

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K17088

研究課題名（和文）FEAとCAD/CAM技術の応用によるインプラント間歯槽骨に対する応力伝達の解明

研究課題名（英文）Elucidation of stress transmission to inter-implant bone by application of FEA and CAD / CAM technology

研究代表者

松岡 隆（Matsuoka, Takashi）

大阪大学・歯学部附属病院・医員

研究者番号：80807032

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,500,000円

研究成果の概要（和文）：歯科インプラント治療において、インプラント間の歯間乳頭の再建は最も困難な治療の一つであり、インプラント間歯槽骨の維持は審美性の確保のために必要不可欠である。アバットメント連結様式やインプラント間距離は、インプラント間歯槽骨の維持に大きく影響を与える因子である。一般的に、インプラント間距離が3 mm未満になるとインプラント間歯槽骨が喪失するとされている。3次元有限要素解析を行った結果、インプラント間距離がたとえ3 mm未満になった場合でも、コニカルコネクションタイプを有するアバットメント連結様式が力学的に有用であることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究において、アバットメント連結様式と埋入条件の差異によるインプラント間歯槽骨の応力とマイクロギャップの比較検討を行い、力学的に最適なアバットメント連結様式はコニカルコネクションタイプであることが示唆された。また、コニカルコネクションのインプラントを使用した模型実験を行うことで、チタンベースタイプを有するアバットメントが力学的に有用であることが示唆された。

審美領域に隣接する2本のインプラントを埋入する際の、インプラントやアバットメントのデザインの選択に重要な示唆を与えたことになると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Inter-implant papilla reconstruction is extremely important to ensure a good esthetic outcome, but is one of the most difficult dental treatments to perform. Maintenance of the inter-implant bone is essential for maintenance of the inter-implant papilla. The purpose of this study was to use three-dimensional finite element analysis to investigate the mechanical influences of the implant-abutment connection type and inter-implant distance on the inter-implant bone. The maximum principal stress and microgap were evaluated.

As a result, a conical connection implant is a mechanically advantageous implant-abutment connection type for maintenance of the inter-implant bone. With an inter-implant distance of less than 3.0 mm, use of a conical connection implant might suppress absorption of the inter-implant bone.

研究分野：歯科理工学

キーワード：歯科インプラント 有限要素解析

## 1. 研究開始当初の背景

歯科インプラント治療において、インプラント間の歯間乳頭の再建は最も困難な治療の一つであり、インプラント間歯槽骨の維持は審美性の確保のために必要不可欠である。インプラント体周囲骨吸収は、不十分な口腔衛生、付着歯肉の不足、骨への負担過重、オーバーヒート、インプラント体 アバットメント間のマイクロギャップによる細菌感染などの、様々な病因の関連する複雑な現象とされている。これらの中で、骨への負担過重とインプラント体 アバットメント間のマイクロギャップは、アバットメント連結様式の差異に影響される因子であり、臨床において使用するインプラントを選択する際の一つの基準となりうる。一般的に、インプラント間距離が 3 mm 未満になるとインプラント間歯槽骨が喪失するとされている。

しかし、数ミリ単位の狭い領域であるインプラント間歯槽骨に対する解析は困難であるため、力学的報告はなされていなかった。

## 2. 研究の目的

本研究では、インプラントの FEA モデルの作製から解析までを 1 つの CAD ソフトウェアで行い、アバットメント連結様式や埋入条件がインプラント間歯槽骨に与える力学的影響を解析することで、インプラント間歯槽骨に対する力学的影響をより明確にする。さらに、模型実験を行うことによって、解析結果を検証し、力学的に最適なアバットメントデザインを同定することを目的とした。

## 3. 研究の方法

### 1) 三次元有限要素解析

SolidWorks2013 (DS SolidWorks Corp., USA)を用いて、インプラント体、アバットメント、アバットメントスクリューを別々にデザインして組み合わせ Conical connection (以下 CC)、external connection (以下 EC) および internal connection (以下 IC) の 3 種類の 2 ピースタイプのインプラントモデルを作製した。上顎前歯部を想定した骨モデルにインプラント間距離が 3, 2.5, 2 mm となるように同一モデルのインプラントを 2 本埋入し、上部構造に口蓋側から 176 N の静荷重を負荷した。三次元有限要素法を用いて、インプラント間歯槽骨とインプラント構成要素の応力分布、応力伝達の様式、マイクロギャップの大きさを評価した。

