

平成 22年 4月30日現在

研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19390483
 研究課題名 (和文) 赤外線サーモグラフィによる歯根破折検出法の確立
 研究課題名 (英文) A study on diagnostic method of root fracture with infrared thermography
 研究代表者
 竹重 文雄 (TAKESHIGE FUMIO)
 大阪大学・歯学部附属病院・教授
 研究者番号：60206969

研究成果の概要 (和文)：

これまで歯の根が割れることの早期診断は困難であった。今回、VibroIR 法を応用し、歯科用超音波機器からの摩擦熱を赤外線サーモグラフィによって計測することで、歯の根の部分に生じた部分亀裂の検出が可能となった。今後、さらに検討を進める必要があるものの、出力は 0.80～1.18W の範囲で、直近の亀裂に 60° 以内とすることのできる根管内 3 箇所 (120° 毎) に 10 秒前後超音波を付加する条件が、臨床応用にむけて有望であることが示唆された。

研究成果の概要 (英文)：

Clinical diagnosis of the early stage of root fracture was difficult. With fluctuation by ultrasonic dental scaler, the root fracture was confirmed with infrared thermography. The cracks were detected in about 10 seconds when the tip was set at less than 60° from the crack, and fluctuation power set from 0.80W to 1.18W. It was found that the Vibro IR method is one of the most effective tools for diagnosis of the root fracture.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,300,000	2,190,000	9,490,000
2008年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
2009年度	3,300,000	990,000	4,290,000
年度			
年度			
総計	14,500,000	4,350,000	18,850,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・保存治療系歯学

キーワード：赤外線サーモグラフィ, 歯根破折, VibroIR 法, 歯の亀裂, 歯根破折検出法

1. 研究開始当初の背景

失活歯の 3.7%に垂直歯根破折が認められる (Morfis ら *Oral Sur Oral Med Oral*

Pathol, 69: 631-635. 1990) など、歯根破折の頻度の高さは広く認知され、国内外とも歯根破折に関して数多くの報告がさ

れている。歯冠歯根破折の診断に関わるものは、歯周ポケットの変化 (Fachin ら *Quintessence-Int.*, 24(7): 497-500, 1993) や、光線透過によるもの (Wilcox ら *J Endod.*, 23(8): 533-4, 1993) などがある。しかし、そのどれも正確さの点で十分とは言えない。Tamse らが破折歯の 67.4%に局限した歯周ポケットが存在し、34.8%が歯頸部寄りの歯肉に瘻孔が存在するものの、一般歯科医ではその 3分の1しか破折の診断ができなかった (*J Endod.* 25(7), 506-8, 1999) と報告するように、従来の検査法による早期診断は容易ではない。Computed Tomography (CT) は有効な診断法 (Nair ら *Radiology*, 210(2), 545-549, 1999) とされ、改良型の出現 (Youssefzadeh ら *Oral Sur -Endo.*, 96: 118-25, 2003) で、改良されたものの、設備、コスト、検出精度の点から、日常の臨床で簡便に使用しうるものとはいえない。一方、歯根破折に関する *in vitro* の研究は、歯根破折モデルの作成が困難なため、活発に行われているとはいえず、歯根破折研究推進の問題点となっている。

一方、赤外線サーモグラフィは対象物から出る赤外線放射エネルギーを検出し、温度分布を画像表示して微小欠陥などの不連続性を検知できるもので、破壊力学や機器の進歩によって近年急速に発展している非破壊検査の手法である。しかしながら、赤外線サーモグラフィの歯科、ことに歯根破折への応用においては、脆性の高い歯根象牙質へ亀裂を人工的に付与できる、部分破折モデルが開発されていないこと、および有機質に富む象牙質での赤外線サーモグラフィの応用技術が未開発であることが大きな障害となっている。

そこで、簡便で精度の高い赤外線サーモグラフィによる破折検出手法を確立すれば、歯根破折の予兆となる損傷および部分破折を治療可能な段階で検知することによって歯根破折を防止することであり、さらに歯根破折の疑いがあるにもかかわらず、確定診断ができない不完全破折の診断・治療が可能になると予想された。

