者らは OCT と共に、DOM を用いた組織表面の観察・CBCT を用いた深層および 3 次元的な観察等を試みてきた。それぞれの観察法には組織表面(DOM)~表面・浅層(OCT)~深層(CBCT)というように特徴を持っている。しかし、それらの機器は独立しており、融合して診断することで、より確実な診断および治療が可能になると考えるに至った。

本研究課題では DOM・OCT・CBCT を中心として、適切な症例選択の後、同一部位を各画像で観察することで各診断法を補完し、より確実な診断に導くこと。DOM 下での治療中にリアルタイムで視野に OCT・CBCT で得られた画像を同期させ、より高精度な治療を可能とすることを目的とした。

(1) CBCT による 3 次元像構築について
垂直性歯根破折(VERTICAL ROOT FRACTURE, 以下 VRF)の診断を外科的に行う場合、術前に予測できる良い方法を見つけることで、患者への侵襲を避けることができる。本研究の目的は、CBCT 画像を用いて VRF と non-VRF の骨欠損部を 3 次元構築し、その体積を評価することによって VRF の診断精度を向上させることである。

(2) OCT を用いた診断

OCT を用いて MB2 の検出を行い、肉眼と DOM と比較して有用性を評価した。

ヒト抜去歯を用いて Er:YAG レーザーを使用した髓腔開拓における OCT の有用性を評価した。

(3) CBCT の検出能

臨床の場で「CBCT 撮影を行うかどうか」の判断に資するものとして、歯や周囲構造の形態的相違に基づく PR の根尖病変検出能の歯種間での相違についての知見を得ることを目的とし、既根管処置歯における「PR では検出されない病変」に対する CBCT の検出能について、歯種ごとに検討を行った。

3. 研究の方法

(1) CBCTによる3次元像構築について
東京医科歯科大学歯学部附属病院むし歯外来を2006~2013年に受診し、同外来にてCBCT(FineCube®,吉田製作所)撮像を行った患者を調査対象とした。患者同意の上、根尖周囲外科手術を行い、DOMにて破折線の有無を確認し、破折線が確認された場合には、VRFと診断し、破折線が認められなかった場合には、non-VRFと診断した。VRFは16症例、non-VRFは16症例であった。術前のCBCT画像を近遠心・頬舌・水平断面画像の3方向から評価し、3次元解析ソフト(Amira5.4.4,Visage Imaging,オーストリア)を用いて、それぞれの方向で最小スライス厚(100~144 μ m)の2次元断面像から骨欠損部を描出した。水平断面像における描出では、各症例において、前述ソフト Magic Wand ツールを用い、一定の範囲内で画素値を設定して骨欠損部の描出を行った。このとき、歯根や歯根膜腔の拡大は含めなかった。近遠心および頬舌断面像では、水平断面像で得られた像をもとに、近遠心および頬舌断面像において、骨欠損部を逸脱して描出している部分を修正した。上記のように描出した病変部から Amira5.4.4 を用いて、3次元構築モデル(Three Dimensional Model, 以下TDM)を作製し、解析を行った。(図1)

TDMの体積をVとし、根尖部の位置の水平断面でVを2分割し、歯冠側の体積をvとした。全症例においてv/Vの値を算出した。VRF群とnon-VRF群間で、v/Vの値について統計学的に検討した。

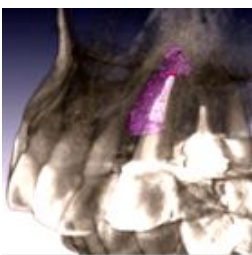


図1 3次元構築モデル

を求めた。本研究は倫理委員会の承認を得て行った(東京医科歯科大学歯学部倫理審査委

会的に検討した。ROC(受信者動作特性)曲線を用いて、VRF群とnon-VRF群を分類するためのカットオフ値および曲線下面積

員会承認番号第244号および第846号)

(2) OCTを用いた診断

MB2の検出

ヒト抜去上顎大臼歯40歯を用いた。まず歯冠を切断し髓腔開拡を行い、近心頬側根管の上部形成を行った。その後、被験歯をMicro CT(inspeXio SMX100CT®,島津製作所)で撮像、MB2の有無を判定しGold Standardとした。またOCT(Prototype 2;Panasonic Health Care)を用いて、髓床底を3D撮像した。評価者は東京医科歯科大学歯学部附属病院むし歯外来(歯内療法)における臨床経験5年以上の歯科医師3名とした。評価は、スコア1:明らかに1根管性、スコア2:おそらく1根管性、スコア3:おそらく2根管性、スコア4:明らかに2根管性とした。OCT、肉眼、DOMでMB2の有無をスコア1-4の4段階で評価した。それぞれの評価結果をGold Standardと比較し、OCT・肉眼・DOMの感度、特異度、陽性的中率(PPV)、陰性的中率(NPV)、正答度、ROC曲線下面積(AUC)を算出した。また、評価者間の一致率としてKappa値を算出した。

