

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 25 日現在

機関番号：33902

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24592974

研究課題名(和文)インプラント埋入荷重の動解析

研究課題名(英文)Dynamic stress analysis of an implant insertion.

研究代表者

尾澤 昌悟(Ozawa, Shogo)

愛知学院大学・歯学部・准教授

研究者番号：50323720

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は3次元有限要素法を用いて、歯科インプラントの骨への埋入時のストレスパターンを解析するために、適合細分化法を導入したコンピュータシミュレーションを行った。骨モデルは弾性体とし、インプラントは非弾性体とした。インプラントは回転しながら、テーパのついた骨窩洞に挿入されるようにモデルを調整した。その結果、インプラントの埋入により、骨には一過性のストレスパターンが生じ、埋入深度が深くなるにつれて骨にかかる負荷は増加した。本研究によって、インプラント埋入時に生じるストレスパターンは、インプラント形状や埋入深度により影響を受けることが示された。

研究成果の概要(英文)：This study aims to reveal stress on dental implant and bone interface during the implant insertion using 3-Dimensional finite element method. The movement of the dental implant inside the bone was studied in relation to the stress imparted on the adjacent bone as the dental implant was inserted inside the bone. The insertion of the dental implant was analyzed with adaptive remodeling technique. The von Mises stress pattern of the bone was studied as dental implant was inserted into the bone. The stress inserting the dental implant increased intermittent load distribution inside the bone. Within the parameters of this study, the stress profile is influenced by the implant shape and depth of the dental implant inside the bone.

研究分野：補綴歯科学

キーワード：三次元有限要素解析 歯科用インプラント 適合細分化格子法 動的解析

1. 研究開始当初の背景

近年の口腔インプラント治療では、治療期間の短縮のために手術した同日に補綴装置を装着する方法も紹介されているが、学術的な裏付けは未だ乏しい。即時荷重のインプラントは治療期間の短縮や、歯を失うという喪失感を緩和させることで大きなメリットがある。しかし、骨結合を待ってから荷重をかけるという本来の原則から逸脱しており、失敗のリスクが高まるとも考えられる。骨結合が得られる条件としては、顎骨の骨質やインプラントの角度、長さ、位置、更にフィクスチャーのデザインが関係していると考えられる。また、インプラントの形状に関して、現在はスクリータイプが主流であるが、その中でも様々なデザインが混在し、どれが最適の形状かを判断することは困難である。

一方で、近年のコンピュータ技術の進歩により、複雑な形態でもシミュレーションが可能となっている。骨やインプラントの形態はCT画像から3次元構築が可能となり、有限要素法を用いたコンピュータ解析により、我々のグループでも多くの研究成果が得られている。しかし、それらは持続した荷重に対するものが殆どで、時間の経過を考慮に入れた動解析は少ない。その理由として3次元の物体を動かして、それに対する応力を計算することは膨大なデータであるが故に困難とされてきた。本研究では3次元有限要素法に適合細分化格子の手法を取り入れ、インプラントフィクスチャーの形状の変化が、埋入時に顎骨に与える影響について解析を行い、インプラントデザインの妥当性や最適性を検討する。

今回適用する適合細分化格子法とは、物理的变化の激しい領域やその物体近傍において、その部位の格子を自動的に細分化することで、効率的で精度の高い解析を行う方法である。これは本来工学分野において、飛行機の翼周りの解析や圧縮性流体モデルの解析

に適用されている手法であるが、整形外科領域において生体にも応用が可能であることが報告されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、顎骨に埋植される際のインプラントと周囲骨に生ずる応力について検討するために、顎骨とインプラントの3次元モデルを構築し、時間軸を追加した動的な有限要素解析を行うことで、即時荷重インプラントに適したフィクスチャーのデザインを検討する。

本研究では臨床応用されているインプラント形状を、CTスキャンにより3次元モデル化を行い、顎骨モデルにそのインプラントフィクスチャーを埋入するシミュレーションモデルを構築し、骨に対する応力の解析を行う。これによってインプラントのデザインと初期固定に及ぼす影響を検討し、顎骨の骨質に適合したインプラント形状を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) インプラントのモデル化: 第一段階として、基本モデルを構築して動解析を行う条件設定を行う。使用するインプラントのデザインは、既存のフィクスチャーを μ CT撮影により、外形や内部構造を詳細に記録し、デジタルデータに変換する(図1参照)。

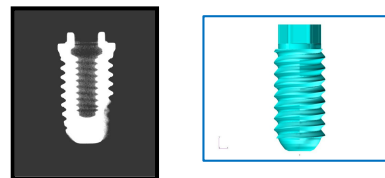


図1 インプラントCT画像からモデル化

この時点では100 μ の精度でデータが得られるが、有限要素モデルとしては、要素が細かすぎると解析時間がかかり、コンピュータの計算能力にも限界があることから、解析用によりシンプルなモデルにする必要がある。そこで、汎用プリ・ポストソフトウェア Patran

