

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 24 日現在

機関番号：32622

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25463016

研究課題名(和文) 光造形モデルを使用したインプラント offset 埋入の三次元有限要素解析

研究課題名(英文) Biomechanical effects of offset placement of dental implants in the mandible

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) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：歯を失った際に、歯科用インプラントによって修復する。そこで、下顎の奥歯にインプラントをオフセット配置した場合の周囲骨の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三次元有限要素解析を用いて、ストレート配置とオフセット配置の比較検討を行った。その結果、全ての配置で中央荷重時の被圧変位量が最も小さかった。また、オフセット配置がストレート配置よりも、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。

研究成果の概要(英文)：The present study aimed to clarify the biomechanical effects of offset placement on the peri-implant bone in edentulous posterior mandibles by comparative investigation using FEA and model experimentation with strain gauges. Three types of experimental models, each with different implant placement, were prepared. 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 offset each by a 1-mm increment to the buccal or lingual side. Four strain gauges were applied to the peri-implant bone corresponding to the first molar. The experimental models were imaged by micro-computed tomography, and FEA models were constructed from the CT data.

Both experimental and FEA models suffered the least compressed displacement during central loading in all placements. Offset 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：インプラント補綴 オフセット配置 三次元有限要素解析 被圧変位量 応力分布

1. 研究開始当初の背景

歯科インプラントを利用した治療は、高齢者においても一般的に普及し、選択肢の一つとして認知されてきた。インプラント治療の良好な結果および長期的な安定を保つには、骨とインプラントのオッセオインテグレーションを維持するための骨のリモデリングが必要不可欠である。骨のリモデリングにはインプラントに負荷される咬合荷重によって、骨周囲に生じる種々の応力が適正な範囲内であることが必要とされる。オーバーロードに由来するインプラントと骨界面へのストレス集中は、骨の吸収をまねくことが報告されている。インプラントに生じる応力はインプラントの配列によって変化する。Gunneらはインプラントの配置と補綴装置の幾何学的形態が咬合荷重の配分に影響すると述べている。インプラントを埋入する際、3本のインプラントを直線状に配列することに対して、中央部のインプラントを側方へずらす手法はオフセット配置と呼ばれている。Rangertらは、3歯臼歯部欠損症例でインプラントを2本埋入してブリッジ形態とした時の荷重を100%としたとき、3本埋入の直線配置では67%、3本埋入のオフセット配置では33%に荷重が減少すると報告している。しかし、Rangertらの報告では荷重分布の具体的な算出方法等については記載されていない。

オフセット配置の有用性については、幾何学解析、光弾性試験、ストレインゲージ法、FEA等が行われてきたが、解析方法ごとに短所が存在し、理想的な条件下で行われた研究は皆無であると考えられる。そのため、複数の解析を行うことで各解析方法の短所を補い、客観的にオフセット配置の有用性を評価する必要があると考えられる。しかし、同一条件下で複数の解析を行った報告は認められない。また報告者によって結果は異なり、offsetの有用性については統一見解がなされていない。

2. 研究の目的

本研究では、下顎臼歯部欠損において、オフセット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(Fig.1)。模型は、擬似皮質骨部(ウレタンレジン)と擬似海綿骨部(発泡ウレタンレジン)の二層構造から成る。

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。擬似下顎骨模型に正確にインプラント体を埋入するために、インプラント埋入ガイド(Landmark Guide™, iCAT, Osaka, Japan)を製作した。擬似下顎骨の底面に対して垂直にインプラント体を埋入するために、ボール盤(Enkoh's, Enshu Industrial, Shizuoka, Japan)とインプラント埋入ガイドを用いた。インプラント埋入窩形成用ドリル(Branemark System® Twist Drills, Nobel Biocare, Göteborg, Sweden)をボール盤に装着し、通法に従い直径3.0mm、深さ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(Branemark 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を頬側へ1.0mm、no.36を舌側へ1.0mmオフセットさせたモデルを頬側オフセット配置(B-offset)、no.35を舌側へ1.0mm、no.36を頬側へ1.0mmオフセットさせたモデルを舌側オフセット配置(L-offset)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、第一小臼歯近心部の頬舌径7mm、第一大臼歯遠心部の頬舌径10mm、近遠心径26mmの台形とした。高径は8mm、上部の4mmは上部構造体の厚み、下部の4mmはアバットメント連結部とした。第一大臼歯相当部の咬合面には、直径2mm、深さ0.2mm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(ISUS, DENTSPLY Sankin, Tokyo, Japan)で、Computer-aided design and computer-aided manufacturing(CAD/CAM)を用いて製作した。インプラント体が埋入された擬似下顎骨模型に、上部構造体を装着したモデルを各配置ごとに3個作製し、これを実験モデルとした。