### 2) 模型実験

CC タイプのジルコニアアバットメント(以下 ZA)のデザインの違いやチタンベースの有無が、ZA の破壊抵抗性に及ぼす影響を比較検討した。

#### 実験

チタンベースの有無と ZA の破壊抵抗性との関連を検討した。インプラント体には Nobel Replace CC (Nobel Biocare; NB) および Roxolid BLT Implant (Straumann; ST) を使用し、試験体 ZA は、フルジルコニアタイプ (NB-Z, ST-Z) とチタンベースタイプ (NB-ZT, ST-ZT) の二種類ずつを作製した。コントロール群として二種類のチタンアバットメント (NB-T, ST-T) を作製した。試験規格は ISO14801 を参考に、各試験体 ZA の静的破壊荷重を評価した (n=3)。統計処理には Student's t-test を用い、有意水準は 5% とした。

#### 実験

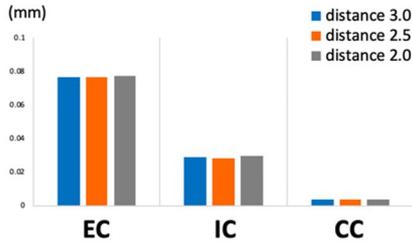
チタンベースのデザインの違いと ZA の破壊抵抗性との関連を検討した。Variobase® (ST) を模したデザインを本実験の基本型とし、ベース高さ、ベース厚み、インプラント体との連結長さを変更した 6 種類のカスタムチタンベース (松風) を作製した。これらを用いて同形状の試験体 ZA を作製し、実験と同様の試験規格にて静的破壊荷重および剛性を評価した (n=3)。統計処理には one-way ANOVA, Tukey's test を用い、有意水準は 5% とした。

## 4. 研究成果

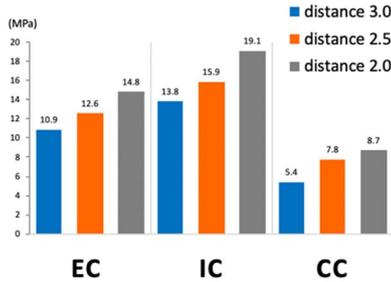
### 1) 三次元有限要素解析

インプラント間距離が同じ場合、インプラント間歯槽骨の応力は CC, EC, IC の順に、マイクロギャップは CC, IC, EC の順に増加した (図 1)。いずれの連結様式においても、インプラント間距離に近いほど応力は大きくなったが、マイクロギャップはほとんど変化しなかった (図 1, 2)。IC と EC は連結部において引張応力が集中しているのに対し、**CC は圧縮応力と引張応力が混合した応力分散が見られると共に、応力分布の逆転現象を認めた (図 3)。**また、CC はインプラント間距離が 2 mm の場合でも、応力とマイクロギャップは小さくなった (図 1, 2)。

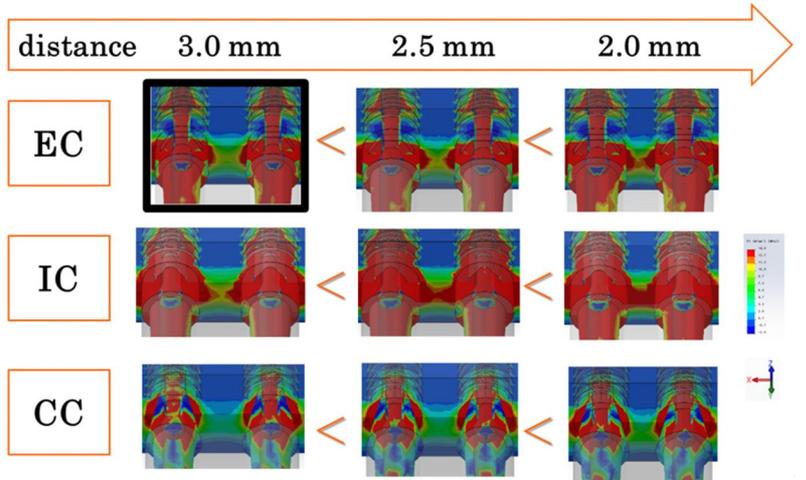
モデルの作製から解析までを一つの CAD ソフトウェアで行うことで、計算コストを大幅に削減でき、精密なモデルでの解析が可能となった。また、最大主応力を評価することで、より応力の伝達様式が明白となった。本研究結果から、各アバットメント連結様式の力学的なメカニズムが解明され、**CC はインプラント間距離が 3 mm より近くなった場合でも、インプラント間歯槽骨の維持に力学的に有用である可能性が示唆された。**