(MSC 社製)を使用し,3次元有限要素モデルを構築した(図2)。

スクリュータイプのインプラントにはらせん状の溝を付与することで,初期固

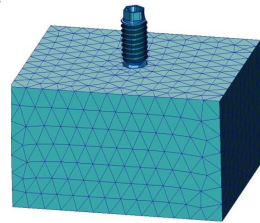


図2 動的解析モデル

定に効果を発揮すると考えられている

ので,モデル構築にあたりらせん構造を再現し,その溝の深さやピッチを変化させ,骨窩洞内に挿入した時の応力解析を行った。

(2) 顎骨モデル:骨窩洞のモデルは,下顎骨をCTスキャンして得られた顎骨データから,海綿骨や皮質骨の厚みを参考にして立方体モデルを製作し,骨窩洞の大きさは,埋植されるフィクスチャーの径より僅かに小さく設定した。フィクスチャーと骨表面には接点を配置し,摩擦係数を設定した。

(3) 動解析:フィクスチャーの埋入は通法に従い回転速度(0.3rad/sec)で挿入し,時間経過による骨表面の応力値の変化を,有限要素解析ソフト Marc(MSC 社製)により非線形解析を行った。フィクスチャー挿入後の残留応力値や分布を比較検討した。解析にあたっては,複雑な形状であることや材料定数の異なる物性の金属体や皮質骨,海綿骨を同時に解析するために,条件設定において困難を伴うことが予想される。そのため,解析時に適合細分化格子法を用い,時間軸に伴う要素の変化に追従して再計算する方法を導入した。

4. 研究成果

コンピュータ解析の結果,らせん状のインプラントが回転しながら骨窩洞内に埋入される状態のシミュレーションが可能となった。骨窩洞内に3点の測定点を設置して(図3),その部位にかかる負荷を計算した結果,骨窩洞内の最も浅い測定点での負荷の積分値は 371 MPa であり,更に深い点では 326 MPa,もっとも深い測定点では 345 MPa であった。

負荷ストレスパタンは断続的であり,インプラント側面のらせん状の溝が回転しながら埋入されるときに,周囲骨に一時的に応力が発生している様子がシミュレーションできた。測定点にかかる負荷の平均値は,浅いものから順に 49.9 MPa,43.5 MPa, 46 MPa であり,窩洞の深さによって違いが認められないことが判った。適合細分化格子法を導入することで,骨窩洞の接点数と要素数は,初期の 5,209 接点,27,197 要素から,5,462 接点および 18,901 要素に変化した。

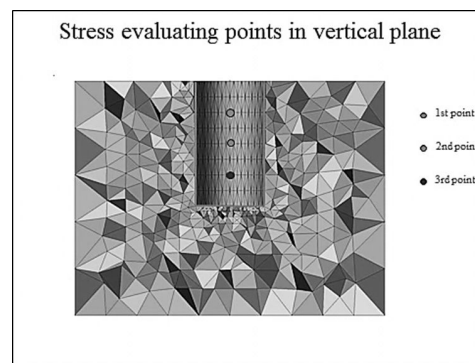


図3 解析モデル上の計測点

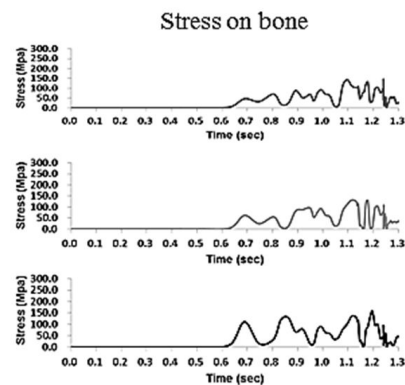


図4:各ポイントにおけるストレス値(Von Mises 応力)

