

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26861658

研究課題名(和文) 歯科インプラントシステムにおける上部構造の連結に関する研究

研究課題名(英文) Study on the connection of the superstructure in dental implant system

研究代表者

北川 剛至 (KITAGAWA, Tsuyoshi)

日本大学・松戸歯学部・助教

研究者番号：20419766

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はインプラント上部構造の予知性をさらに高めていく事を目的とし、有限要素解析を行い、インプラントの微小動揺及び応力分布に関して検討を行った。その結果、微小動揺の様相はアバットメントの材質により異なり、異なる素材のアバットメントを利用した上部構造を連結した場合、一方に応力の集中が見られる可能性が示唆された。また、研究の一部に関する学会発表を行い、情報を発信した。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was optimization of super structure design for a successful prognosis of dental implant prosthesis. We investigated micro movement and stress distributions of implant components using transient dynamic three-dimensional finite element analysis. As a result, the amount of abutment vertical movement was depends on to the materials of the abutment. This study suggests that when a number of dental materials apply to the abutment in the splinting super structures, stress concentration occurred in the components. About a part of this study, we presented at the academic meeting.

研究分野：口腔インプラント学

キーワード：インプラント

1. 研究開始当初の背景

近年、歯科インプラントはオッセオインテグレーションの概念の普及とともに、その形態、表面性状などの改良、埋入システムの確立により、臨床成績が向上し、高い予知性が得られている。義歯に比べ、装着感、咬合力の回復、審美性に優れる歯科インプラントは、今後、補綴治療においてさらに重要な役割を担っていくと考えられる。また、歯肉移植術や骨増生術などの外科手術を併用することにより適応症が拡大し、患者の治療に対する要求の高まりから治療術式の多様化も進んでいる。それに対応し、口腔インプラントシステムも増加し、国内でも数十種類が販売されている。しかしその一方で長期の使用に伴い、アバットメントスクリューの緩み、スクリューの破折といった、機械的合併症や、インプラント周囲炎、オッセオインテグレーションの喪失などの生物学的合併症が増加しており、今後インプラント治療の予知性をさらに高めることが必要とされている。

2. 研究の目的

機械的合併症である、アバットメントスクリューの緩みは、最も良く見られるものの一つであり、アバットメントとフィクスチャーの結合様式により、発生率が大きく異なるという報告がなされている。スクリューの緩みは、同じく機械的合併症であるスクリュー破折の原因とも言われており、その破折によってインプラント体の撤去を余儀なくされる場合もあり、重要な問題となっている。生物学的合併症である、インプラント周囲炎や、オッセオインテグレーションの喪失は、清掃不良や感染の他に、インプラント体への過度な応力集中が原因で発生するとともに、アバットメントとフィクスチャーの連結形式によっては、アバットメントに微小動揺が見られそのポンプ効果により引き起こされるとも、言われている。

そこで本研究では、動的有限要素解析における時刻歴応答解析を用いて咬合力という時間変化荷重を、歯科インプラントの上部構造にそれぞれ与え、動的挙動を解析し微小動揺、および応力分布を観察することにより、安定性の違いから、予知性の高い治療を行うために必要な補綴設計を検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) コンピューター解析に先立ち、摩擦接触を考慮した解析を行うために、一般的な歯科インプラントに用いられている素材として、純チタン、チタン合金、ジルコニアに着目し部材同士の摩擦係数を、摩擦摩耗試験機を用いて測定した。

(2) 歯科インプラントを構成するパーツの形状を把握し、CAD ソフトを用い、コンピューター解析用モデルの構築を行った。汎用有限要素解析ソフトを利用し、コンピューター

解析を行った。同一外形を有する、使用材料の異なるアバットメントを装着したインプラントをモデル化し、咬合力を想定した荷重を与え、各パーツの応力分布、および挙動を解析し、使用材料の違いが力学的特性に与える影響の比較検討を行った。