歯髓腔の検出

ヒト抜去下顎前歯20歯を用いた。あらかじめMicro CT(inspeXio SMX100CT®,Shimadzu)で撮像し、歯髓腔までの象牙質の厚みを計測した。続いて、OCT(Santec

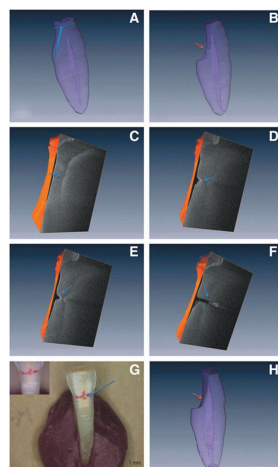


図2 A. Micro CTによる3D画像. 舌側面の青線部をあらかじめ切削した. B. 髓腔開拡の始発点(橙矢印部). C. OCT画像. 歯髓腔が観察できた(青矢印部). D.およびE. レーザー照射後のOCT画像. 歯髓腔が観察できた(青矢印部). F. 露髄時のOCT画像(青矢印部). G. DOMにて露髄の確認(青矢印部). H. Micro CTにて露髄の確認(橙矢印部).

OCT-2000®, Santec) で歯髄腔が観察できるように、舌側面の硬組織を一部除去した(図 2A)。それから再度 Micro CT で撮像し、歯髄腔までの残存象牙質が最も薄い部位を計測し、その部位をマークした(図 2B)。DOM (OPMI® 99, Carl Zeiss) 下でプローブチップ (C400E, モリタ製作所) を装着した Er:YAG レーザー (Erwin advErl®, モリタ製作所) で 10 秒間照射した。照射条件は 100mJ, 10pps とし、5mL/min で注水を行った。レーザー照射後、ただちに OCT で窩洞を観察し、露髄を確認するまで繰り返し行った。その後、DOM 下で 10 号 K ファイル (Zipperer, VDW GmbH) で露髄の確認をするとともに、Micro CT で撮像を行い露髄の有無を確認した。三次元画像処理ソフトウェア (Amira®5.6, FEI Visualization Sciences Group) を用いて Micro CT と OCT で得られた画像を評価した。本研究は倫理委員会の承認を得て行った(東京医科歯科大学歯学部倫理審査委員会承認番号第 923 号)。

(3) CBCT の検出能

東京医科歯科大学歯学部附属病院むし歯外来(歯内)を 2012 年 1 月から 2014 年 6 月の期間に受診し、CBCT 撮像を行った患者のデータを研究対象とした。被験歯として既根管処置歯 178 歯(86 人の患者より:平均 55.17 歳(SD11.53) 男性 16 人、女性 70 人)が対象となった。

CBCT 撮影には FineCube®(吉田製作所)を使用し、撮影条件として FOV は直径 56mm×高さ 51mm、管電圧 90kV、管電流 4mA、撮影時間は 16.8 秒とした。撮影された画像はスライス厚 0.14mm で再構成を行い、各断面において観察ができるようにした。PR については JPG 形式の画像として保存した。

エックス線写真上の根尖と接する透過像で歯根膜腔幅径の 2 倍以上のサイズのものを根尖病変と定義し、CBCT 画像においては同

様の所見が複数の断面画像で観察されることを要件とした。複根歯の場合は全ての識別可能な根に対して評価を行い、1 根でも病変が認められる場合は病変ありとした。

画像評価は、歯科医師 2 名 (CBCT 使用経験 4 年および 15 年) が行った。CBCT 画像での病変の有無を記録し、結果に対し意見の相違があった場合は討議し、コンセンサスを得た。得られた CBCT 画像での評価結果をゴールドスタンダードとして用いた。PR 画像についてはそれぞれ 2 週間以上の期間を空けて 2 度評価を行い、感度、特異度、陽性的中率 (PPV)、陰性的中率 (NPV) 及び正答度を算出した(マクネマー検定、有意水準 5%)。本研究は東京医科歯科大学歯学部倫理審査委員会の承認を得て行った(承認番号第 1010 号)。