2. 研究の目的

本研究では、以下の点について検索することを目的とした。

- (1) 亀裂の停止したい部位に圧縮応力をかけながら亀裂を進展させることで、希望の部位に局限した予亀裂の導入が可能な、歯根の部分破折モデル作成法
- (2) 作成した歯根部分破折モデルの破折線から特異的な赤外線放射を放出させ、これをサーモグラフィにて測定、画像表示することで歯根部分破折を検出する方法

(3) 開発した方法を、赤外線サーモグラフィの測定条件、手技を変えて評価し、臨床応用可能な手法の検討

3. 研究の方法

(1) 歯根部分破折モデルの作成および赤外線サーモグラフィによる破折検出手法の検討

① 歯根根管壁への微小損傷 (破折起始点) の作成

ヒト抜去歯の歯髄を除去し、根管形成後、根管上部を規格ドリルにて漏斗状に拡大する。Er:YAG レーザー (現有設備: Erwin Adverl; モリタ) およびマイクロカッターにて、抜去歯根管内部に人工的な微小損傷を与え、亀裂の起始点とした。

② 根管壁に微小損傷を付与した試料を、締め具を持つ亀裂停止治具に取り付け、亀裂停止治具は亀裂を付与したい箇所には僅かなスペースを作っておき、亀裂を停止させたい箇所は逆に締め、圧縮把持力をかけた。

数種のテーパ付き圧子の中から適切なサイズを用いて、亀裂が発生するまで負荷を増

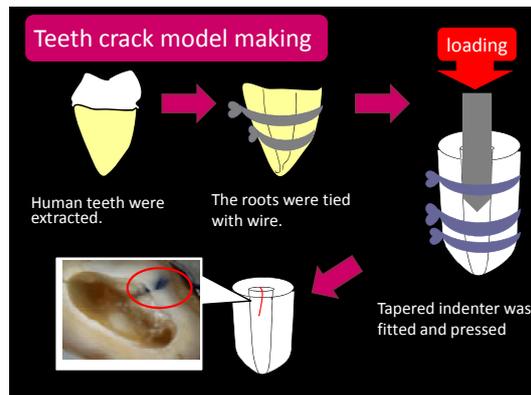


図1 歯根部分破折モデルの作成方法

加させた。荷重の増加に伴い、やがてスペースのある箇所への微小損傷部から亀裂が発生するものの、締め具にて圧縮把持力をかけられている部位では亀裂が停止し、ほぼ意図した部位に人工的に部分破折を導入した試料 (歯根破折モデル) を作成できた (図1)。

(2) 赤外線サーモグラフィによる部分破折の検出

作成した歯根破折モデルの破断面に微小の熱を与えた後、赤外線検出カメラ (TVM-7025U, 日本アビオニクス) にて不連続面である部分破折面からの赤外線放射の様相をサーモグラフィとして計測した。破折面から特異的な赤外線放射をさせるには、すでに広く用いられている照射器等の輻射熱を用いる方法の他、歯科での応用ということも考慮して、超音波、CO2 レーザーなどを用いる方法が候補となった。試行を重ねた結果、歯の部分破折面は不連続であるものの、相対する面がほとんど接触していると考えられ

るため、歯科用超音波治療器（スプラソン P-MAX, サテレック社製）を用い超音波を歯面に照射させ、破折面に微小振動を与え、生じる摩擦熱を計測する VibroIR 法が最も有効であることが判明し、この方法を採用した。

(3) 条件の絞り込み, 検出精度の検証

赤外線サーモグラフィによる部分破折検出に有効な手技の絞り込みのため、熱源の種類、計測環境（背面の条件）、計測条件（感度、計測距離）を変えて計測し、放出赤外線の影響をデジタル画像データとして記録した。

①適用可能な赤外線サーモグラフィの条件, 手技の絞り込み

歯科における歯根などの部分破折の検出法として適用可能な、赤外線サーモグラフィの条件, 手技を絞り込む。

②各種条件が赤外線サーモグラフィに及ぼす影響と検出精度の検証

絞り込まれた手技を用い、いくつかの試験条件を設定し、赤外線サーモグラフィへの影響を調べる。まず、超音波機器の作用部位、照射条件が赤外線サーモグラフィに及ぼす影響を、損傷部近接の根管内部、根上面（歯冠側）、歯根外側面のそれぞれを超音波作用部位として、照射の距離、角度、出力などを変化させ、破折面でのサーモグラフィの変化との関連を検討した。さらに、振動源として用いる歯科用超音波機器のチップ形態が、摩擦熱発生および計測条件に及ぼす影響について検討を行い、併せて赤外線サーモグラフィ計測時の空洞放射現象の影響について確認した。

