

論文内容要旨

患者固有データを用いた
シミュレーションモデルの構築
—有限要素法による形態的・力学的咬合解析—

統合健康科学部門口腔生物工学

(主指導教員：二川 浩樹 教授)

統合健康科学部門生体構造・機能修復学

(副指導教員：里田 隆博 教授)

統合健康科学部門医療システム・生体材料工学

(副指導教員：村山 長 教授)

木原 琢也

論文内容要旨

論文題目

患者固有データを用いたシミュレーションモデルの構築
—有限要素法による形態的・力学的咬合解析—

学位申請者 木原 琢也

【目的】

歯科治療において補綴装置の設計や装着した補綴装置の予後は患者の QOL に大きく関わる重要な要件の 1 つである。その中でも有限要素解析を用いた補綴装置の予後予測は、ブリッジのフレーム形態や長期使用に耐える歯科材料など、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付けられる。しかし、臨床現場で治療する際には、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ず、咬合面形態および咬合接触部位・面積、咬合力の設定によって解析結果が異なることが知られている。また、歯科治療についても、それぞれの患者に対してカスタムメイドで行われることから、その多様性が高くなっている。そのため、個々の患者の予後をより正確に推定するためには、構造学的要件、材料学的要件、力学的要件、生物学的要件などが総括されなければならない。

そこで本研究では、個々の患者に対応する補綴装置の予後予測を目的とし、患者固有の咬合要素を正確に再現した応力解析を行うため、歯列の形態、咬合接触、咬合力を統合した有限要素モデルの構築を行った。

【方法】

基礎実験により精度を算出するため、咬合器に装着した歯列石膏模型を用いた。歯列の形態データとしては研究用模型をスキャンして得られたサーフェースモデル、咬合接触はシリコーン材料による咬合採得から透過法により抽出した咬合接触部位、咬合力は T-ScanIII（ニッタ）の測定による咬合力データを用いた。これらの情報を統合した有限要素モデルを作製するため、まず咬合接触部位と咬合力の統合、次に咬合接触を歯列の形態データに統合した。

咬合接触部位と咬合力の統合は、シリコーンバイトの透過光画像と T-ScanIII から得た咬合力分布画像のレジストレーションにより行う。しかし、T-ScanIII の咬合力分布画像は歯列形態を再現しておらず、この 2 枚の画像を直接レジストレーションすることは困難である。そのため、T-ScanIII のセンサシート上にシリコーンラバー印象材を射出し、咬合させ、得られた歯列形態をレジストレーションに用いた。シリコーンラバー印象材は Correct Quick Bite（Pentron Clinical）と Memoreg2（Heraeus Kulzer）を用い、透過法により咬合接触部位を抽出した。これにより、T-ScanIII で取得した咬合力分布からノイズを除去し、咬合接触部位における咬合力の算出を行った。また、直径 10 mm のスチール球を付与した上顎歯列模型を用い、咬合接触部位と咬合力の統合手法を用いて球の接触部位と反応部位のレジストレーションを行うことで精度の検証とした。

咬合接触部位と歯列形態の統合は、歯列模型の三次元モデルを基準として咬合接触を抽出した透過光

画像のスケールと位置関係を規定し、透過光画像を歯列模型の三次元モデルに投射することにより行った。咬合接触部位と歯列形態の統合手法による立体的な咬合接触の再現性を検証するため、咬合採得したシリコンラバー印象材の高精度三次元モデルから得た咬合接触状態をコントロールとし、比較を行った。咬合接触の対象部位は上顎左右側第一大臼歯とし、検討項目は過去の報告を参考に咬合接触面積、咬合接触面積のオーバーラップ率、咬合接触部の重心の3項目とした。

【結果】

T-ScanIIIとシリコンラバー印象材を併用することにより、咬合接触部位と咬合力の統合が可能となった。また、センサシートに Memoreg2 を介在した状態の咬合力分布は Correct Quick Bite に比較し、センサシートのみ咬合力分布に近似していることが示唆された。精度検証を行った結果、咬合接触部位と咬合力の統合精度は 0.36 ± 0.25 mm であった。本研究により T-ScanIII を用いて記録した咬合力分布データからノイズを除去し、有限要素モデルに負荷する咬合接触部位の咬合力のみを抽出することが可能となった。

解剖学的形態を正確に再現した歯列三次元モデルに対し、透過法により抽出した咬合接触部位の統合を行い、咬合力を荷重として設定できるモデルの構築が可能となった。咬合接触部位と歯列形態の統合により再現された咬合接触は、コントロールと比較した結果、その面積差は 0.30 ± 0.45 mm²、オーバーラップ率は $75.2 \pm 14.1\%$ 、重心のずれは 0.25 ± 0.10 mm であった。

【結論】

本研究により、歯列の形態、咬合接触、咬合力を統合した有限要素モデルの構築が高精度に可能となった。従来、咬合接触や咬合力に関しては学問的・平均的咬合が有限要素解析に用いられていたが、本手法を用いることで、患者固有の咬合状態を再現した応力解析が可能となり、補綴治療の予後予測による長期使用に耐える歯科材料の選択や、補綴装置設計の最適化に利用できる可能性が示唆された。