4. 研究成果

(1) CBCT による 3 次元像構築について VRF および non-VRF 群で v/V の値の中央値について、Mann-Whitney U-test 検定により VRF 群は non-VRF 群より優位に高い値を示した。VRF 群は破折線に沿って病変が拡がるため、歯冠側に進展する傾向があり、non-VRF 群は根尖部を中心に病変が拡がる。よって、 v/V 値について VRF 群では 1 に近づき、non-VRF 群では 0 に近づく結果となったと考えられる。曲線下面積は 0.91 と計算されカットオフ値は、感度および特異度が最大となる 0.525 とした。このカットオフ値に対し、 $v/V > 0.525$ の場合、「破折」と判定した。この場合、感度、特異度および正確度はそれぞれ 1.00, 0.80 および 0.875 となった。本研究の結果により、 v/V 値が VRF の診断に有用である可能性が示唆され、CBCT を用いた客観的な VRF 診断方法の基準となるだろう。

(2) OCT を用いた診断

MB2 の検出

Micro CT により、40 歯中 19 歯で MB2 が見られた。DOM の感度 (0.947) は OCT の感度 (0.632) より有意に高かった。一方 OCT

の特異度 (0.714) は DOM の特異度 (0.333) より有意に高かった。正答度は有意差を認めなかった。OCT、肉眼、DOM の kappa 値はそれぞれ、0.526、0.417、0.326 だった。OCT により客観的に MB2 を検出することが可能であった。OCT は非侵襲的に、リアルタイムで被曝せずに上顎大臼歯の MB2 を検出する有用な手段となる可能性が示唆された。

歯髄腔の検出

OCT で象牙質内部の歯髄腔を検出できた(図 2C-F)。矢印部(図 2C)をレーザーにてクレーター状に切削し(図 2D,E)露髄が観察できた(図 2F)。20 歯すべてにおいて DOM および Micro CT で露髄が認められた。レーザーが切削した硬組織の厚みは、0.44mm から 1.69mm であった。OCT の使用によりレーザーを用いた髄腔開拓をより正確に行える可能性が示唆された。

(3) CBCT の検出能

全被験歯における根尖病変検出率は、PR が 31.5%(56 / 178 歯)、CBCT が 52.2%(93 / 178 歯)であった。CBCT で病変ありと判定された 93 歯のうち 42%にあたる 39 歯については PR では病変なしと判定された($p < 0.0001$)。歯種別に見ると、CBCT で検出されたが PR では検出されなかった病変は、上顎前歯で 23.2%(16 / 69 歯)及び上顎大臼歯で 34.6%(9 / 26 歯)の割合で存在し、この 2 群において検出能力に有意な差が認められた($p < 0.05$)。

本研究の結果、PR での検出が困難な病変に対する CBCT の検出能は上顎前歯部及び大臼歯部において有意な差が認められ、CBCT による病変の検出がとりわけ上記の部位で有効性が高いことが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

〔雑誌論文〕(計 6 件)

Uraba S, Ebihara A, Komatsu K, Ohbayashi N, Okiji T, Ability of cone-beam computed tomography to detect periapical lesions that were not detected by periapical radiography: A

retrospective assessment according to tooth group. J Endod. in press. 査読有
Iino Y, Yoshioka T, Hanada T, Ebihara A, Sunakawa M, Sumi Y, Suda H. Observation of the Pulp Horn by Swept Source Optical Coherence Tomography and Cone Beam Computed Tomography. Lasers in Dentistry XXI. 2015; 9306: 93060I1-5. doi: 10.1117/12.2076008 査読無

Ebihara A, Iino Y, Yoshioka T, Hanada T, Sunakawa M, Sumi Y, Suda H. Apices of Maxillary Premolars Observed by Swept Source Optical Coherence Tomography. Lasers in Dentistry XXI. 2015; 9306: 93060J1-5. doi: 10.1117/12.2076924 査読無

Komatsu K, Yuka A, Yoshioka T, Ishimura H, Ebihara A, Suda H. Differential diagnosis of vertical root fractures by evaluating reconstructed three-dimensional bone defects. DentoMaxilloFacialRadiology, 2014;43(8):20140256.doi:10.1259/dmfr.20140256.査読有

Ding J, Ebihara A, Watanabe S, Iino Y, Kokuzawa C, Anjo T, Suda H, Sumi Y. Application of Optical Coherence Tomography to Identify Pulp Exposure During Access Cavity Preparation Using an Er:YAG Laser. Photomed Laser Surg. 2014; 32: 356-359. doi: 10.1089/pho.2013.3688 査読有

Iino Y, Ebihara A, Yoshioka T, Kawamura J, Watanabe S, Hanada T, Nakano K, Sumi Y, Suda H. Detection of a Second Mesio Buccal Canal in Maxillary Molars by Swept Source Optical Coherence Tomography. J Endod. 2014; 40: 1865-1868. doi:10.1016/j.joen.2014.07.012 査読有

〔学会発表〕(計 15 件)

