

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K20422

研究課題名(和文)非線形・動的FEAに基づく歯科インプラントの生体力学的検討

研究課題名(英文)Biomechanical study of the dental implant based on non-linear dynamic FEA.

研究代表者

水戸 武彦(MITO, TAKEHIKO)

東北大学・医工学研究科・非常勤講師

研究者番号：40734281

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、歯科インプラント周囲に荷重ベクトルを反映した応力分布が認められた。また、両者とも相当応力のコンター図、及び各歯科インプラント周囲骨の相当応力の最大値はほぼ同様の傾向を示し、解析時間分割の違いによる優位な差分は認めなかった。本研究において、歯科インプラント周囲骨に係る応力値及び分布は、荷重量・方向の影響を受けていたことから、歯科インプラント周囲骨における力学挙動を考慮した場合には、咬合力などの大きさと方向を考慮する必要があることが示唆された。ひずみ速度を含む未実装の変数を当該解析モデルに適応することで、各種の継時的な荷重タスクの差分に影響する可能性があり更に検討すべき余地がある。

研究成果の概要(英文)：In this study, the stress distribution that reflected a load vector around a dental implant was accepted. In addition, the maximum of the equivalency stress of figure of the stress contour and each dental implant surrounding bone considerably showed an approximately similar tendency with both, and the dominant difference share by the difference did not admit at analysis time. When it considered the dynamics behavior in the dental implant surrounding bone because the stress level to affect dental implant surrounding bone and the distribution were affected by load quantity, the direction in this study, it was suggested that it was necessary to consider volumes and directions such as the biting force. There are fixed possibilities to influence the difference share of the load task that is various continues by indicating an unpopulated variable including the distortion speed for the analysis model concerned.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：有限要素解析 歯科インプラント

1. 研究開始当初の背景

歯科インプラントの長期経過においては、歯科インプラントの喪失、辺縁骨の吸収、歯科インプラント周囲軟組織に関する偶発症、及び補綴の偶発症などの臨床的偶発症が問題とされている。これらの予防には歯科インプラント周囲における感染制御に加えて、機能時の荷重を負担する歯科インプラントおよび周囲骨における「動的力学挙動の制御」が重要となる。

様々な臨床的偶発症の中でも、アバットメント連結部の破折やスクリーウの緩みなどの補綴的偶発症は生体力学的問題により発生すると考えられている。すなわち、歯科インプラント体やスクリーウの構成材料における衝撃・疲労などによる破断や界面における反復摩擦がその原因である。これらの臨床的問題を解決するためには、チタン等の構成材料の長期的機能下における降伏現象・塑性変形・破断や摩擦などの非線形力学挙動を考慮する必要がある。

また、Wolff の法則が示すように、力学的負荷は骨リモデリング現象に影響を与える。歯科インプラント長期経過に影響を与える骨リモデリング現象は、骨内に発生する応力や歪みなどの力学的挙動の影響を受ける。また、歯科インプラントに加わる過荷重が周囲骨における細胞反応に影響を及ぼし、メカノバイオロジカルな骨リモデリング現象の結果として骨の吸収を惹起することが報告されている。

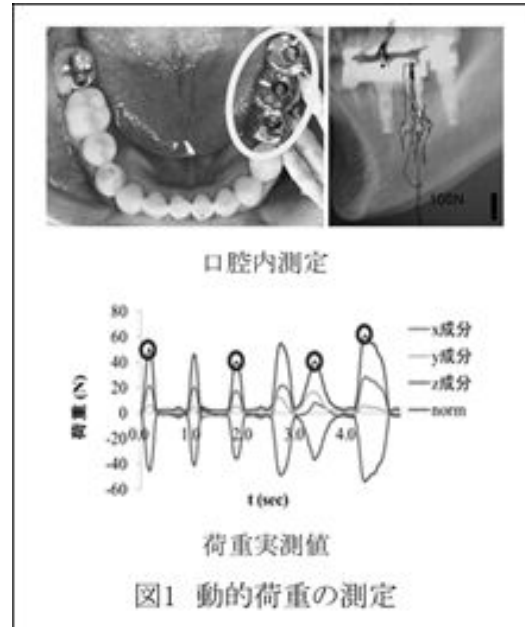
これまでに、光弾性模型を用いた研究や有限要素解析(以下 FEA)を用いた研究によって歯科インプラントにおける力学的挙動の解明が進んでいるが、その多くが静的力学挙動を対象としており、構造物の材料非線形性および動力学的挙動を取り入れた解析は未だ報告が無い。