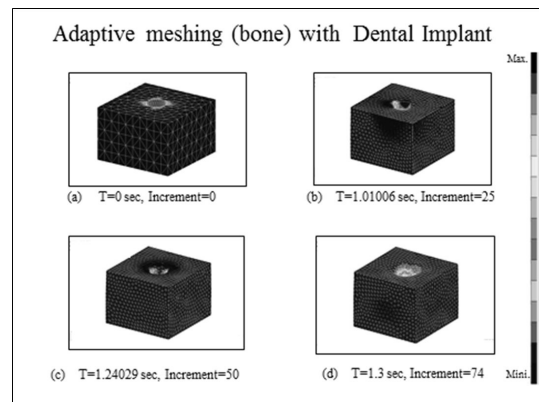


図5:適合細分化格子法の適用による有限モデルの変化

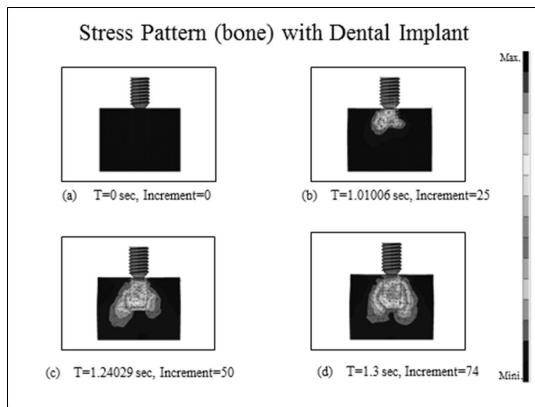


図6：インプラント埋入時の周囲骨ストレスの変化

また、インプラント側面の溝の形状を変化させることで、骨窩洞にかかるストレスが変化することも、今回のシミュレーションにより示すことができた。具体的には、下図のようにらせん構造の断面を円形と三角形に変化させることにより、骨への応力が約30%増加することが示された。

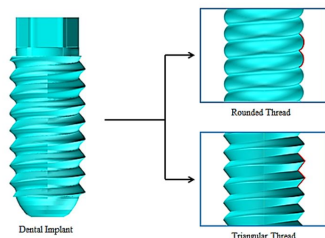


図7：インプラント溝の2つの形態

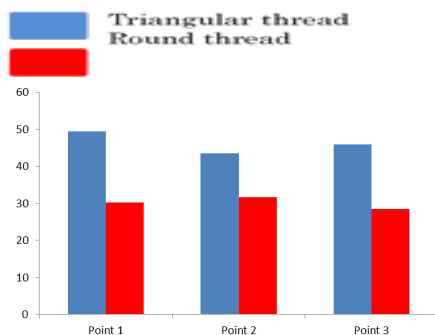


図8：形態変化によるストレス値の変化

以上の結果より、3次元有限要素法を用いて、インプラント埋入時に周囲骨にかかるストレスの時間的変化について、シミュレーションが可能となった。らせん状の溝構造を変化させることにより、応力値が変化することから、今後は骨への負担を減らす方法を検討するとともに、初期固定に必要なストレス値

についても、動物実験の結果と合わせて、インプラント形状の最適化について、更なる研究をすすめる基盤ができたと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6件)

Mishra M, Ozawa S, Yoshioka F, Ando A, Kanbara R, Sugiyama S, Tanaka Y. Finite Element Analysis on dental implant insertion using adaptive remodeling technique. Aichi Gakuin Dent Sci 27: 23-28, 2014.

Matsukawa R, Ozawa S, Kondo Y, Miyata Y, Mizutani M, Ohno N, Tanaka Y. Immunohistological Observation of Milled Teeth in a Rat Mandibular Incisor Extraction Socket. J Hard Tissue Biology; 23(1):29-34, 2014.

尾澤昌悟 磁場の骨芽細胞への影響について.日磁歯誌 22(1):49-53,2013.

尾澤昌悟 下顎大臼歯欠損部にインプラント治療を行った1症例.日口腔インプラント誌 26(3):605-606,2013.

尾澤昌悟 インプラントを応用した顎義歯のガイドライン.顎顔面補綴 36(2):99-100,2013.

尾澤昌悟 磁性アタッチメントのインプラントへの適用 顎顔面補綴治療ガイドライン作成の経験から 日本磁気歯科学会誌 21(1):28-31,2012.

〔学会発表〕(計 4件)

Ozawa S Application of CAD/CAM technique to facial prostheses. Bangkok Maxillofacial Symposium. 2013.12.3. Bangkok Thailand.

Ozawa S, Mishra M, Masuda T, Yoshioka F, Miyamae S, Tanaka Y. Dynamic Finite Element analysis of a threaded implant insertion. 10th Meeting of International Society of Maxillofacial Rehabilitation 2013.10.27. Xian China.

Ozawa S, Mishra M, Yoshioka F, Miyamae S, Tanaka Y. Simulation of two

Threaded Implants Insertions Using Adaptive Meshing. 第 42 回日本口腔インプラント学会学術大会 2012 年 09 月 23 日 大阪 .

大野芳弘, 神原 亮, 林 建佑, 中村好徳, 熊野弘一, 増田達彦, 岡本樹一郎, 白石浩一, 田中貴信 三次元有限要素法における上下顎モデルの応力解析 . 第 121 回補綴学会総会 2012 年 05 月 26 日 横浜 .

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

尾澤 昌悟 (OZAWA SHOGO)
愛知学院大学・歯学部・准教授
研究者番号 : 50323720

(2) 研究分担者

吉岡 文 (YOSHIOKA FUMI)
愛知学院大学・歯学部・講師
研究者番号 : 50468998

増田 達彦 (MASUDA TATSUHIKO)
愛知学院大学・歯学部・講師
研究者番号 : 30410583