4. 研究成果

(1) 摩擦係数の測定

摩擦摩耗試験にはピンオンディスク型摩擦摩耗試験機 Friction Player 2000 を用いた。この試験機はステージにディスクとなる試料を固定し、ピンとなる球状の試料に荷重を負荷し、ディスクを回転させた際に発生する法線方向の抵抗力を計測することで、摩擦係数を測定する。ディスクとなる試料として、寸法 50mm × 50mm、厚さ 1.0mm の純チタン板、およびチタン合金板、ピンとなる試料として直径 5mm のチタン合金球、およびジルコニア球を用いた。37 ± 3 に調整した精製水中にて、垂直負荷荷重 5 N、線速度 1.0 mm/sec の条件で 10 分間計測を行った。その結果得られた各部材間の典型的な摩擦係数の推移を図 1 に示す。

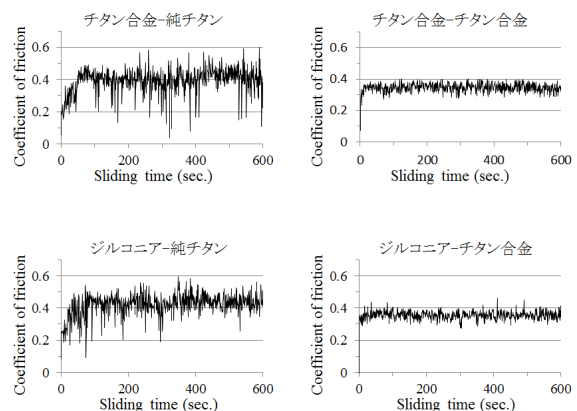


図1 各材料間の典型的な摩擦係数の推移

摩擦摩耗試験の 10 分間の平均的な摩擦係数はチタン合金 - チタン合金もチタン合金 - ジルコニアも殆ど変わらず 0.35 となった。チタン合金 - チタン合金の組み合わせはチタン合金製アバットメントとチタン合金製アバットメントスクリューの接触面に該当する。チタン合金 - ジルコニアの組み合わせはジルコニア製アバットメントとチタン合金製アバットメントスクリューの接触面に該当する。アバットメントとアバットメントスクリューの接触面においては、チタン合金とジルコニアという材料の差は大きな影響を与えない事が考えられた。

また、純チタン - ジルコニアの組み合わせは 0.44 となり、他よりも高い値であった。この組み合わせは、インプラント体 - ジルコニアアバットメントの接触面に該当する。純チタン - チタン合金の組み合わせは 0.40 となった。この組み合わせは、インプラント体

- チタン合金製アバットメント、インプラント体 - アバットメントスクリーウの接触面に該当する。

(2) 有限要素解析

モデル作成は CAD ソフト Solid Works 2014 を用いて行った。CAD モデルはインプラント体、アバットメント、アバットメントスクリーウ、上部構造フレーム、上部構造前装陶材、皮質骨、海綿骨で構成した。本実験ではインプラント体はアンキロスインプラントを参考にモデル化を行った。アバットメントの材質が異なる 2 種類の解析モデル、チタン合金アバットメントモデル、およびジルコニアアバットメントモデルを作成した。両モデルの形態は同一とし、材料のみを異なる素材をそれぞれ用いた。

CT エックス線画像を分析した文献を参考に皮質骨と海綿骨からなる、上顎中切歯欠損の骨モデルを作成した。上顎中切歯欠損骨モデルにインプラント体(直径 3.5 mm 長径 11 mm)を骨縁下 2 mm の位置に設置し、インプラント体に対して、Ankylos c/x システム、c/ アンテリアアバットメントストレート 1.5 mm を参考にモデル化したアバットメントを装着した。アバットメントはチタン合金製のアバットメントスクリーウにてインプラント体に装着した。上部構造は一般的な上顎中切歯の解剖学的形態を参考にモデル化した。上部構造はチタン合金モデルには陶材焼付鑄造冠を、ジルコニアアバットメントモデルには陶材焼付ジルコニクラウンを想定した。構築した解析用モデルの外観を図 2 に示す。

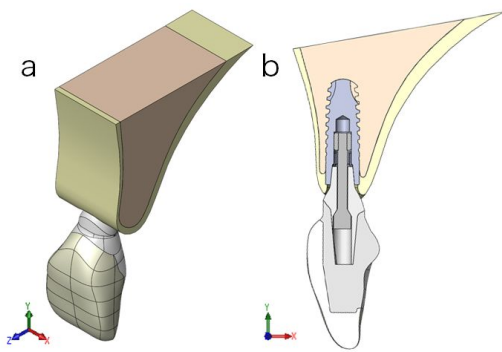


図2 Cadソフト上で構築した解析用モデル
(a) 外観 (b) 矢状断面

有限要素解析には汎用有限要素解析ソフト ANSYS Workbench 15.0 を用いた有限要素解析ソフトに、CAD ソフトで作成した解析用モデルのインポートを行った。各部品に設定した材料定数を表 1 に示す。

