

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 6 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K18559

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） 2,300,000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。その維持に力学的に有用であるコニカルコネクションインプラントは、審美性の観点からジルコニアアバットメントと組み合わせることが多い。その設計の違いが及ぼす力学的影響を評価するため模型実験を行った結果、チタンベースはアバットメントの耐久損性を向上させた一方で、インプラント構成要素に多くの変形を引き起こした。また、インプラント体の直径が細いグループではワンピースジルコニアタイプは有意に変形が小さかった。アバットメント連結様式の選択だけでなく、アバットメントの機械的特性を考慮する必要が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、インプラント間歯槽骨の維持に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り、審美性の観点からジルコニアアバットメントと組み合わせることが多い。ワンピースジルコニアタイプとチタンベース付きジルコニアタイプの2種類があり、その違いがインプラント構成要素に及ぼす力学的影響を評価するため模型実験を行った。その結果、アバットメントの設計や材質だけでなく直径の差異もインプラント構成要素に様々な力学的影響を及ぼすことが解明された。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）：In dental implant treatment, maintaining the inter-implant bone is essential to ensure aesthetics. Conical connection implants, which are mechanically useful for maintaining it, are often combined with zirconia abutments from an aesthetic standpoint. Model experiments were conducted to evaluate the mechanical effects of differences in design, and the results showed that while a titanium base improved the fracture resistance of the abutment, it caused a lot of deformation in the implant components. Furthermore, in the group with a narrow implant body diameter, the one-piece zirconia type showed significantly less deformation. These results suggest that it is necessary to consider not only the abutment connection style but also the mechanical properties of the abutment.

研究分野：歯科理工学

キーワード：歯科インプラント

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

歯科インプラント治療において、隣接する2本のインプラント間の歯間乳頭の再建は最も困難であり、インプラント間歯槽骨は審美性と構音機能の維持に必要不可欠である。しかしながら、インプラント間歯槽骨に関する報告は少ない。臨床研究では、いまだ従来のデンタル X 線画像を用いた、二次元的な評価しかなされていない。これは、骨を三次元的に評価できる Cone Beam CT では、数ミリ単位の小さい領域のインプラント間歯槽骨に対してアーチファクトが重なり、明確に評価できないためである。よって、*in vitro* 実験や *in silico* 実験を含めた多面的な評価が必要と思われる。

申請者らはこれまでに、インプラントの3次元有限要素解析 (FEA) モデルの作製から解析までを1つの CAD ソフトウェアで行うことで、アバットメント連結様式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を可能とした。加えて模型実験を行い、解析結果を検証することを可能とした。しかし、それらの応力の解析手法はすべて静的、かつ線形解析であり、模型実験では既製のインプラント体を使用し、静荷重下で行っていた。

2. 研究の目的

動的、かつ非線形解析を行うことによって、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し、加えて CAD/CAM 技術を応用した模型実験を繰り返し荷重下で行うことによって、実際の口腔環境により近い環境で解析結果を検証すること、そしてインプラント間歯槽骨に対して力学的に最適なアバットメントとアバットメント連結様式のデザインを同定することを目的とした。

3. 研究の方法

- (1) 動的解析と非線形解析を行う前に、静的解析と線形解析を行った。3種類のアバットメント連結様式 (External connection, Internal connection, Conical connection) を有するインプラントモデルを使用し、上顎前歯部を想定した骨モデルに同一の2本のインプラントモデルを埋入し、アバットメントに連結冠を装着した。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本埋入した。インプラント間歯槽骨に対する応力伝達とマイクロギャップのメカニズムを、3次元有限要素法によって解明した。静的解析のための荷重条件を与え、線形解析を行った。
- (2) コニカルコネクションの連結様式を有する歯科インプラントは、審美性の観点からジルコニアアバットメントと組み合わせることが多いが、チタンベースがインプラント構成要素に及ぼす影響については不明である。チタンベースがジルコニアアバットメントの耐久性とインプラント体の損傷に及ぼす影響について評価した。ジルコニアアバットメント (Z) およびチタンベースのジルコニアアバットメント (ZT) を Nobel Biocare (NB) インプラントおよび Straumann (ST) インプラントに固定し、静荷重試験を実施した。実験はプラットフォームの 3mm を露出させたもの (P3) と、プラットフォームを露出させないもの (P0) で行った。
- (3) (2) では静荷重下で実験を行ったが、口腔内の環境をより正確に模倣するには繰り返し荷重試験を行う必要がある。2種類の直径 (レギュラー, ナロー) の 30 本のオリジナルアバットメント (ワンピースチタン, ワンピースジルコニア, チタンベース付きジルコニア) をコニカルコネクションタイプのインプラントに接続し、熱サイクルと機械的な繰り返し荷重を与え、人工老化プロセスを与えた。マイクロコンピュータ断層撮影 (μ CT) スキャンを用いてインプラント構成要素の形態学的変化を観察した。経年変化の前後でアバットメントの除去トルク試験を行った。
- (4) 人工老化プロセスを行った2種類の直径のコニカルコネクションタイプのインプラント-アバットメント複合体について、アバットメントの材質がインプラントの変形と耐久損性に及ぼす影響を調査した。30本のオリジナルアバットメント (ワンピースチタン, ワンピースジルコニア, チタンベース付きジルコニア) を2つの直径 (レギュラー, ナロー) でコニカルコネクションインプラントに連結し、熱サイクルと機械的繰り返し荷重からなる標準化された人工的老化プロセスを付与した。経年変化の前後にインプラント体のマイクロCT スキャンを実施した。 μ CT スキャンからインプラント体の3次元画像を作成し、体積変形量を算出した。生存している経年劣化試験片と30本の新品の試験片について、機械的静的負荷試験を用いて耐破壊性を測定した。

