

令和 2 年 5 月 8 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K11752

研究課題名（和文）口腔機能データを補綴装置の設計に応用するCAD/CAMシステムの構築

研究課題名（英文）Construction of CAD/CAM system applied to prosthesis design of oral function

研究代表者

田地 豪 (Taji, Tsuyoshi)

広島大学・医系科学研究科（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） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、構造力学的解析を通じた信頼性の高い補綴装置の製作のために、歯・顎骨・歯周組織を正確に再現した解剖学的形態データに、咬合接触・咬合力の口腔機能データを統合することで評価を行い、最適化した補綴装置をデジタルデータから加工製作する歯科用CAD/CAMシステムの構築を目指した。まず、生体硬組織・軟組織を再現した高精度3次元有限要素モデルを構築した。次に、歯列形態データと口腔機能データの統合手法を確立した。さらに、構造力学的シミュレーションを用いた補綴装置の設計・製作ワークフローを検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、高精度な咬合接触解析システムを開発し、個別別の力学的シミュレーションを可能とすることで患者それぞれに適応した補綴装置の設計システムを考えた。有限要素解析を用いた構造力学的解析による補綴装置の予後予測は、ブリッジのフレーム形態の設計や長期使用に耐える歯科材料の選択など、現在の臨床に影響を及ぼす有意義な研究として位置づけられる。最適化した補綴装置が長期にわたり口腔内で機能することに貢献できるものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to build dental CAD/CAM system to process the prosthesis which was optimized from digital data. At first, the high-precision three-dimensional finite element model which reproduced hard tissue and a soft tissue was built. In the next phase, the integration technique of dentition form data and oral function data was established. In addition, the workflow of design and production of the prosthesis using simulation of the structural mechanics was considered.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：口腔機能 補綴装置 CAD/CAM

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

健康長寿社会を目指すため、補綴装置による口腔機能の回復および長期維持は患者の生活の質(QOL)に大きく関わる重要な要件のひとつである。患者により口腔内環境は異なっているため、長期機能維持が可能な補綴装置は、患者の歯や歯列の形態、欠損様式などの歯列石膏模型から得られる情報だけでなく、咀嚼やパラファンクション等による咬合接触や歯槽骨の支持、歯の動揺や顎関節への負担などを総合的に評価することで設計される必要がある。しかしながら、現在臨床で行われている補綴装置の設計は、歯科医師や歯科技工士の知識や技術、経験に委ねられていることが多く、客観的評価を十分に行った上での設計はなされていない。

このような補綴装置設計の現状に対して、ブリッジやインプラント、パーシャルデンチャーなどの規格された補綴装置の有限要素解析を利用した研究が行われている。有限要素解析を用いた構造力学的解析による補綴装置の予後予測は、ブリッジのフレーム形態の設計や長期使用に耐える歯科材料の選択など、現在の臨床に大きな影響を与える有意義な研究として位置づけられる。しかしながら、これらの研究では一般的なモデルを想定している解析が多く、実際に臨床現場で治療する際には、歯の解剖学的形態、歯槽骨の状態、口腔機能が患者により大きく異なるため、それらのデータが個々の患者に必ずしも適応するとは限らない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高精度な咬合接触解析システムを開発し、個別別の力学的シミュレーションを可能とすることで患者ひとりひとりに適応した補綴装置の最適化設計システムを構築することにある。

3. 研究の方法

(1) 生体硬組織・軟組織を再現した高精度3次元有限要素モデルの構築：患者の歯や顎骨に加え、歯周組織や歯肉、骨密度や歯髄などの生体の硬組織・軟組織情報を統合した有限要素モデルを作成する。

(2) 歯列形態データと口腔機能データの統合手法の確立：口腔機能を構造力学的シミュレーションに反映するため、咬合接触や咬合力のデータをデジタル化し、歯列形態データに統合する。

(3) 構造力学的シミュレーションを用いた補綴装置の設計・製作ワークフローの確立：有限要素解析を応用してCADによる補綴装置を設計し、歯科用CAD/CAMシステムを用いて補綴装置を製作、検証する。