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[21,22]。被測定部の表面を320番のサンドペーパーにて研磨し、アセトンにて清拭後、専用の接着剤(CC-33A, Kyowa Electronic, Tokyo, Japan)を用いて接着した。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 (ScanXmate-L090H, Comscantecno, Kanagawa, Japan) 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 (Mechanical Finder[®], Research Center of Computational Mechanics, Tokyo, Japan) を用い, FEA モデルを作製した. メッシュ形状は, 四面体要素とし, 総節点数は約 260,000, 総要素数は約 1,400,000 で分割した.

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[23]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. インプラント体, アバットメント, 上部構造はチタン製とし, インプラント体とアバットメントの間およびアバットメントと上部構造の間に一切の介在条件を設定せず, 全てが連続した構造体とした. また, 擬似皮質骨, 擬似海綿骨, インプラント体, 上部構造体の全ては, 均質, 等方性の線形弾性構造体とした.

インプラントと骨の境界条件は接触状態とした. インプラント体と擬似下顎骨の界面は, 単に接触しているのみで, 摩擦係数が 0 であり, すべりが生じている状態を再現した. これは, 実験モデルのインプラント体と擬似下顎骨の接触状態を再現したもので, 即時荷重を想定した. 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 (Instron 5500R[®], Instron Japan, Kanagawa, Japan) 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加えた. 大臼歯部のインプラント上部構造に加わる最大咬合力が 200 N であるという報告を参考に, 100 N を採用した. 作業台とジグの間にストレインゲージ (2630-100, Instron Japan, Kanagawa, Japan) 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. 各荷重部位につき, 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, インプラント体の頰部と先端部とし, 頰舌方向 (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. センサインターフェース (PCD-300B, Kyowa Electronic, Tokyo, Japan) にひずみゲージとノートパソコン (LATITUDE E5500, DELL, Texas, USA) を接続し, 100 N 荷重時におけるインプラント周囲骨のひずみを測定した.

FEA モデルにおけるひずみの測定

実験モデルのひずみゲージ貼付部を, FEA モデル上で座標点として表し, 荷重前後での長さの変化量をひずみゲージの長さで除した値を FEA モデルのひずみとして算出した.

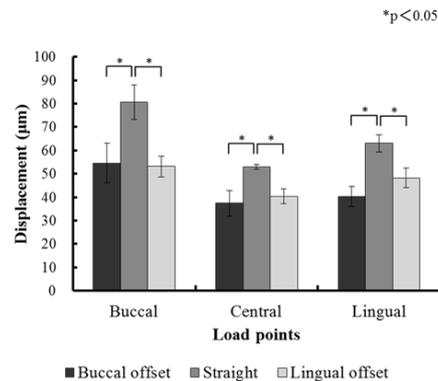
(5) FEA モデルにおける応力分布の評価

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 インプラントの頰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.

4. 研究成果

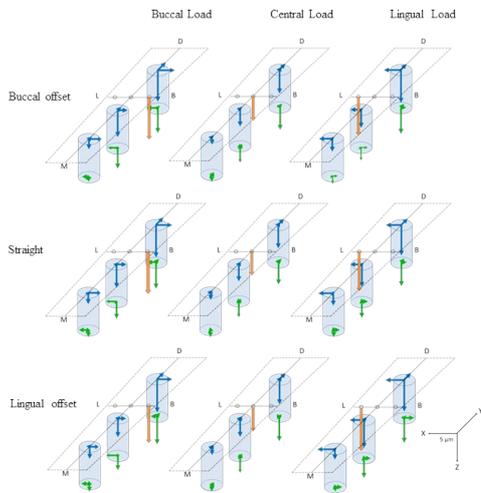
(1) 被圧変位量について

全ての配置において, 実験モデルと FEA モデルともに 3 つの荷重点の中で頰側荷重の被圧変位量が最も大きく, 中央荷重の被圧変位量が最も小さかった. 実験モデルと FEA モデルともに, 頰側荷重時のストレート配置の被圧変位量は L-offset より有意に大きく ($p < 0.05$), 舌側荷重時のストレート配置の被圧変位量は B-offset より有意に大きかった ($p < 0.05$).