(図1) インプラント間歯槽骨の最大主応力の最大値



(図2) アバットメント インプラント体間のマイクロギャップの最大値

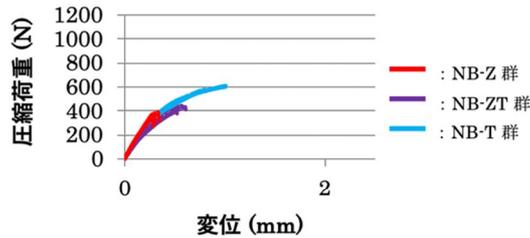


(図3) 骨とインプラントモデルの応力分布 (最大主応力)

## 2) 模型実験

実験では、2社ともにフルジルコニアタイプと比較してチタンベースタイプの破壊荷重が有意に大きくなった(図4, 5). 実験では、ベース高さが高い、ベース厚みが厚い、インプラント体との連結長さが長いチタンベースでZAの静的破壊荷重が有意に大きくなった(図6). また、インプラント体との連結長さが短いチタンベースでは、ZAの剛性が有意に小さくなった.

テーパジョイント型のインプラント体において、チタンベースの存在によりZAの破壊抵抗性は増大することが明らかになった。ベース高さが高い、ベース厚みが厚い、インプラント体との連結長さが長いチタンベースは、ZAの破壊抵抗性を確保できるデザインである一方、この連結長さが短いチタンベースでは、アバットメントスクリューが先行して破壊され、インプラント体に及ぶダメージを軽減できる可能性が示唆された。

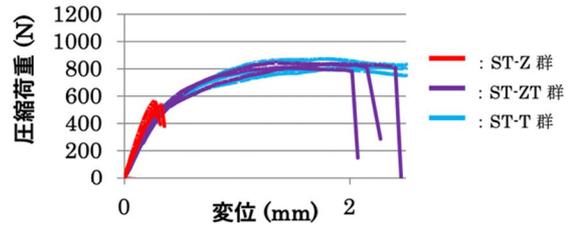


静的破壊荷重

実験	NB-Z 群	NB-ZT 群	P値
①	383.8 ± 7.90 N	425.6 ± 30.3 N	.082

(Student's t-test)

(図4) NB 群の静荷重時の圧縮荷重と変位量の関係

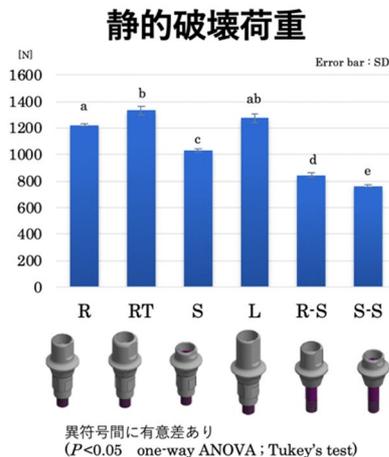


静的破壊荷重

実験	ST-Z 群	ST-ZT 群	P値
①	551.2 ± 15.8 N	827.9 ± 14.3 N	< 0.001

(Student's t-test)

(図5) NB 群の静荷重時の圧縮荷重と変位量の関係



異符号間に有意差あり  
( $P < 0.05$  one-way ANOVA; Tukey's test)



異符号間に有意差あり  
( $P < 0.05$  one-way ANOVA; Tukey's test)

(図6) 各型における静荷重時の静的破壊荷重と剛性の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡邊翔太, 中野 環, 山西康文, 松岡 隆, ZHAI Zhihao, 矢谷博文
2. 発表標題 異なるインプラント体連結部デザインにおけるジルコニアアバットメントの破壊抵抗性
3. 学会等名 日本口腔インプラント学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊翔太, 中野環, 小野真司, 山西康文, 松岡隆, 矢谷博文
2. 発表標題 チタンベースのデザインの違いがジルコニアアバットメントの強度に及ぼす力学的影響
3. 学会等名 第48回日本口腔インプラント学会学術大会
4. 発表年 2018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
--	---------------------------	-----------------------	----