4. 研究成果

(1) 生体硬組織・軟組織を再現した高精度3次元有限要素モデルの構築

生体硬組織・軟組織モデルの生成

歯列と歯肉形態は、患者の歯列を口腔内スキャナ(Trophy)を用いてダイレクトに3次元モデルを取得、もしくは歯列模型を3次元スキャナー(RexcanDS)を用いて取得した。骨形態と筋走行は、CT画像データから3次元再構築ソフトウェア(Mimics)を用いて3次元モデルを作成した。骨密度に関してはCT値よりMischの分類を用いて5段階の密度に分類したモデルを構築した。また、歯周病や骨隆起など咬合が原因で発生すると考えられる病態や補綴装置の設計に影響を与える因子を組み込んだ病態モデルの作成を行った。

有限要素モデルへの変換

得られた3次元モデルを3次元データ処理ソフト(Rapidform2006)によりポリゴン編集を行い、要素分割ソフト(MedicalSTL)を用いて力学的シミュレーションが可能な有限要素モデルへの変換を行った(図1)。

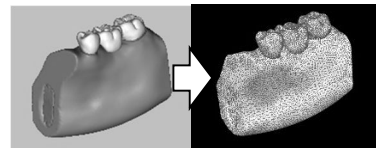


図1 3次元モデルの要素分割

(2) 歯列形態データと口腔機能データの統合手法の確立

口腔機能データ(咬合接触・咬合力)の計測

咬合接触状態は、開発した咬合接触解析装置を用いて、咬合採得材により得られた穿孔部位を解析しデジタル化した。咬合力は、動的咬合力をデジタル化するため圧力分布測定システムを用いた。

3次元モデルへの咬合データの統合

得られた咬合接触状態のデジタルデータを歯列咬合面形態の3次元モデルに対して位置を規定し、咬合接触を投影することで3次元歯列モデルに咬合接触のデータを統合した(図2)。また、咬合接触部位に関しては3次元歯列モデルの咬合面間距離を計算することによっても3次元モデル上に再現し、位置合わせ精度の検証を行った。

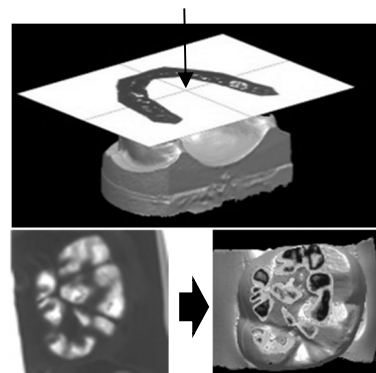


図2 咬合データの統合

(3) 構造力学的シミュレーションを用いた補綴装置の設計・製作ワークフローの確立

設計した補綴装置に対する有限要素解析

この手法を用いて患者個別の3次元有限要素モデルを作成した。まず、CT画像データからモデリングソフトウェアを用いて3次元再構築画像を製作した。また、補綴装置の3次元モデルは患者の歯列模型を3Dスキャナで計測し製作した。次に、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。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。

歯科用 CAD/CAM システムを用いた補綴装置の製作・評価

切削加工機を用いて設計した補綴装置を製作した。クラウンやブリッジの場合はハイブリッドレジン、デンチャーフレームワークなどの場合はワックスや半焼結性ジルコニアでの製作とした。実体実験として精密万能試験機を用いた破壊試験や疲労試験を通じて現実世界での破壊様相などを評価した(図4)。

歯科用 CAD/CAM システムを用いて製作したクラウンの支台歯形態に関する応力解析

対象は上顎右側第一小臼歯とした。歯冠と支台歯の形状は市販複製模型を非接触式三次元計測装置により計測し、支台歯モデルは三次元モデリングソフトウェアで CAD/CAM 冠における支台歯形成を参考にし、咬合面のクリアランスを 1.5-2.0 mm 以上、軸面の厚みを 1.0-1.5 mm 確保した形状(SP)、そのモデルより咬合面隅角を丸めた形状(CP)、咬合面を平坦にした形状(FP)の3パターンの支台歯形状を製作した。また、それぞれのパターンに対して、セメントモデルとクラウンモデルを製作した。有限要素法では、モデルを要素分割し、荷重条件は咬合接触部位である近遠心辺縁隆線と遠心辺縁隆線に 50 N の2条件とし、拘束条件は支台歯モデルの基底面を完全固定として線形静解析を行った。破折実験では、実際に CAD/CAM 冠と支台歯を CAD/CAM システムを用いて製作し、クラウンの近遠心面、頬舌側面の歯頸部側にひずみゲージを貼付し、精密万能試験機を用いてクラウンの破折試験を行った。なお、試験条件は遠心咬合接触部位への垂直荷重でクロスヘッドスピードは 0.5 mm/min とした。