各接触面のうち、インプラント/アバットメント、インプラント/アバットメントスクリーウ、アバットメント/アバットメントスクリーウ、の 3 部位にそれぞれの材料に対応した摩

表1 各構成材料に設定した材料定数

Material	Young Modulus (GPa)	Poisson ratio	Density (kg/m ³)
CP Titanium Grade4	110	0.33	4600
Ti6Al4V	110	0.33	4400
Zirconia	205	0.19	2400
Gold alloy	136	0.33	17500
Porcelain	68.9	0.28	2440
Cortical bone	13.7	0.3	2000
Cancellous bone	0.69	0.3	1000

擦係数を設定し、摩擦のある接触面として設定した。その他の接触面は完全接着とした。四面体要素にてメッシュ分割を行った。皮質骨の断面、および海綿骨の断面を完全拘束しモデルを固定した。アバットメントスクリーウには、求められた摩擦係数を用い別途算出した予張力を設定し、アバットメントとインプラント体を連結した。荷重は歯軸に対して舌側に 30 度傾斜した側方荷重 100 N とした。経時的荷重条件及を図 3 に示す。

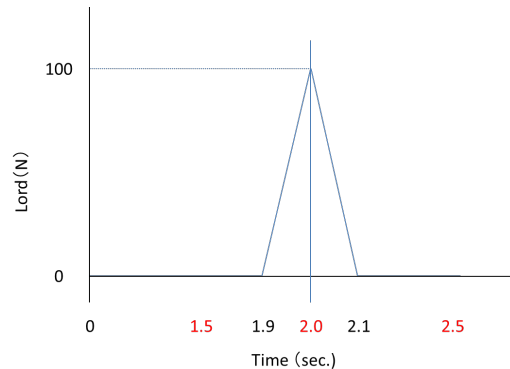


図3 100Nの荷重を与え、荷重前、荷重時、荷重後にそれぞれ計測を行った。

時刻歴応答解析を行うことで、予張力によりアバットメントが固定されている状態から、荷重時、荷重が解放された状態までを観察することができる。以上の条件で有限要素解析を行い、荷重前、荷重時、荷重後タイムステップにおいて、アバットメント、インプラント体、およびアバットメントスクリーウに生じる最大応力値、応力分布ならびに、アバットメントの垂直的な変位に関して検討を行った。図 4 にインプラント体内の応力分布図を、図 5 にアバットメントの応力分布図をそれぞれ示す。結果として、インプラント体での最大応力値は荷重時にチタン合金製アバットメントモデルで高くなり、アバットメントでの最大応力値は荷重前、荷重時、荷重後にジルコニア製アバットメントモデルで高くなった。

アバットメントスクリーウの最大応力値には殆ど差は認められなかったが、アバットメントの垂直的な変位量はチタン合金製アバットメントの方が大きかった。アバットメントの垂直的な変位量を表 2 に示す。

