

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 18 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26462921

研究課題名（和文）個別別力学的シミュレーションに基づいた補綴装置デザインの最適化

研究課題名（英文）Optimization of the prosthesis design based on the individual simulation

研究代表者

田地 豪 (Taji, Tsuyoshi)

広島大学・医歯薬保健学研究院（歯）・准教授

研究者番号：80284214

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、歯や補綴装置の形態、咬合接触や咬合力などの口腔内情報を再現した3次元再構築画像を用い、力学的シミュレーションを応用することで評価を統合し、患者個別の補綴装置デザインの最適化を目指した。まず、咬合接触計測装置を開発し、咬合採得材を撮影することで、咬合接触部の厚さと面積を定量化できるようにし、これを咬合接触定量化システムとした。次に、3Dスキャナを用いて歯列モデルを計測することで得られた3次元歯列モデルに、咬合接触定量化システムで得られた咬合接触のデータを統合した。さらに、有限要素解析によって3次元歯列モデルに応力分布を表示させ、応力集中部位を考慮した補綴装置の設計が可能となった。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to acquire the most suitable dental prosthesis design for the individual treatment. At first, the occlusal contact measurement device was developed. The thickness and the area of the occlusal contact were quantified by photographing bite taking materials. In the next phase, the data of occlusal contact provided by an occlusal contact quantification system were integrated with the three-dimensional dentition model that was provided by measuring a dentition model using 3D scanner. In addition, the stress distribution was displayed in a three-dimensional dentition model by a finite-element analysis, and the design of the prosthesis in consideration of stress riser digit was enabled.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：咬合接触 咬合力 3次元歯列モデル 有限要素解析 補綴装置設計

1. 研究開始当初の背景

口腔内環境を長期にわたり維持するためには、力と炎症をコントロールすることが重要であるが、患者により口腔内環境は異なっているため、補綴装置を製作する際には、患者の咬合接触や歯槽骨の支持などを総合的に評価して設計する必要がある。これまでの補綴装置の設計は、歯科医師と歯科技工士の経験や感覚によるところが大きく、客観的評価は十分とは言えない。

近年、有限要素解析を用いた力学的解析の分野では、補綴装置のさまざまなパターンをコンピュータ上で解析し、最適な形状を提案する研究が行われている。例えば、ポストコアのポスト部の長さや太さを変えた複数のパターンを作成し、咬合力を付与することで、ポスト部と歯根における応力集中をシミュレーションし、最適なポスト部形状を提案している (Du ら 2011)。しかし、これらの研究の多くは、一般的なモデルを想定しており、患者個人を対象としているものは少ない。

これまでのわれわれの研究で、3次元モデルを高精細に作成することを可能にしたが (Kihara ら 2012, Ogawa ら 2011)、患者の咬合接触点や咬合力などの荷重条件を忠実に設定するには至っていない。通常、有限要素モデルへの荷重入力の手動であり、妥当性の高い設定とは言えず、多くの有限要素法を用いた応力解析の報告も学問的な咬合接触位置を手動で設定しているものがほとんどである (Hasegawa ら 2010, Li ら 2010, Eskitascioglu ら 2004)。

2. 研究の目的

医療の高度化や均質化が求められている現在、客観的な力学的解析を行い、その結果に基づいた補綴装置の最適設計を行うことは、補綴装置の質や予後の観点からも有意義であり、根拠に基づいた補綴装置のデザインに寄与するものと考えられる。歯科医療において、まったく同じ症例は存在しないため、補綴装置の最適設計を行うためには一般的なモデルではなく、患者個人の解剖学的形態・咬合接触・咬合力などを再現する必要がある。われわれは、高精度な咬合接触解析システムを開発し、個別の力学的シミュレーションを行うことで患者一人ひとりに最適な補綴装置を設計することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 咬合採得材を撮影することで咬合接触を計測する装置を開発した。さらに、咬合接触部の厚さと面積を定量化するための基準を作成することで、咬合接触定量化システムを確立した。

咬合接触計測装置は、CCD カメラと LED 光

源、咬合採得材を設置する撮影台、外部からの光を遮断する外枠から構成される。CCD カメラと LED 光源を装置内に固定し、コンピュータへ接続、専用ソフトウェアを用いて撮影を制御した。