有限要素解析の結果、主に引張応力を示す最大主応力は近遠心辺縁隆線荷重の場合、咬合面の荷重部位から近遠心側にかけて応力集中が認められた。遠心辺縁隆線荷重の場合、咬合面の荷重部位から遠心にかけての部位と近心側歯頸部に応力集中が認められた。支台歯形状による著しい応力分布の違いは認められなかった(図5)。

破折試験の結果、ひずみゲージからは、遠心側歯頸部に最も大きいひずみが認められた。有限要素解析による応力集中部位とクラウンの破折位置は類似する傾向であり、in silico による解析は、現実を設定限界の中で再現していると考えられた(図6)。

以上のことから、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、長期にわたって機能の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。

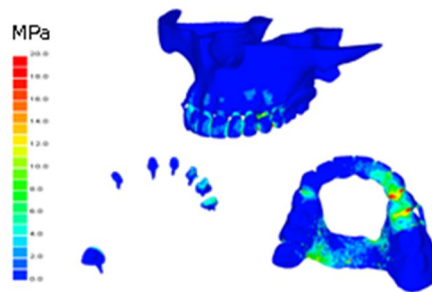


図3 3次元モデルの応力分布

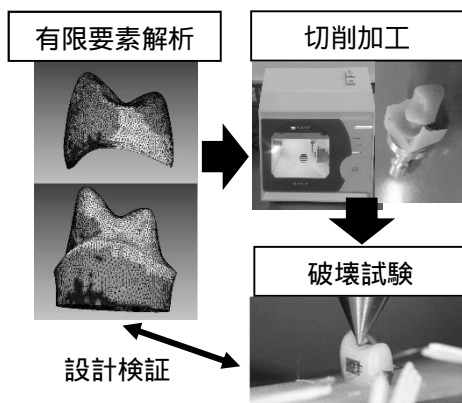


図4 歯科用 CAD/CAM システムによる補綴装置製作と設計検証

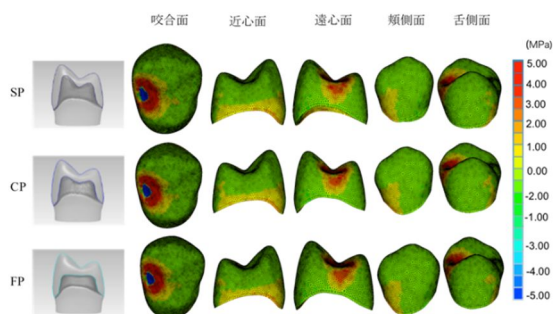


図5 遠心辺縁隆線荷重時の最大主応力分布図

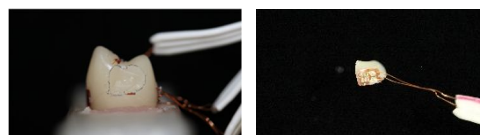


図6 破折試験後の CAD/CAM 冠
(左: 破折様相 右: 破折片)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 T. Kihara, Y. Kaihara, S. Iwamae, N. Niizato, S. Gion, T. Taji, K. Kozai, H. Nikawa	4. 巻 18
2. 論文標題 Three-dimensional longitudinal changes of maxilla and mandible morphology during the pre dental period	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 European Journal of Paediatric Dentistry	6. 最初と最後の頁 139-144
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 木原琢也、二川浩樹	4. 巻 43
2. 論文標題 生体デジタルデータの臨床での応用	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 QDT	6. 最初と最後の頁 258-269
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 神田まりか、木原琢也、藤川佳也、三村純代、首藤崇裕、笹原妃佐子、熊谷 宏、佐々木正和、田地 豪、二川浩樹
2. 発表標題 歯科用CAD/CAMシステムを用いて作製したクラウンの支台歯形態に関する応力解析
3. 学会等名 平成29年度日本補綴歯科学会中国四国支部学術大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	二川 浩樹 (Nikawa Hiroki) (10228140)	広島大学・医系科学研究科(歯)・教授 (15401)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	小川 匠 (Ogawa Takumi) (20267537)	鶴見大学・歯学部・教授 (32710)	
研究 分担者	井川 知子 (Ikawa Tomoko) (70552389)	鶴見大学・歯学部・助教 (32710)	
研究 分担者	木原 琢也 (Kihara Takuya) (50796399)	鶴見大学・歯学部・学部助手 (32710)	