力学的挙動は機能時に加わる咬合力などの動的荷重の影響を受けるが、現存する研究報告は静的荷重条件が設定されたものが大半である。しかしながら、当研究室の先行研究においても明らかのように、歯科インプラント機能時の荷重は加速を伴ってピークに達し、緩やかに減衰するシーケンスからなる「動的荷重」である(図1)。従来の手法における静的荷重条件は、時系列上のある時点での荷重ベクトルを入力しているに過ぎず、生体内における機能時の荷重様相の再現性は不十分である。

さらに、歯科インプラントコンポーネントや周囲骨など FE モデルを構成する構造物は応力と歪みの関係が非線形となる「材料非線形性」を有していることが知られている。臨床的に問題となる歯科インプラントコンポーネントの緩み・破折などの補綴的偶発症、周囲骨リモデリングに影響が大きいとされるマイクロフラクチャーは非線形領域における構造物の挙動である。

しかしながら、これまでの FEA 研究に於

いては、これら「動的荷重」と「材料非線形性」の双方を解析条件として設定するまでには至っていない。これは、生体内における詳細な動的荷重データの不足、FE モデル構築における非線形材料特性の設定が困難であることに起因している。このような背景から、申請者は非線形・動的有限要素解析を着想するに至った。



2. 研究の目的

本研究は、これまでの研究成果を進展させ患者口腔内環境における歯科インプラント機能時の非線形・動的力学挙動を解明し得る解析システムを構築することを目的とする。本システムは、従来の線形・静的有限要素解析の単純化誤差を追求することにより、妥当性の高いシミュレーションへと繋げる点で発展的かつ独創的である。

この解析システムの応用により、生体内で生じる詳細な応力値・歪みなどの力学挙動の把握が可能となり、臨床的に問題とされている歯科インプラントコンポーネントの破折・緩みなどの予測や、骨内マイクロフラクチャーの再現が可能となる。

本研究の推進は、臨床的偶発症の予防や周囲骨の長期経過の予測などを実現し得る診療支援システムへと繋がる可能性を有している。すなわち、現在の解剖学的条件のみに基づいた歯科インプラント設計から、生体力学的根拠に基づいた歯科インプラント治療ガイドラインへのパラダイム・シフトに資する異分野融合型の臨床研究である。

3. 研究の方法

平成 27 年度に申請者は、本研究に係る成果として非線形・動的有限要素モデルの作製を行っている。当該モデルに用いた被験者は、口腔内に歯科インプラントを有する被験者であり、口腔内情報と CT データから材料非線形性を反映した非線形・動的有限要素モデ

ルを作製した。以下に、モデル作製の詳細を示す(図2)。



図2 生体内荷重測定とFEA応力解析システム

(1)幾何形状

被験者 CT データを基に、骨の材料不均質性を再現したモデル幾何形状を作製した。歯科インプラント形状は、CAD ソフトウェア (SOLIDWORKS2012, ソリッドワークスジャパン, 日本)を用いて作成し歯科インプラント形状をモデル上に再現した。

(2)材料特性

骨内部を CT 画像における HU(Hounsfield unit)に基づく骨密度分布から材料特性およびポアソン比を設定することにより、顎骨内の材料特性の不均質性を再現した。材料特性は Keyak の関係式、またポアソン比は南澤氏の報告に基づく関係式を用いた。歯科インプラントモデルは、純チタン製で等方性とした。

(3)荷重条件

入力荷重は、当研究室の依田(大学院歯学研究科)らにより開発された三次元的リアルタイム測定システムにより計測された動的荷重データを用いた。対象とする測定タスクは、最大咬みしめ時(MVC時)の三次元的な生体荷重データを用い、解析時間を10区間に分割し解析を行った。区間分割は、総解析時間を等間隔に分割、及び荷重量変化の大きい領域を詳細に分割して設定した。咀嚼時に加わる荷重は、咀嚼の速度によって影響を受けるため、咀嚼回数を重ねることで1回あたりの荷重量が増加することが知られている。つまり、顎骨の生体応答として歪みや応力発現が歯科インプラント機能時の動的荷重条件を入力することで、静的荷重条件と動的荷重条件の設定の違いにより生じる力学挙動の違いを明らかにするものである。