咬合採得材は、オートミキシングタイプである Correct Quick Bite (Pentron Clinical 社製)、Blue Silicone (ジーシー社製)、Flexitime Bite (Heraeus Kulzer 社製)、Memoreg2 (Heraeus Kulzer 社製) の4種を使用した。写真画像の輝度値から咬合採得材の厚さの算出に必要なキャリブレーションカーブは、最薄部の厚さ 0~100 μm の範囲において 10 μm 間隔で製作した直径 10mm の半球体試料を咬合接触計測装置にて測定し、試料の厚さと輝度値の関係から算出される近似式の曲線とした。また、幅 5mm のチェッカーフラッグ柄を印刷したシートから 1 ピクセルあたりの面積を算出し、ピクセル数から咬合接触面積の換算を可能とした。さらに、咬合器に装着した歯列模型に対して咬合採得材を用いて咬合接触の記録を採り、本システムを用いて咬合接触評価を行い、本評価法と咬合紙を用いた咬合検査法との比較を行った。

(2) 3次元歯列モデルを構築し、それに咬合接触や咬合力の計測データを統合するシステムを確立した。また、3次元歯列モデルの位置関係再現について検討した。

対象は咬合器装着を行った上下顎右側歯列石膏模型とした。咬合接触状態のコントロールは、咬合採得材 (Correct Quick Bite, Pentron) を用いて咬頭嵌合位の咬合採得を行い、得られた記録体から透過法を用いて測定した咬合接触とした。歯列模型を3次元形状計測装置 (RexcanDS, Solutionix) で計測し、3次元歯列モデルを取得した。上下顎3次元歯列モデルの位置合わせ方法は、咬合状態で頬側から撮影した3次元画像を参照とする方法と、その歯列模型全体から歯冠部と歯肉部を抽出したモデルを参照とする方法、歯冠部のモデルを参照とする方法、臼歯歯冠部のモデルを参照とする方法の4パターンとした。3次元画像処理ソフトウェア (Rapidform2006, INUS Technology) を用いて、上下顎3次元歯列モデルを位置合わせした後、咬合面間距離を算出することにより 30 μm 、50 μm の距離を示す領域を抽出した。評価は繰り返し5回を行い、評価項目は咬合接触点数および咬合接触面積とした。

(3) 本システムを臨床に応用し、シミュレーションの妥当性を検証した。

4. 研究成果

(1) 図1に開発した咬合接触計測装置を示す。本装置は、カメラと光源、そして咬合採得材を設置するアクリル製の撮影台から構成される。カメラ-被写体間距離を一定とし、それぞれの位置関係を装置内で固定することにより、毎回安定した撮影を可能とする。撮影システムは外部からの光を遮断するために暗箱内に構築し、装置のサイズはチェアサイドに設置することを考慮する。カメラと光源はコンピュータへ接続し、撮影を制御する。

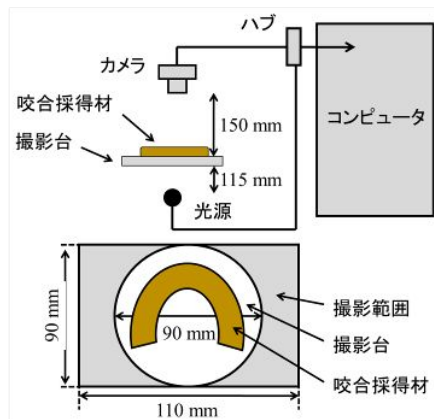


図1 咬合接触計測装置の構成

また、咬合採得材を撮影し、画像から咬合接触部の厚さと面積を定量化するため、システムの基準を作成した。厚さにおいては、校正基準として、まず、規定された大きさの球の陰型を製作し、次に、開発した計測装置によりその陰型を撮影し、グレースケール変換と二値化処理を行うことで、輝度値を厚さに変換する式を算出した。接触面積においては、一定の間隔の格子パターンを計測することで、面積算出のための基準を作成した。

3次元歯列モデルの位置関係再現について検討した結果、キャリブレーションカーブは Correct Quick Bite が $y = -5E-05x^3 + 0.0268x^2 - 4.8745x + 380$, Blue Silicone が $y = -0.0018x^2 - 0.014x + 113.98$, Flexitime Bite が $y = -0.0041x^2 + 0.6709x + 88.428$, Memoreg2 が $y = -0.0002x^3 + 0.1252x^2 - 24.31x + 1167$ (x : 写真画像の輝度値, y : 咬合採得材の厚さ) であり、歯列全体が撮影できる範囲でのピクセルサイズは 0.0877mm , 1ピクセルの面積は 0.00408mm^2 であった。これにより、咬合採得材の種類による咬合接触の検出精度が異なることが示唆された。本システムの開発により、一定の撮影条件下で異なる咬合採得材を簡便に撮影でき、咬合採得材を用いた咬合接触の定量化が可能となった。また、咬合紙を用いた評価法と比較した結果、本評価法は咬合接触状態をより詳細に観察可能であった。

(2) 3D スキャナ (RexcanDS) を用いて歯列モデルを計測し、咬合面形状データを取得することによって3次元歯列モデルを構築した。咬合接触定量化システムにて得た咬合接触

を示す画像の空間的位置を3次元歯列モデルに対して規定し、咬合接触を正しい位置に投影することで3次元歯列モデルに咬合接触のデータを統合した(図2)。これにより、咬合接触位置に力を自動的に設定できる有限要素モデルを構築することができた。



図2 3次元歯列モデルへの咬合データの統合

3次元歯列モデルの位置関係再現について検討した結果、咬合接触点数において、位置合わせ方法間に大きな差は認められなかったが、咬合接触面積においては、咬合面間距離 $30\ \mu\text{m}$ では透過法 $11.01\ \text{mm}^2$ に対し、位置合わせに用いた画像が歯列模型全体の場合 $11.67\ \text{mm}^2$, 歯冠部と歯肉部の場合 $12.16\ \text{mm}^2$, 歯冠部の場合 $14.67\ \text{mm}^2$, 臼歯歯冠部の場合 $16.10\ \text{mm}^2$ であり、歯冠部のモデル、臼歯歯冠部のモデルを参照とする方法は、面積が広がる傾向が認められた。このことから、上下顎3次元歯列モデルの重ね合わせ領域が小さいと、舌側咬頭が対合歯の方向にずれる可能性があり、重ね合わせ領域が大きいほど誤差が少なく上下顎歯列の位置関係の再現性が高いと考えられた。

(3) まず、CT画像データからモデリングソフトウェア (ZedView) を用いて3次元再構築画像を作製した。また、補綴装置の3次元モデルは患者の歯列模型を3Dスキャナで計測し作製した。次に、T-Scanと咬合採得材により得た咬合接触・咬合力のデータを患者の3次元モデルに統合し、有限要素解析の荷重条件として設定した。さらに、有限要素解析ソフトウェア (NEI Nastran) を用いて主応力、von Mises 応力を算出し、3次元モデルに応力分布を表示させた(図3)。表示された応力集中部位と、補綴装置の破損、歯根破折などの部位を比較し、シミュレーションの結果の妥当性を検証した。

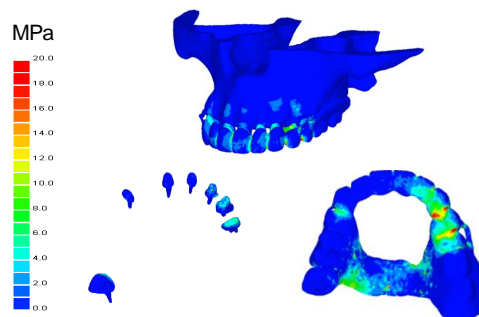


図3 3次元モデルの応力分布

本症例では、咬合による応力集中により築造体が破折した可能性が示唆され、補綴装置の設計に活かすことができると考えられた。

このように、歯科用 CAD/CAM システムのワークフローに口腔機能データを追加することにより、咬合による残存歯や補綴装置、歯槽骨などにかかる応力を事前にシミュレーションすることができ、長期機能維持が可能な補綴装置の設計を支援する情報になりうると考えられた(図4)。

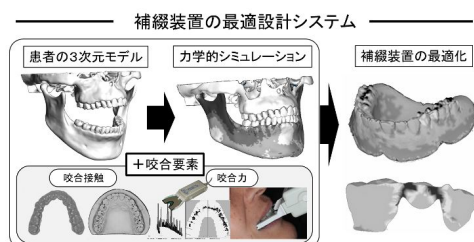


図4 本研究の概念

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 2 件)