(2) FEA モデルの三次元的変位量について

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三次元的変位の結果を示す。

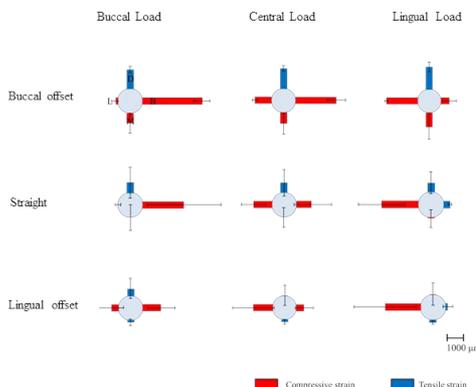


頬舌方向 (X 軸方向) の変位は、頬側荷重時はインプラント頸部が頬側へ、インプラント先端部が舌側へ変位し、インプラント体が荷重側へ回転傾斜するような動きを示した。舌側荷重時はインプラント先端の変位は小さく、インプラント体が舌側へ変位する動きが認められた。中央荷重時は変位量が最も小さく、変位がほぼ認められなかった。近遠心方向 (Y 軸方向) の変位は、3 カ所の荷重部位全てで、3 本のインプラント体を遠心へ回転傾斜させるような変位を示した。上下方向 (Z 軸方向) の三次元的変位量は、3 カ所の荷重部位すべてで、no.36 の変位量が最も大きく、近心のインプラント体ほど変位量が小さく、遠心部が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。



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 B-offset 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。

FEA モデルのひずみについて

実験モデルと同様に、全ての配置において、荷重側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 1700 μ Strain の圧縮ひずみが認められた。頬側荷重時のひずみ B においてストレート配置の圧縮ひずみは有意に大きかった。また舌側荷重のひずみ L において L-offset の圧縮ひずみの値は B-offset よりも有意に大きかった。実験モデルと FEA モデルの間でひずみの大きさに違いはあったが、荷重部位の違いによるひずみの様相は似た傾向を示した。

(4) FEA モデルにおける応力分布について

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。頬側荷重時の B-offset および舌側荷重時の L-offset においてインプラント体底部周囲の海綿骨部で広い範囲での応力集中が認められた。

< 引用文献 >

- [1]Frost HM. Wolff's Law and bone's structural adaptations to mechanical usage: an overview for clinicians. Angle Orthod. 1994;64:175-88.
- [2]Duyck J, Ronold HJ, Van Oosterwyck H, Naert I, Vander Sloten J, Ellingsen JE. The influence of static and dynamic loading on marginal bone reactions around osseointegrated implants: an animal experimental study. Clin Oral Implants Res. 2001;12:207-18.
- [3]Quirynen M, Naert I, van Steenberghe D. Fixture design and overload influence marginal bone loss and fixture success in the Brånemark system. Clin Oral Implants Res. 1992;3:104-11.
- [4]Hoshaw SJ, Brunski JB, Cochran GVB. Mechanical loading of Brånemark implants affects interfacial bone modelling and remodeling. Int J Oral Maxillofac Implants. 1994;9:345-60.
- [5]Isidor F. Loss of osseointegration caused by occlusal load of oral implants.

A clinical and radiographic study in monkeys. Clin Oral Implants Res. 1996;7:143-52.

[6]Gunne J, Rangert B, Glantz PO, Svensson A. Functional loads on freestanding and connected implants in three-unit mandibular prostheses opposing complete dentures: an in vivo study. Int J Oral Maxillofac Implants. 1997;12:335-341.

[7]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.

[8]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.

[9]Sato Y, Shindori M, Hosokawa R, Tsuga K. A biomechanical effect of wide implants in the posterior partially edentulous region. J Oral Rehabil. 2000;27:15-21.

[10]Itoh H, Caputo AA, Kuroe T, Nakahara H. Biomechanical comparison of straight and staggered implant placement configurations. Int J Periodontics Restorative Dent. 2004;24:47-55.

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 12 件)

Kotani, Y., Sato, Y., Kitagawa, N., Shimodaira, O., Takeuchi, S., Isobe, A., Takamatsu, N., Tanaka, S. and Hara, S. Relationship between palatal mucosa properties and pressure-pain threshold in young dentulous and elderly edentulous subjects peer review (+)
J J Gerodont. 30(2): 68-79, 2015. 9.30

Isobe, A., Sato, Y., Kitagawa, N., and Shimodaira, O. Fabrication of a customized tray for preventing fracture of isolated abutment teeth in definitive casts
J Prosthodont. 114(2): 182-184, 2015.08. peer review (+)
DOI: 10.1016/j.prosdent.2015.03.008

Isshiki, Y., Sato, Y., Kitagawa, N.,

Shichita, T., Kawata, D. and Ishikawa, M. Evaluation of chair time and treatment steps during complete denture adjustment
J J Gerodont. 30(1): 12-24, 2015. 6.30 peer review (+)