③部分破折箇所の微細解析

試料のフラクトグラフィ、および微細構造解析を、走査型電子顕微鏡 (JSM9-840A, JOEL) で行い、付与した部分破折（予亀裂）の破断面内（深さ方向）の位置と形態を観察し、得られているサーモグラフィと比較する。

4. 研究成果

(1) 赤外線サーモグラフィによる部分破折の検出

歯科用超音波治療器（スプラソン P-MAX, サテレック社製）を用い、超音波機器出力 (w)、超音波負荷部位（角度）を変化させ、根管壁に微小振動を与えて、亀裂面に生じた摩擦熱を赤外線カメラ（Advanced Thermo TVS-500EX, 日本アビオニクス社製）で記録後、赤外線サーモグラフィ解析を行った。

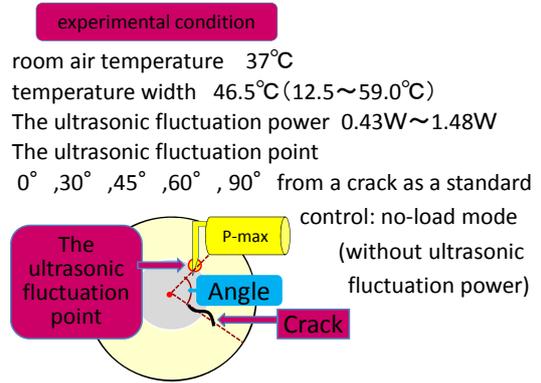


図2 歯科用超音波機器を使用した VibroIR 法

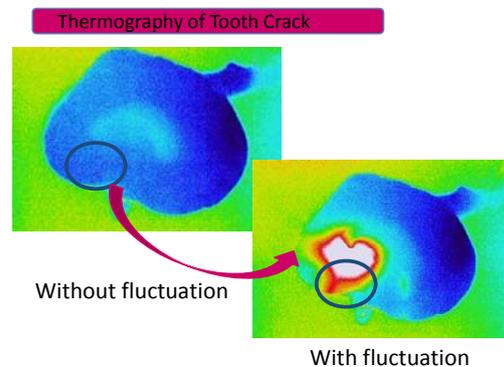


図3 超音波負荷の有無によるサーモグラフィによる歯根部分破折

(2) 各種条件による検出精度への影響、実験は室温 37°C で行い、超音波スケーラー出力を 0.43W~1.48W の範囲で変動させ、超音波負荷部位は亀裂を基準にして、0°, 30°, 45°, 60°, 90° の部位で、亀裂検出に要した時間をそれぞれ計測した。

超音波負荷部位が亀裂から 90° の位置になると、亀裂の検出は困難になった。60° 以下では角度の違いで検出時間に大きな差はなかった。

出力 0.63W 以下では検出に 10 秒以上を要し、0.43W ではほとんど検出不能となった。一方、0.89W 以上では、ほぼ 10 秒以下で亀裂の検出が可能であり、1.18W までは出力が上昇するにつれ、亀裂検出時間は短縮する傾向にあったが、出力が 1.18W を越えると、検出時間に大きな差はなくなった。

VibroIR 法を用いた摩擦熱を赤外線サーモグラフィによって計測することで、根管壁に生じた部分亀裂の検出が可能であった。また、

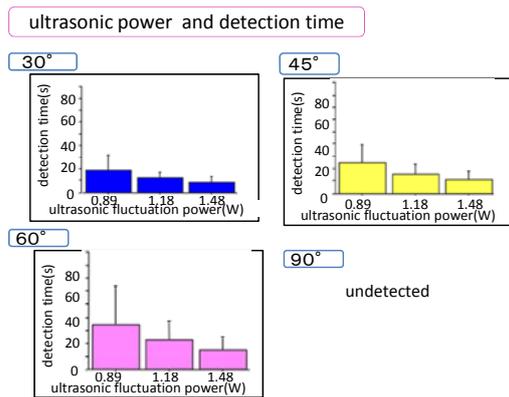


図4 負荷部位の検出力・時間への影響

出力は0.80~1.18Wの範囲で、直近の亀裂に60°以内とすることのできる根管3個所(120°毎)に10秒前後超音波を付加する条件が、臨床応用にむけて有望であることが示唆された。