Komatsu K, Abe Y, Yoshioka T, Ishimura H, Ebihara A, Suda H, Okiji T. Diagnosis of vertical root fractures by analyzing reconstructed three-dimensional models obtained from CBCT images: a case series. The 17th Biennial Congress of the European Society of Endodontology. 2015.9.19. Barcelona (Spain)

Uraba S, Komatsu K, Ebihara A, Ohbayashi N, Okiji T. Detection of apical periodontitis using cone-beam computed tomography and periapical radiography. 2015.5.20. The 4th Tri-University Consortium. Bangkok (Thailand)

Iino Y, Yoshioka T, Hanada T, Ebihara

A, Sunakawa M, Sumi Y, Suda H. Observation of the Pulp Horn by Swept Source Optical Coherence Tomography and Cone Beam Computed Tomography. SPIE Photonics West. 2015.2.8. San Francisco (USA)

Ebihara A, Iino Y, Yoshioka T, Hanada T, Sunakawa M, Sumi Y, Suda H. Apices of maxillary premolars observed by swept source optical coherence tomography. SPIE Photonics West. 2015.2.8. San Francisco (USA)

Iino Y, Yoshioka T, Hanada T, Ebihara A, Sumi Y, Suda H. Detection of the second mesiobuccal canal of maxillary molars by swept-source optical coherence tomography -Comparison between inexperienced and experienced dentists-. WFLD. 2014.7.3. Paris (France)

Ebihara A, Iino Y, Yoshioka T, Hanada T, Sumi Y, Suda H. Observation of resected apical surfaces of human premolars by swept-source optical coherence tomography. WFLD. 2014.7.3. Paris (France)

浦羽真太郎, 小松恵, 海老原新, 須田英明. 根尖病変の検出におけるコーンビーム CT の優位性について. 第 140 回日本歯科保存学会 2014.6.19. 滋賀県立芸術劇場 (滋賀県・大津市)

Iino Y, Yoshioka T, Ebihara A, Suda H, Sumi Y. Detection of the Second Mesiobuccal Canal of Maxillary Molars by Sweptsource Optical Coherence Tomography -Evaluation by inexperienced dentists-, KACD. 2013.11.23. Gyeongju (Korea)

飯野由子, 河村隼, 渡辺聡, 吉岡俊彦, 花田隆周, 中野生和子, 海老原新, 島田康史, 田上順次, 角保徳, 須田英明. SS-OCT による上顎大白歯近心頰側第二根管の検出, 139 回日本歯科保存学会. 2013.10.17. 秋田県総合生活文化会館 (秋田県・秋田市)

Ding J, Anjo T, Watanabe S, Iino Y, Kokuzawa C, Ebihara A, Suda H. The Ability of Optical Coherence Tomography to Image Bone Lesion : Comparison between Porcine Maxilla and Mandible, 138 回日本歯科保存学会. 2013.6.27. 福岡国際会議場 (福岡県・福岡市)

Komatsu K, Yoshioka T, Ebihara A, Suda H. Morphological Evaluation of Periapical Radiolucency in Three Dimensions using Cone-beam CT. IFEA, 2013.5.23. 東京国際フォーラム (東京)

Ebihara A, Uraba S, Iino Y, Komatsu K,

Yoshioka T, Suda H. Survey on Usage of Cone Beam Computed Tomography for Endodontic Diagnosis. IFEA, 2013.5.26. 東京国際フォーラム (東京)

Yoshioka T, Iino Y, Ebihara A, Suda H, Sumi Y. Observation of the Pulp Chamber using SS-OCT, IFEA, 2013.5.25. 東京国際フォーラム (東京)

Iino Y, Yoshioka T, Ebihara A, Suda H, Sumi Y. Detection of the Second Mesiobuccal Canal of Maxillary Molars by Sweptsource Optical Coherence Tomography, IFEA, 2013.5.25. 東京国際フォーラム (東京)

Ding J, Anjo T, Watanabe S, Iino Y, Kokuzawa C, Ebihara A, Suda H. Ability of Optical Coherence Tomography to Identify Pulp Exposure during Access Cavity Preparation using Er: YAG Laser, IFEA, 2013.5.25. 東京国際フォーラム (東京)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)
取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

須田 英明 (SUDA Hideaki)
東京医科歯科大学・歯学部・非常勤講師
研究者番号: 00114760

(2) 研究分担者

海老原 新 (EBIHARA Arata)
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: 60251534

和達 礼子 (WADACHI Reiko)
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: 00334441

吉岡 俊彦 (YOSHIOKA Toshihiko)
東京医科歯科大学・歯学部・非常勤講師
研究者番号: 10635543

(3) 研究協力者

小松 恵 (KOMATSU Kei)
飯野 由子 (IINO Yoshiko)
浦羽 真太郎 (URABA Shintaro)
丁 江峰 (DING Jiangfeng)