4. 研究成果

- (1) その結果、インプラント間距離が短くなるにつれ、インプラント間歯槽骨に対する応力は3種類のモデルすべてにおいて大きくなった。Conical connectionを使用すると、たとえインプラント間距離が2 mmになったとしても、インプラント間歯槽骨に対する応力は他と比べて小さくなった。また、インプラント間距離が変化しても、どのモデルもマイクロギャップの大きさに変化は見られなかった。その中でも Conical connection を使用したモデルでは、他と比べてマイクロギャップの値は小さくなった。以上の結果より、Conical connectionタイプのインプラントはインプラント間歯槽骨の維持のために力学的に優位なインプラントアバットメント連結様式である可能性が示唆された。
- (2) P0 条件では、NB と ST の試験片について ZT 群は Z 群よりも破壊荷重が統計的に大きくなった。ST 試験片の P3 条件では、ZT 群の変形量は Z 群より有意に大きかった。チタンベースはジルコニアアバットメントの耐欠損性を向上させた。さらに、チタンベースは P3 条件下においてより多くの変形を引き起こした。臨床設計を選択する際には、アバットメントの機械的特性を考慮する必要がある。
- (3) すべての試験片は人工老化に耐えた。初期および荷重後のトルク損失については、ワンピースジルコニア群はいずれの直径においても有意に大きな値を示した ($P < .001$)。SEM 観察では、ワンピースジルコニア群では広範囲の表面損傷が明瞭に認められたが、他の群では軽微な損傷にとどまった。直径に関係なく、ワンピースジルコニアアバットメントは金属接続部を有するアバットメントよりも、初期および経年変化後の両方で除去トルクの低下とインプラント体内面の形態変化を引き起こす傾向がある。チタンベース付きジルコニアアバットメントは、ワンピースチタンアバットメントと同様の性能を示した。
- (4) レギュラー群では、インプラントの変形に有意差は認められなかった ($p = 0.095$)。ナロー群では、ワンピースジルコニア群で有意に変形が少なかった ($p < 0.0001$)。耐破壊性については、どのグループでも経時変化後の有意な低下は観察されなかった ($p > 0.05$)。ワンピースジルコニアアバットメントは、いずれの直径においても他の 2 つの材料よりも有意に低い強度を示した ($p < 0.0001$)。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Chen Yuming, Zhai Zhihao, Li Hefei, Yamada Shuhei, Matsuoka Takashi, Ono Shinji, Nakano Tamaki	4. 巻 31
2. 論文標題 Influence of Liquid on the Tooth Surface on the Accuracy of Intraoral Scanners: An In Vitro Study	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Prosthodontics	6. 最初と最後の頁 59 ~ 64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jopr.13358	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Zhai Zhihao, Nakano Tamaki, Chen Yuming, Watanabe Shota, Matsuoka Takashi, Ishigaki Shoichi	4. 巻 15
2. 論文標題 Abutment removal torque and implant conical surface morphological changes after standardized artificial aging: An in vitro study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Prosthetic Dentistry	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.prosdent.2022.11.016	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Zhai Zhihao, Nakano Tamaki, Chen Yuming, Watanabe Shota, Matsuoka Takashi, Ishigaki Shoichi	4. 巻 25
2. 論文標題 Implant deformation and implant-abutment fracture resistance after standardized artificial aging: An in vitro study	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Clinical Implant Dentistry and Related Research	6. 最初と最後の頁 107 ~ 117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/cid.13157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Matsuoka Takashi, Nakano Tamaki, Yamaguchi Satoshi, Ono Shinji, Watanabe Shota, Sato Takumi, Yatani Hirofumi	4. 巻 14
2. 論文標題 Effects of Implant-Abutment Connection Type and Inter-Implant Distance on Inter-Implant Bone Stress and Microgap: Three-Dimensional Finite Element Analysis	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 2421 ~ 2421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma14092421	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Watanabe Shota, Nakano Tamaki, Ono Shinji, Yamanishi Yasufumi, Matsuoka Takashi, Ishigaki Shoichi	4. 巻 15
2. 論文標題 Fracture Resistance of Zirconia Abutments with or without a Titanium Base: An In Vitro Study for Tapered Conical Connection Implants	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials	6. 最初と最後の頁 364 ~ 364
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma15010364	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔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 藤井 三紗, 石垣 尚一, 中野 環, 松岡 隆, 水野 圭一郎, 佐藤 匠, 鈴木 梓, 岡本 峻輔
2. 発表標題 抜歯前唇側歯槽骨に裂開が存在する審美領域における抜歯後即時および早期埋入が術後軟組織退縮に及ぼす影響
3. 学会等名 第52回日本口腔インプラント学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Z Zhai, S Watababe, T MATSUOKA, T NAKANO, S ISHIGAKI
2. 発表標題 The Mechanical Effects of Artificial Aging on Implant-Abutment Assemblies
3. 学会等名 International Association for Dental Research
4. 発表年 2021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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------