ついで、振動源として用いる歯科用超音波機器のチップ形態が、摩擦熱発生および計測条件に及ぼす影響について検討を行い、併せて赤外線サーモグラフィ計測時の空洞放射現象の影響について確認した。歯科用超音波治療器(スプラソンP-MAX, サテレック社製)に4種のチップ(湾曲型チップ(URMペリオハードチップHY-1), 直線型チップ(B.R.DチップTK1-1L), スケーラーチップ(スプラソンチップ#10), クラウン撤去用チップ(スプラソンチップ#5)(いずれもサテレック社製))を取り付け、37°Cの環境下、出力(0.43W~1.48W)と超音波負荷部位(亀裂からの角度:0°, 30°, 45°, 60°, 90°)を変化させ、根管壁に微小振動を与えた(n=5)。亀裂面に生じた摩擦熱を赤外線カメラ(Advanced Thermo TVS-500EX, 日本アビオニクス社製)にて記録し、サーモグラフィ解析を行った。さらに、超音波負荷なしの状態でも同様のサーモグラフィ解析を行い、亀裂面からの赤外線放射が本計測に影響を与える空洞放射効果の有無を検証した。

径が小さく根管内に挿入可能な2種のチップ(湾曲型チップ, 直線型チップ)では、VibroIR法による根管壁部分亀裂の検出が可能であった。一方、径が大きく根管内に挿入が困難な2種のチップでは、亀裂の検出は容易ではなかった。直線型チップと湾曲型チップによる検出可能時間では、超音波負荷部位による差はあるものの、直線型の方が短い傾向が認められた。超音波負荷部位が亀裂から90°の位置では、どの条件でも今回の出力範囲では亀裂検出は困難であった。また、今回の試験条件の亀裂幅では空洞放射現象は計測に影響を与えないことが確認できた。

以上のことから、超音波機器のチップ形状、

径の大きさ、超音波負荷部位などが亀裂検出時間に影響を与えることが明らかになった。超音波負荷が、亀裂に近く、かつ根管壁との接触面積が大きい方が、検出を容易にできる可能性が高いことが示唆された。亀裂面に振動エネルギーを容易に伝達でき、効率よく摩擦熱を発生することができるためと考えられる。また、空洞放射現象は本研究での手法では計測に影響を与えないことが示された。

歯根破折部分の微細観察から実際の亀裂の走行に沿ってサーモグラフィによる検出ができることが示された。今後、本研究の成果をさらに発展させるべく、微小亀裂を含めた根管象牙質の欠陥の超微細構造の解析を行っていく予定である。

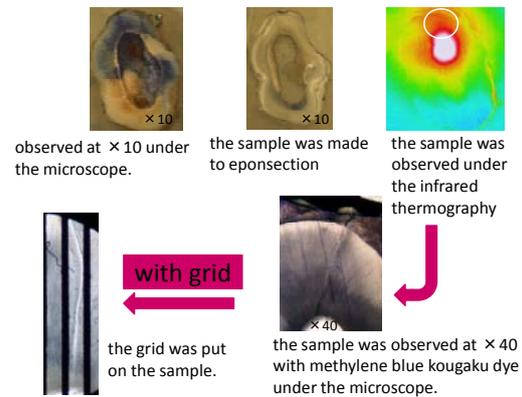


図5 歯根破折部位の微細観察例

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計6件)