(4)拘束条件

境界条件は、下顎枝後方の上面後方の小領域を6自由度すべて完全拘束した。歯科インプラント骨界面は、全周においてオッセointegrationsが得られていることを想定して完全固着とした。

(5)解析

有限要素解析ソフト(MECHANICAL FINDER

Limited Edition, RCCM, 日本)を用いて解析を行った。

4. 研究成果

相当応力コンター図から、総解析時間を等間隔に分割した解析、及び荷重量変化の大きい領域を詳細に分割して設定した解析の両者ともに荷重ベクトルを反映した応力分布が歯科インプラント周囲に認められた。また、両者とも相当応力のコンター図、及び各歯科インプラント周囲骨の相当応力の最大値はほぼ同様の傾向を示し、解析時間分割の違いによる優位な差分は認めなかった。また、本研究の主旨であった経時的に変化する荷重条件を設定した動的解析を用いた手法の結果と従来法である静的解析を用いた手法の結果においても優位な差分は認めなかった。(図3)

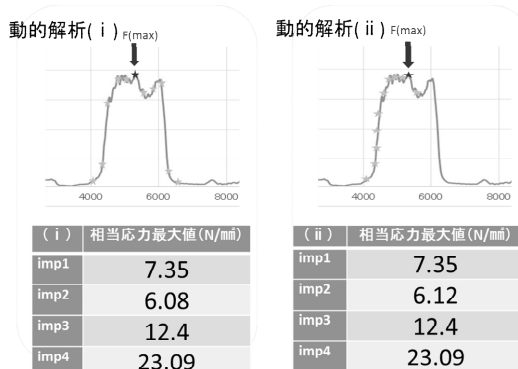


図3 各タスクにおける相当応力最大値

本研究において、歯科インプラント周囲骨に係る応力値及び分布は、荷重量・方向の影響を受けていたことから、歯科インプラント周囲骨における力学挙動を考慮した場合には、咬合力などの大きさと方向を考慮する必要があることが示唆された。

また、荷重条件の設定の差によって、最大咬みしめ時における骨内応力分布および相当応力最大値に大きな差分を認めなかった。これは、生体の適応性により、生体内において発生する荷重量・荷重増加率が、顎骨の動的力学挙動に影響を及ぼさないことを示唆している。つまり本研究は、荷重タスクを単純化する妥当性を支持する結果となった。しかしながら、骨の弾性率は組織の粘弾性や慣性の影響を受け、歪み速度の増加に伴い変化すること示す基礎研究などが知られている。Kellerらは、降伏応力及び最大応力などの変数を材料係数に反映させ、非線形領域をより詳細に再現した報告を行ない、顎骨が有する粘弾性や材料塑性などについて検討する必要があるとしている。ひずみ速度を含む未実装の変数を当該解析モデルに適用することで、各種の継時的な荷重タスクの差分に影響する可能性があり更に検討すべき余地がある。

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)

〔学会発表〕(計 4 件)

1. Sato E, Mito T, Shigemitsu R, Yoda N, Sasaki K A comparable FEA study of implant supported prosthesis design. The 11th International Workshop on Biomaterials in Interface Science 2016/8/30-31 Tohoku University Graduate School of Dentistry (仙台)
2. Sato E, Mito T, Shigemitsu R, Sasaki K The influence of superstructure design on implant-supported FPDs. The 6th International Symposium for Interface Oral Health Science 2016/1/18-19 Gonryo Kaikan(仙台)
3. Sato E, Mito T, Shigemitsu R, Sasaki K The influence of superstructure design on implant-supported FPDs using FEA study. The 4th Denal Implantology and Biomaterial Academic Symposium in West Coast of Taiwan Straits The 3rd Sino - Japan Dental Science Symposium 2015/11/24-25 Fuzhou Hotel(China)
4. 佐藤愛美加、赤間豊、重光竜二、水戸武彦、佐々木啓一 有限要素法を用いた固定性歯科インプラント補綴における支台歯科インプラント本数の影響に関する検討 第3回 MECHANICAL FINDER ユーザー研究会 2015/7/11 グランパークプラザ(東京)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

水戸 武彦(MITO, TAKEHIKO)
東北大学・医工学研究科・非常勤講師
研究者番号：40734281

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

()