Kihara Takuya, Yoshimi Yuki, Taji Tsuyoshi, Murayama Takeshi, Tanimoto Kotaro, Nikawa Hiroki, Accuracy of a three-dimensional dentition model digitized from an interocclusal record using a non-contact surface scanner, The European Journal of Orthodontics, 査読有, Vol.38, No.4, 2016, pp.435-439

木原琢也, 田地 豪, 二川浩樹, 歯科用 CAD/CAM システムの光学スキャナおよび cone-beam CT による三次元歯列形状計測の精度評価, 日本デジタル歯科学会誌, 査読有, Vol.5, No.1, 2015, pp.95-105

〔学会発表〕(計 8 件)

木原琢也, 藤川佳也, 井川知子, 田地 豪, 小川 匠, 二川浩樹, 上下顎歯列三次元モデルの位置関係再現についての検討, 第7回日本デジタル歯科学会学術大会, 28-29 May, 2016, 北海道立道民活動センター(北海道・札幌市)

平井健太郎, 伊藤光彦, 木原琢也, 井川知子, 重田優子, 安藤栄里子, 平林里大, 平井真也, 小久保裕司, 川村 昇, 小川 匠, デジタル情報を用いた咬合の再現 - 口腔内スキャナーと模型スキャナーの精度について -, 平成 27 年度公益社団法人日本補綴歯科学会西関東・東関東合同学術大会, 10 Jan, 2016, パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)

藤川佳也, 木原琢也, 田地 豪, 河原和子, 三村純代, 首藤崇裕, 二川浩樹, 咬合記録体の三次元形状データによる上下顎歯列形態再現システム, 第 54 回広島県歯科医学会第 99 回広島大学歯学会日本歯科技工学会中

国・四国支部第 10 回学術大会, 8 Nov, 2015, 広島県歯科医師会館(広島県・広島市)

藤川佳也, 木原琢也, 祇園紫水佳, 兒玉瑞希, 田地 豪, 首藤崇裕, 二川浩樹, 咬合採得材の三次元モデルを用いた歯列形態再現システムの構築, 日本歯科技工学会第 37 回学術大会, 17-18 Oct, 2015, アクロス福岡(福岡県・福岡市)

木原琢也, 井川知子, 重田優子, 平林里大, 平井真也, 平井健太郎, 濱本有美, 藤川佳也, 田地 豪, 小川 匠, 二川浩樹, シリコーン印象材を用いた咬合接触の定量的評価, 平成 27 年度日本補綴歯科学会中国四国支部学術大会, 5-6 Sep, 2015, くにびきメッセ(島根県・松江市)

木原琢也, 田地 豪, 河原和子, 三村純代, 首藤崇裕, 二川浩樹, 光学スキャナおよび cone-beam CT による三次元歯列形状計測の精度評価, 第 124 回日本補綴歯科学会学術大会, 30-31 May, 2015, 大宮ソニックシティ(埼玉県・さいたま市)

木原琢也, 井川知子, 平井真也, 田地 豪, 小川 匠, 二川浩樹, 透過法を用いた咬合接触定量化システムの開発, 第 6 回日本デジタル歯科学会学術大会, 25-26 Apr, 2015, 福岡国際会議場(福岡県・福岡市)

大藤和美, 木原琢也, 田地 豪, 河原和子, 三村純代, 二川浩樹, 歯科用 CAD/CAM システム Trophy のスキャニングに関する基礎的検討, 第 53 回広島県歯科医学会第 98 回広島大学歯学会日本歯科技工学会中国・四国支部第 9 回学術大会, 9 Nov, 2014, 広島県歯科医師会館(広島県・広島市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田地 豪 (TAJI, Tsuyoshi)

広島大学・医歯薬保健学研究院(歯)・准教授

研究者番号: 80284214

(2) 研究分担者

二川 浩樹 (NIKAWA, Hiroki)

広島大学・医歯薬保健学研究院(歯)・教授

研究者番号: 10228140

小川 匠 (OGAWA, Takumi)

鶴見大学・歯学部・教授

研究者番号: 20267537

(3) 連携研究者

平井 真也 (HIRAI, Shinya)

鶴見大学・歯学部・助教

研究者番号: 20339815

井川 知子 (IKAWA, Tomoko)

鶴見大学・歯学部・助教

研究者番号: 70552389

(4)研究協力者

木原 琢也 (KIHARA, Takuya)