1. Miura, J, Nakai H, Maeda Y, Zako M.: Multi-scale analysis of stress distribution in teeth under applied forces. *Dental Materials*, 25: 67-73, 2009, 査読有。
2. Yamamoto H, Iwami Y, Ebisu S, Nomachi M, Yasuda K, Sakai T, Kamiya T: Development of a system for measuring fluoride distribution in teeth using a nuclear reaction, *Int J PIXE*, 19: 91-102, 2009, 査読有。
3. 三浦治郎: 人歯象牙質とボンディング層界面のトモグラフィ観察, 阪大複合機能ナノファウンダリ研究成果報告書, 第3巻 109-110, 2009, 査読無。
4. Iwami Y, Hayashi N, Takeshige F, Ebisu S: Relationship between the color of carious dentin with varying lesion activity, and bacterial detection. *Journal of Dentistry*, 36: 143-151, 2008, 査読有。

5. Miura J, Maeda Y: Biomechanical model of incisor avulsion: a preliminary report. Dent Traumatology, 24:454-457, 2008, 査読有.

6. 三浦治郎: 超高压電子顕微鏡を用いた歯科修復材料と象牙質の接着界面微細構造観察, 阪大複合機能ナノファウンダリ研究成果報告書, 第2巻, 66-67, 2008, 査読無.

[学会発表] (計7件)

1. 徳川真美, 竹重文雄, 岩見行晃, 阪上隆英, 和泉遊似, 林美加子, 今里聡, 恵比須繁之: 赤外線サーモグラフィを用いた歯根破折診断法の開発—チップ形態の差異による摩擦熱発生条件についての検討—. 第131回日本歯科保存学会秋季学術大会, 2009, 10, 30, 仙台.

2. 三浦治郎, 長島 正, 竹重文雄, 森博太郎: マルチスケール解析を用いた歯の破折メカニズムの解明, 第131回日本歯科保存学会秋季学術大会, 2009, 10, 30, 仙台.

3. 三浦治郎, 長谷川紀昭, 竹重文雄, 鷹岡昭夫: 超高压電子線トモグラフィを用いた人歯長微細構造観察手法の開発, 第131回日本歯科保存学会秋季学術大会, 2009, 10, 30, 仙台

4. Tokugawa M, Takeshige F, Iwami Y, Sakagami T, Hayashi M, Imazato S, Ebisu S: A study on diagnostic method of root fracture with infrared thermography-condition of frictional heat generation-. 44th Meeting of the Continental European Division of the International Association for Dental Research, 2009, 9, 12, Munich, Germany.

5. 徳川真美, 竹重文雄, 岩見行晃, 阪上隆英, 林美加子, 今里聡, 恵比須繁之: 赤外線サーモグラフィを用いた歯根破折診断法の開発—摩擦熱発生条件についての検討—. 第129回日本歯科保存学会秋季学術大会, 2008, 11, 7, 富山.

6. 三浦治郎, 長谷川紀昭, 竹重文雄, 森博太郎: 超高压電子線トモグラフィを用いた人歯長微細構造観察手法の開発第129回日本歯科保存学会秋季学術大会, 2008, 11, 7, 富山.

7. Miura J, Hasegawa N, Mori H: Multi-scale analysis of stress distribution in teeth under applied forces. 86th International Association for Dental Research, 2008, 7, 4, Toronto, Canada.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹重 文雄 (TAKESHIGE FUMIO)

大阪大学・歯学部附属病院・教授

研究者番号: 60206969

(2) 研究分担者

岩見 行晃 (IWAMI YUKITERU)

大阪大学・大学院歯学研究科・助教

研究者番号: 90303982

阪上 隆英 (SAKAGAMI TAKAHIDE)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 50192589

(期間: 交付日~2008年3月31日)

長島 正 (NAGASHIMA TADASHI)

大阪大学・歯学部附属病院・准教授

研究者番号: 40237516

(期間: 2009年4月1日~2010年3月31日)

三浦 治郎 (MIURA JIRO)

大阪大学・歯学部附属病院・助教

研究者番号: 70437383

(期間: 2008年4月1日~2010年3月31日)

(3) 連携研究者

阪上 隆英 (SAKAGAMI TAKAHIDE)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 50192589

(期間: 2008年4月1日~2010年3月31日)

(4) 研究協力者

徳川 真美 (TOKUGAWA MANAMI)

大阪大学・大学院歯学研究科・大学院生