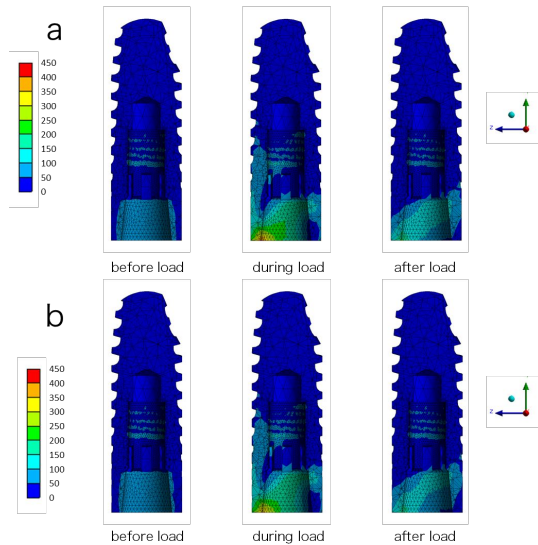


図4 インプラント体内の応力分布
 (左から荷重前, 荷重中, 荷重後)
 (a) チタン合金アバットメントモデル
 (b) ジルコニアアバットメントモデル

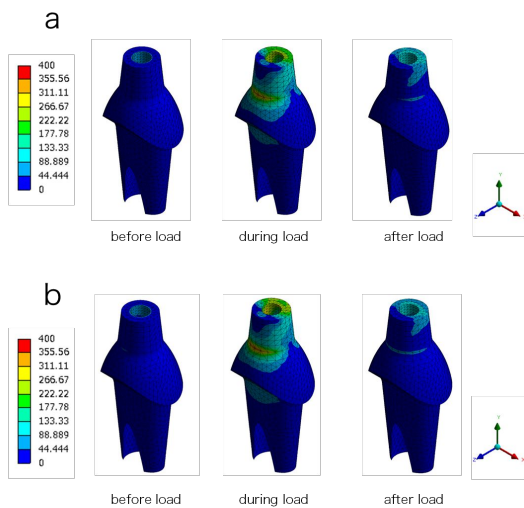


図5 アバットメントの応力分布
 (左から荷重前, 荷重中, 荷重後)
 (a) チタン合金アバットメントモデル
 (b) ジルコニアアバットメントモデル

表2 アバットメントの垂直的変位量

	Abutment displacement (mm)		
	before	during	after
Titanium alloy abutment model	0.0097	0.0245	0.0149
Zirconia abutment model	0.0081	0.0211	0.0146

アバットメント内部の最大応力値は、荷重にかかわらずジルコニアアバットメントで大きく、ヤング率やポアソン比などの材料定数との関わりが考えられた。そして、荷重時の沈下量はチタン合金の方が大きく、摩擦係数や材料定数の違いによりインプラント体ネック部の応力に差が出たと考えられる。

また、チタン合金製アバットメントモデル

もジルコニア製アバットメントモデルも歯軸に対し舌側に 30° の傾斜した側方力を与えたことにより、アバットメントは唇側方向に傾斜しながら沈下していた。傾斜はチタン合金製アバットメントモデルの方が大きかった。これは、側方力を受け続ける上顎前歯部においては、アバットメントはインプラント体に対して、直線上に位置して機能していくのではなく、微少な傾斜を維持しながら機能する事を示唆していると考えられる。これにより、アバットメント、インプラント体、およびアバットメントスクリューに不均一な応力分布が生じた状況で機能していくのではないかと推察される。両モデルの荷重時に発生した最大応力値の差は小さく、本実験で与えた荷重条件下では、チタン合金及びジルコニアの耐力を超える応力は観察されなかったが、アバットメントの破折の危険性を否定はできない。咬合力の強い症例や、プラキシズムのある症例、咬合接触点がプラットフォームから遠い場合などにおいて、力のコントロールを失うとチタン合金アバットメントよりも早く、ジルコニア製アバットメントの耐力を超える応力が生じてしまうと考えられる。

以上の結果より、アバットメント材料としてのチタン合金とジルコニアの摩擦係数の差はインプラント/アバットメントの結合部に現れ、アバットメント、インプラント体内の応力分布およびアバットメントの挙動に影響が見られた。材料の異なるアバットメントを用いて作成する上部構造の連結を想定した場合、変位量の差は、変位量が少ないアバットメントへの応力集中や、上部構造の応力集中等を生じさせる事が考えられる。この結果はあくまでコンピューター解析での結果であるが、影響を考慮した治療を行うべきであると考えられる。歯科インプラント治療に用いる材料により力学的特性は異なり、インプラント上部構造の連結、非連結に関わらず、装着時の口腔内での入念な調整と定期的な経過観察の重要性があらためて示唆された。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

北川剛至、谷本安浩：口腔インプラント部材間の摩擦係数の計測、第 67 回日本歯科理工学会学術講演会、平成 28 年 4 月 16、17 日、九州大学医学部百年講堂（福岡県福岡市）

〔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

北川 剛至 (KITAGAWA Tsuyoshi)

日本大学 松戸歯学部 口腔インプラント学講座 助教

研究者番号：20419766

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：