

令和 2 年 6 月 5 日現在

機関番号：32622

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K11657

研究課題名(和文) 生体に近似させた光造形顎堤モデルとFEAをバインドしたインプラント傾斜埋入の検討

研究課題名(英文) Consideration of inclined dental implants placement in the edentulous posterior mandible stereolithography model and using FEA

研究代表者

北川 昇 (Kitagawa, Noboru)

昭和大学・歯学部・准教授

研究者番号：80177831

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、傾斜埋入によるインプラント周囲骨の生体力学的効果を検証することを目的に、実際にインプラントを埋入したモデルと有限要素モデルを製作し検討した。実験モデル、FEAモデルの全ての配置(傾斜埋入とストレート埋入)において同様の傾向を示し、被圧変位量は中央荷重時が最も小さく、荷重側のインプラント周囲骨に大きな圧縮ひずみが認められた。以上の結果より、傾斜埋入が生体力学的に必ずしも有効であるわけではないことが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

歯科インプラントは口腔のみならず、全身の健康の向上と維持に大きく貢献している。インプラントの長期的な安定のためには、適切なインプラント配置が重要である。本研究において下顎臼歯部欠損に複数のインプラントを埋入する際の配置に関して検討した。傾斜埋入を行うことによる力学解析を行い、生体力学的にはストレートに配置した場合と比較して傾斜埋入が必ずしも有効でないことが示唆された。臨床的には顎骨の形態を十分考慮した上で埋入方向を決定する事が長期的な安定につながると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The present study aimed to clarify the biomechanical effects of inclined placement on the peri-implant bone in edentulous posterior mandibles by comparative investigation using FEA and model experimentation with strain gauges. Three implants were embedded in an artificial mandible in the parts corresponding to the first premolar, the second premolar, and the first molar. In one model, the implants were placed in a straight line; in the other two, the implants in the parts corresponding to the second premolar and the first molar were inclined each by a 10°, 20°, increment to the lingual side. Both experimental and FEA models suffered the least compressed displacement during central loading in all placements. The greatest stress and compressive strain was on the load side in all types of placements. Inclined placement may not necessarily be more biomechanically effective than straight placement in edentulous posterior mandibles.

研究分野：高齢者歯科学

キーワード：インプラント 傾斜埋入 応力解析

1. 研究開始当初の背景

下顎遊離端欠損症例における有効な補綴治療であるインプラント治療において、インプラントを長期機能させるためには、力の制御が必要となる。インプラントに対する過大な水平力は、骨とインプラントとの結合を破壊することが知られている。従来から、下顎遊離端欠損症例にインプラントを3本埋入する場合、力学的な観点から offset 埋入が Rangert¹⁾らによって推奨されてきた。この方法により、水平力を20~60%減少できるという報告もあるが²⁾、大きな違いはないという報告もある³⁾。

日本人においては顎骨の幅径や下歯槽管の解剖学的位置関係などから、最遠心部のインプラントを傾斜埋入することは、日常臨床においてよく行われている。しかし、これらの埋入方法の違いによる顎骨におよぼす影響については、明確にはされていない。

2. 研究の目的

下顎臼歯部欠損において、傾斜配置によるインプラント周囲骨の生体力学的効果を明らかにすることを目的に、ひずみゲージによる模型実験とFEAを用いて比較検討を行った。

3. 研究の方法

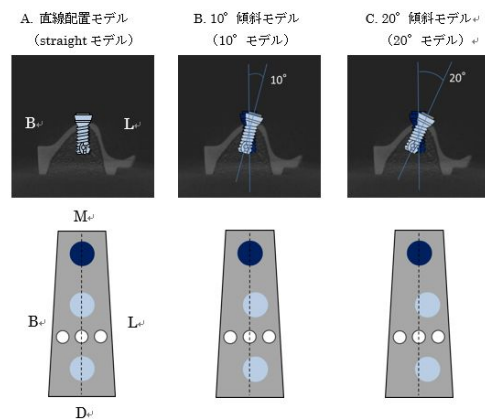
(1) 実験モデルの製作

擬似下顎骨模型

下顎左側第一小臼歯(no. 34)、第二小臼歯(no. 35)、第一大臼歯(no. 36)までの遊離端欠損を有する擬似下顎骨模型(P9-X.1135, Nissin Dental Products, Kyoto, Japan)を使用した。

インプラント体の埋入

解剖学的歯冠幅径を参考に、下顎第一小臼歯から第二小臼歯間を8mm、第二小臼歯から第一大臼歯間を10mmの間隔で3本のインプラント体を埋入した。通法に従い、直径3.0mm、長さ10mmの埋入窩を3カ所形成した。その後、各埋入窩に、直径3.75mm、長さ10mmのインプラント体(Brånemark System® Mk, Nobel Biocare, Göteborg, Sweden)を40Ncmのトルクで埋入した。3本のインプラント体を直線配置としたモデル(ストレート配置)を基準として、no.35を舌側へ10度、no.36を舌側へ10度傾斜させたモデルを10度傾斜モデル(10°モデル)、no.35を舌側へ20度、no.36を舌側へ20度傾斜させたモデルを20度傾斜モデル(20°モデル)、の計3種類のインプラント配置の異なるモデルを3つずつ作製した。



上部構造体の作製

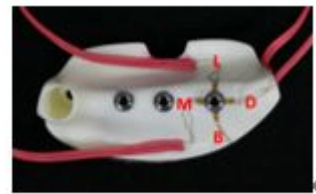
上部構造体の咬合面観は、解剖学的歯冠幅径を参考に、第一小白歯近心部の頬舌径 7 mm、第一大白歯遠心部の頬舌径 10 mm、近遠心径 26 mm の台形とした。高径は 8 mm、上部の 4 mm は上部構造体の厚み、下部の 4 mm はアバットメント連結部とした。第一大白歯相当部の咬合面には、直径 2 mm、深さ 0.2 mm の荷重点を 3 カ所付与



し、それぞれを頬側荷重点、中央荷重点、舌側荷重点とした。上部構造体はチタン製で、CAD/CAM を用いて製作した。

ひずみゲージの貼付

no.36 インプラント体周囲骨表面に 2 線式のひずみゲージ(KFR-02N-120-C1-11, Kyowa Electronic, Tokyo, Japan) を 4 枚貼付した。ひずみゲージは、インプラントの近心、遠心、頬側、舌側の 4 カ所に貼付し、部位ごとにひずみ M, D, B, L とした。



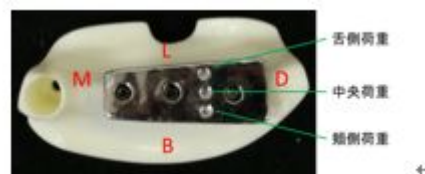
(2) FEA モデルの作製

実験モデルを micro-CT 撮影装置に固定し、管電圧 90 kV、管電流 10 μ A、断層厚 106 μ m の撮影条件で、CT 像の撮影を行なった。得られた CT データから三次元有限要素解析ソフトを用い、FEA モデルを作製した。擬似下顎骨模型製作メーカーの公開値および、過去の研究で用いられたヤング率およびポアソン比を参考に、適切な物性値を決定し、FEA モデルを作製した。インプラントと骨の境界条件は接触状態とした。FEA モデルは各配置の 3 つの実験モデルそれぞれに対応させ、FEA モデルも 3 つずつ作製した。

(3) 変位量の測定

実験モデルにおける被圧変位量の測定

実験モデルのインプラントの被圧変位量の測定をインストロン型万能試験機を用いて行なった。実験モデルをインストロン型万能試験機の作業台に置き、円錐形のジグを用いて圧縮試験を行った。



3 カ所の荷重点に 0.5 mm/sec の速度で垂直荷重を 100 N 加えた。作業台とジグの間にストレインゲージを取り付け、作業台とジグの間の距離の変化量を、インプラントの被圧変位量と想定して計測を行なった。各荷重点につき、5 回ずつ測定を行い、5 回の平均をそのモデルの荷重点部位の代表値とした。

FEA モデルにおける被圧変位量の測定

擬似下顎骨底面の全節点を完全拘束し、3 カ所の荷重点に 100 N の垂直荷重を加え、弾性解析を行った。荷重点の垂直的変位量をインプラントの被圧変位量と想定し、3 カ所の荷重点部位

について解析を行った。

FEA モデルにおける三次元的変位量の測定

100 N の垂直荷重を加えた際の 3 本のインプラント体の三次元的変位量について解析を行った。評価部位は、インプラント体の頸部と先端部とし、頬舌方向 (X 軸), 近遠方向 (Y 軸), 上下方向 (Z 軸) について、それぞれ変位量の解析を行った。

(4) ひずみの測定

実験モデルにおけるひずみの測定

インストロン型万能試験機による圧縮試験の際に、ひずみの計測を同時に行った。

(5) FEA モデルにおける応力分布の評価

荷重時におけるインプラント周囲骨に発生する相当応力を no.36 インプラントの頬舌的断面で観察し評価した。配置間における応力分布を比較した。

(6) 統計解析

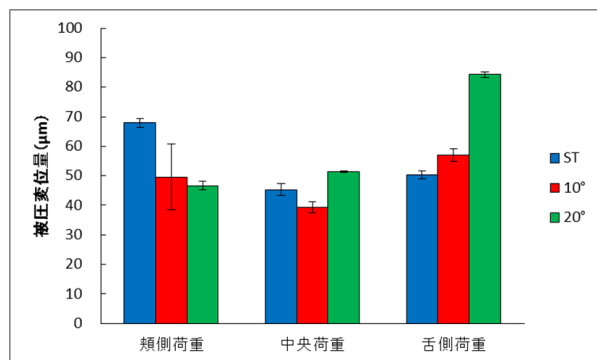
被圧変位量およびひずみの値について、荷重部位と配置の違いを要因とした二元配置分散分析を行った。有意水準は 5 %とした。その後、Tukey 法を用いて多重比較検定をおこなった。

4. 研究成果

(1) 被圧変位量について

各モデルの 100 N 垂直荷重時における荷重部位ごとのインプラントの被圧変位量の結果を示す。

インプラント体の舌側傾斜が大きくなるほど、頬側荷重時の被圧変位量は小さくなり、舌側荷重時の被圧変位量は大きくなった。舌側傾斜が大きくなると、インプラ



ント体を舌側へ傾斜させる力が働き、変位量が大きくなったと考えられる。

(2) FEA モデルの三次元的変位量について

頬舌方向 (X 軸方向) の変位は、頬側荷重時はインプラント頸部が頬側へ、インプラント先端部が舌側へ変位し、インプラント体が荷重側へ回転傾斜するような動きを示した。舌側荷重時はインプラント先端の変位は小さく、インプラント体が舌側へ変位する動きが認められた。中央荷重時は変位量が最も小さく、変位がほぼ認められなかった。近遠心方向 (Y 軸方向) の変位は、3 力所の荷重部位全てで、3 本のインプラント体を遠心へ回転傾斜させるような変位を示した。上下方向 (Z 軸方向) の三次元的変位量は、3 力所の荷重部位すべてで、no.36 の変位量が最も大きく、近心のインプラント体ほど変位量が小さく、遠心部が沈下するような変位を示した。中央荷重時が最も変位量が小さく、頬側荷重と舌側荷重はほぼ同等の変位量を示した。配置間においては同様の傾向を示し、インプラント配置の違いにより、三次元的変位量および変位方向に違いは認められなかった。

(3) インプラント周囲骨のひずみについて

実験モデルのひずみについて

100 N 垂直荷重時の実験モデルにおける，第一大臼歯相当部インプラント部の荷重部位ごとのひずみを示す。

図1 直線配置モデル

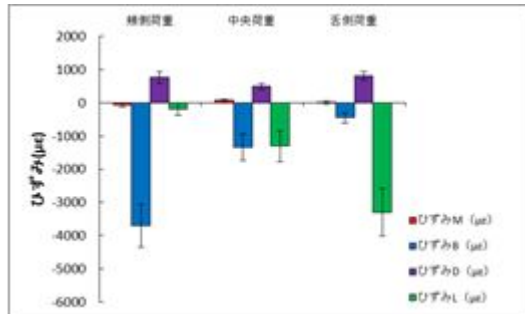


図2 10度傾斜モデル

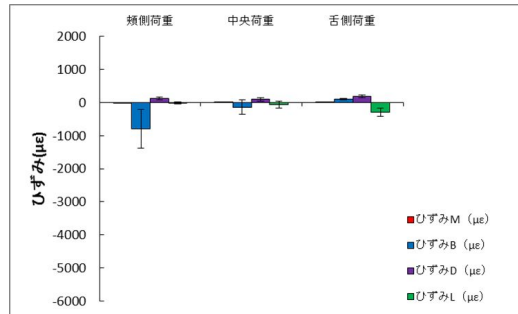
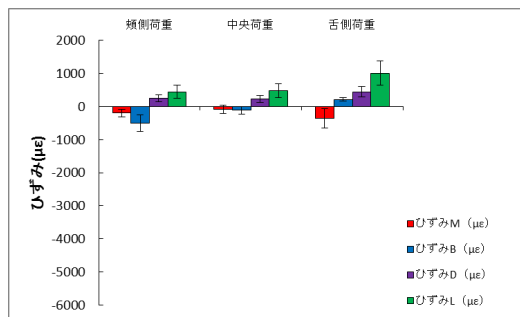


図3 20度傾斜モデル



全ての配置において荷重側のひずみゲージで大きな圧縮ひずみが認められ，配置間で同様の傾向を示した。最大で約 4500 μ Strain の圧縮ひずみが認められた。頬側荷重時のひずみ B において 10 度傾斜モデルの圧縮ひずみは有意に大きかった。また舌側荷重時のひずみ L において圧縮ひずみの値は，配置間で有意差は認められ

なかった。

(4) FEA モデルにおける応力分布について

100 N 垂直荷重時の FEA モデルにおける，インプラント周囲骨における応力分布では全ての配置において，荷重側のインプラント周囲骨で相当応力の集中が認められた。

< 引用文献 >

1) Rangert BR, Sullivan RM, Jemt TM. Load factor control for implants in the posterior partially edentulous segment.

Int J Oral Maxillofac Implants. 1997;12:360-370.

2) Sato Y, Uchida K, Okuyama T, Kitagawa N. Verification of the influence of the arrangement of implants on the load distribution (a well-known figure by Rangert). J Oral Rehabil. 2012;39:446-449

3) Omori, M., Sato, Y., Kitagawa, N., Shimura, Y. and Ito, M. A biomechanical investigation of mandibular molar implants: reproducibility and validity of a finite element analysis model International Journal of Implant Dentistry. 1:10, 2015. 4.28

DOI: 10.1186/s40729-015-0011-5

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shimura, Y., Sato, Y., Kitagawa, N. and Omori, M	4. 巻 2
2. 論文標題 Biomechanical effects of offset placement of dental implants in the edentulous posterior mandible	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 International Journal of Implant Dentistry	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40729-016-0050-6	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5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大澤淡紅子, 佐藤裕二, 北川 昇
2. 発表標題 歯科訪問診療におけるインプラントの実態調査のための予備調査
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

1. 発表者名 青木 雅恵, 佐藤裕二, 北川 昇
2. 発表標題 インプラントと天然歯間におけるコンタクト強さの測定方法の確立
3. 学会等名 日本口腔インプラント学会第38回関東甲信越支部学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 志羽 宏基, 佐藤裕二, 北川 昇
2. 発表標題 各種インプラントトルクレンチの正確さと再現性
3. 学会等名 日本口腔インプラント学会第38回関東甲信越支部学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 寺澤 真祐美, 佐藤 裕二, 北川 昇, 大澤 淡紅子, 今村 嘉希, 岡田 征彦, 西内 智紀, 高松 直也
2. 発表標題 装着直後から3カ月後の下顎第一大臼歯部インプラント補綴装置隣在歯の咬合状態の変化
3. 学会等名 第47回日本口腔インプラント学会学術大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 磯部 明夫, 佐藤 裕二, 北川 昇, 田中 里実
2. 発表標題 アバットメント装着時のエックス線画像で歯肉部にメタルタワーによる不透過像を認めた症例
3. 学会等名 第47回日本口腔インプラント学会学術大会
4. 発表年 2017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
研究分担者	佐藤 裕二 (Sato Yuji) (70187251)	昭和大学・歯学部・教授 (32622)	
研究分担者	大澤 淡紅子(奥山淡紅子) (Osawa Tokiko) (90585788)	昭和大学・歯学部・助教 (32622)	
研究分担者	磯部 明夫 (Isobe Akio) (30635082)	昭和大学・歯学部・助教 (32622)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	大森 美由紀 (Omori Miyuki) (20756291)	昭和大学・歯学部・兼任講師 (32622)	
研究 分担者	岡田 征彦 (Okada Masahiko) (50756161)	昭和大学・歯学部・兼任講師 (32622)	