Kakuda, T., Sato, Y., Kitagawa, N., Nakatsu, M., Aoyagi, K., Takayama, M. and Tsubakida, K. Examination of optimal sites and loading methods for measuring maxillary complete denture retention peer review (+)
J J Gerodont. 30(1): 25-36, 2015. 6.30

Okada, Y., Sato, Y., Kitagawa, N., Uchida, K., Osawa, T., Imamura, Y. and Terazawa, M. Occlusal status of implant superstructures at mandibular first molar immediately after setting
International Journal of Implant Dentistry. 1:16, 2015. 6. 4 peer review (+)
DOI: 10.1186/s40729-015-0016-0

Takeuchi, S., Sato, Y., Nathanson, D., Kitagawa, N., Kinoshita, Y. and Kajita, T. Novel removable keeper system for magnetic attachments on overdenture abutments
Showa Univ J Med Sci. 27(2): 137-142, 2015. 6 peer review (+)

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 peer review (+)
DOI: 10.1186/s40729-015-0011-5

Imamura, Y., Sato, Y., Kitagawa, N., Uchida, K., Osawa, T., Omori, M. and Okada, Y. Influence of occlusal loading force on occlusal contacts in natural dentition.
J Prosthodont Res. 59(2): 113-120, 2015. 4. peer review (+)
DOI: 10.1016/j.jpjor.2014.07.001

Aoyagi, K., Sato, Y., Kitagawa, N., Okane, M., Kakuda, T. and Takayama, M. Development of a simple chair-side evaluation method for complete denture retention forces and its reproducibility
J J Gerodont. (29)1: 21-28, 2014. 6.30 peer review (+)

Isobe, A., Sato, Y., Kitagawa, N., Shimodaira, O., Hara, S. and Takeuchi, S.: The influence of denture supporting tissue properties on pressure-pain threshold: -Measurement in dentate subjects- J.Prostodont. Res, 57(4): 275-283, 2013, 9 peer review (+)

〔学会発表〕(計 29 件)

関谷弥千, 樋口大輔, 尾関雅彦, 佐藤裕二, 馬場一美
埋入方向が異なるインプラントへの対応 -CAD/CAM によるメタルフレームの有用性- 日本口腔インプラント学会 第 35 回関東・甲信越支部学術大会 プログラム・抄録集: 83(抄録) 日本口腔インプラント学会 第 35 回関東・甲信越支部学術大会, 東京, 2016. 2.14

志村雄太, 佐藤裕二, 北川 昇, 内田圭一郎, 大森美由紀
下顎臼歯部欠損におけるオフセット配置の効果 日口腔インプラント会誌, 第 28 巻特別号: p244 (抄録), 2015 第 45 回日本口腔インプラント学会学術大会, 岡山, 2015. 9.23

寺澤真祐美, 佐藤裕二, 大澤淡紅子, 今村嘉希, 岡田征彦
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の咬合状態の変化 日口腔インプラント会誌, 第 28 巻特別号: p247 (抄録), 2015 第 45 回日本口腔インプラント学会学術大会, 岡山, 2015. 9.23

Ogawa, O., Sato, Y., Kitagawa, N., Nakatsu, M., Aoyagi, K., Kakuda, T., Omori, M. and Takamatsu, N.
FEA on retention force of maxillary complete dentures in patients (16th Biennial Meeting of the International College of Prosthodontists, Seoul, Korea, 2015. 9.17)

Shimura, Y., Sato, Y., Kitagawa N. and Omori, M.
Verification of implant placement in the edentulous posterior mandible (16th Biennial Meeting of the International college of Prosthodontists, Seoul, Korea, 2015. 9.17)

Takayama, M., Sato, Y., Kitagawa, N., Nakatsu, M., Yamagaki, K., Aoyagi, K., Kakuda, T., Tubakida, K. and Ishihara, M.

Effects of oral moisturizers on retention forces of complete dentures (16th Biennial Meeting of the International College of Prosthodontists, Seoul, Korea, 2015. 9.17)

〔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 なし

6. 研究組織
(1) 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

(2) 研究分担者
佐藤裕二 (SATO, Yuji)
昭和大学・歯学部・教授
研究者番号: 70187251

内田圭一郎 (UCHIDA, Keichirou)
昭和大学・歯学部・助教
研究者番号: 30384332

関谷弥千 (SEKIYA, Michi)
昭和大学・歯学部・助教
研究者番号: 40611968

大澤淡紅子 (OUSAWA, Tokiko)
昭和大学・歯学部・助教
研究者番号: 90585788

(3) 連携研究者 なし
()
研究者番号: