

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年3月31日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21592490

研究課題名（和文） 固定性インプラント上部構造の咬合に関する生体力学的検討

研究課題名（英文） Biomechanical investigation of occlusion on Implants-supporting Fixed Protheses

研究代表者

川田 哲男（KAWATA TETSUO）

東北大学・大学院歯学研究科・大学院非常勤講師

研究者番号：80292225

研究成果の概要（和文）：

小型水晶圧電式センサを用いて、固定性上部構造支台インプラントに機能時に加わる荷重を生体内において三次元的かつ経時的に測定し、顎顔面基準座標上で解析するシステムを開発し、生体測定に応用した。機能時に固定性上部構造支台インプラントに加わる荷重は、最大咬みしめ時と比較して、その部位での咀嚼時に荷重量、荷重方向変化量は大きくなることが定量的に示され、咬合接触や歯種が荷重方向に影響を及ぼすことが示唆された。

研究成果の概要（英文）：

The 3-D load-measuring device, comprised of a piezo-electric force transducer and the experimental superstructure, was developed. The devices were tightened with screws into implant-fixtures in the subjects. The 3-D loads during the maximum voluntary clenching (MVC) and biting a piece of paraffin wax (WAX) were registered. The magnitude and direction of the recorded loads were analyzed in the spatial coordinates based on her Frankfort and sagittal planes. The device enabled us to estimate the 3-D loads on the implants. Load exerted on the implant supporting fixed superstructure during chewing function was larger than that during clenching. The amount of change in the load direction during chewing was larger than that during clenching. It was suggested that the species of teeth or occlusal contact was affect the load direction.

交付決定額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2009年度 | 1,600,000 | 480,000 | 2,080,000 |
| 2010年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2011年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,500,000 | 1,050,000 | 4,550,000 |

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・歯科医用工学・再生歯学

キーワード：歯科インプラント学

1. 研究開始当初の背景

歯科インプラントにおいては、インプラント長軸方向に対する側方成分の荷重負荷の増大が、フィクスチャー顎部の骨結合喪失を

もたらす要因とされることから、インプラント体、および上部構造への荷重（咬合力）の制御がインプラント補綴治療の予後を決定する因子の一つとして重要視されている。し

かしながら、インプラントに加わる荷重に関するデータ、特に生体内で測定された空間的・時間的な荷重動態データは欠如しており、インプラント治療における荷重制御に関するガイドライン、ならびに上部構造に付与する咬合に関する明確なエビデンスは存在しない。

これまでインプラント体周囲骨に生ずる応力・歪みに関しては、有限要素法等のシミュレーションにより検討されてきた。しかしながら生体内データの欠如から、これらの研究におけるインプラント上部構造への荷重入力値（大きさ、方向）には仮想値が用いられてきた。そのため、例えば高精度の有限要素モデルを構築したとしても、その解析結果は生体での力学的状況を再現しているとは言い難かった。従って、インプラント補綴治療における生体力学的制御に係わる検討を、より有効性、妥当性の高いものにするためにも、生体内での機能時におけるインプラントに加わる荷重動態を把握することが必要である。しかしながら、インプラントに加わる荷重を生体内で三次元的に、かつ経時的に定量解析した研究はほとんど存在しないため、このような研究が必要とされていた。

2. 研究の目的

当研究室は、これまでに三次元小型水晶圧電式センサを用いて、固定性上部構造の支台インプラントに加わる荷重を生体内にて三次元的、経時的に測定し、解析するシステムを開発した。本研究では、このシステムを用いて、インプラントに加わる荷重とインプラント上部構造の咬合面形態、咬合接触、発揮される咬合力の大きさや方向などの歯科補綴学的因子、咬筋、骨格などの生体力学的因子の影響について検討するにより、固定性インプラント上部構造に与える咬合に関する指標を確立し、インプラント補綴治療における荷重制御に関する指針を構築することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 被験者

被験者は、東北大学病院にて歯列部分欠損にインプラントの埋入が行われ、二次手術後1年以上経過し、トロント会議におけるインプラントの臨床成功基準(47)を満たし、良好な臨床経過を示した3名とした。全ての被験者において顎関節、咀嚼筋等に特記すべき機能異常とその既往は認められなかった。以下、被験者Ⅰの下顎右側6部に埋入されたインプラントをImp 1、下顎右側5部に埋入されたインプラントをImp 2、被験者Ⅱの下顎左側5部に埋入されたインプラントをImp 3、被験者Ⅲの下顎左側6部に埋入されたインプラントをImp 4とする。

各被験者には、研究への参加に先立ち実験の主旨を説明し、インフォームドコンセントを得た。また本研究は東北大学大学院歯学研究科倫理委員会の承認を受けて行った。



被験者のインプラント

(2) 荷重測定システム

① 荷重センサおよびセンサ出力方法

本研究で使用した小型水晶圧電式センサ (Type Z18400, Kistler Instruments, スイス) (以下、センサ) は、直径7mm、高さ3.5mmの円柱形スチールハウジングの中に、荷重により自発分極を起こす特徴をもつ圧電材料である水晶がそれぞれ直交するX、Y、Z軸の測定用に3枚封入されている構造を有し、3軸の測定が可能である(40-46)。また、センサ下部は、Straumann社製インプラントフィクスチャー上部に精密に適合する形態を有している。

センサからの出力電荷は、マルチチャネルチャージアンプ (Type5019B, Kistler Instruments, スイス) により増幅後、データレコーダ (LX-10, TEAC, 日本) およびパーソナルコンピュータ (Lenovo R61e, ThinkPad, 日本) に記録した。サンプリングレートは1 kHzとした。

② 測定装置

センサをインプラントフィクスチャー上にスクリー固定し、口腔内においてインプラントに加わる荷重を測定するための装置を製作した。以下にその製作方法を示す。

被験者Ⅰ、Ⅲでは、センサおよびセンサ上部受圧面に適合するように製作された歯冠形態を有する白金加金製の実験用上部構造を、インプラントフィクスチャー上にチタン製スクリーにてスクリー固定した。この時、スクリーはインプラント補綴用手用トルクコントローラー (補綴用トルクレンチ, Nobel Biocare, 日本) を用い、締め付けトルク 15 Ncmにて固定した。

被験者Ⅱにおいては、センサおよびセンサ上部受圧面に適合するように精密加工された実験用アバットメントを締め付けトルク 15 Ncmにてスクリー固定し、実験用アバットメントに適合するように製作された白金加金製の実験用上部構造を仮着用セメント (ハイボンド テンポラリーセメント ソフト, 松風, 日本) により固定した。

実験用上部構造には、座位にて咬合紙および歯科用シリコーン (エクザファインインジェ

クシオン, GC, 日本) によるチェックバイトを用い, ライトタッピング時に中心咬合位において周囲天然歯と同等の咬合接触を付与した.

(3) 口腔内測定

記録時の被験者の体位は座位とし, 頭位はFH平面を地面と水平になるよう設定した. 荷重測定装置を装着した状態で以下の2種類のタスクを行わせた.

1) 最大随意咬みしめ (以下, MVC) :

被験者に, 随意的な最大強度での咬みしめを指示した. 試行は5回行った.

2) ワックス咬みしめ (以下, WAX) :

立方体 (一片 5 mm) に賦形した歯科用ワックス (パラフィンワックス, ジーシー, 日本) を被験インプラント上に置き, 術者の合図によりワックス片をしっかりと咬み切るよう指示した. 試行は5回行った.

(4) センサ出力補正方法

頭部 X 線規格写真を用いて FH 平面ならびに正中矢状面を基準とする顎顔面座標を設定し, その座標軸に合わせてセンサ出力値を補正した. 前後方向 (anteroposterior axis) および左右方向 (left-right axis) は FH 平面上で規定し, 上下方向 (superior-inferior axis) は FH 平面の垂線方向と設定した.

センサ出力補正に必要なインプラント埋入角度の測定のために, 各被験者において, 被験インプラントにセンサレプリカをスクリー固定した状態で, 咬頭嵌合位にて頭部 X 線規格写真 (PA および Lateral) を撮影した.

(5) 分析方法

記録されたセンサ出力データは, 生体信号計測処理ソフトウェア (Signal Basic Liter 2100, Medical Try System, 日本) を用いてセンサ固有座標から顎顔面座標に変換した後, 三次元ベクトルとして算出し, 各タスクについて以下の項目を分析した.

1) インプラントに加わる最大荷重量

2) 最大荷重量の側方成分

3) 最大荷重発現時の荷重方向

4) インプラントに加わる荷重方向変化量 : 最大荷重量の 10% 時から 100% 時に至るまでの荷重方向の角度変化量

統計学的解析には統計ソフト (StatFlex Ver5, 0, アーテック, 日本) を使用し, 2 群間の比較に Mann-Whitney's U-test を用いた. 有意水準は 0.01 とした.

4. 研究成果

(1) センサ出力データ

各被験インプラントにおいて, インプラントに加わる荷重は, MVC, WAX 両タスクで咬み

しめ開始から下方方向の荷重が優位に増加し, それに伴い前後方向, 左右方向への荷重も検出された. 荷重量は, MVC と比較して WAX で全ての方向に対し大きくなる傾向が認められた.

(2) インプラントに加わる荷重

センサ出力データを三次元ベクトル荷重に変換した. ル終点の軌跡を, センサ受圧面を原点として示した.

MVC では, 咬みしめ開始から最大荷重量に至るまでに, 荷重ベクトル終点の軌跡は緩やかな曲線を描き, 各試行において同様の軌跡を示した. WAX では, 荷重方向が咬みしめ中に大きく変化し, 各試行において軌跡が大きく異なる場合が認められた.

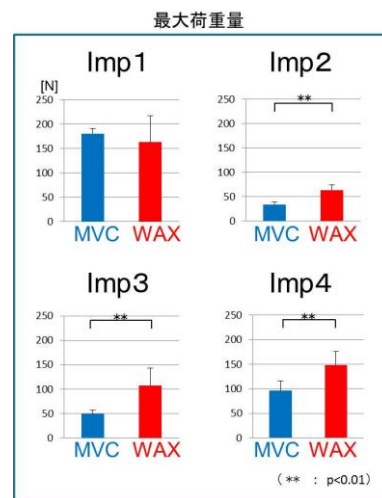
各試行における最大荷重発現時の荷重ベクトルの方向を平均すると, Imp 1 では, MVC で後下方, WAX で下方であった. Imp 2 では, MVC, WAX 共に前下内方を示した. Imp 3 においては, MVC で下方, WAX では後下方であった. Imp 4 では MVC で下方, WAX で前下内方であった.

(3) 最大荷重量

インプラントに加わる荷重の最大量は, Imp 1 が MVC で $179.97 \pm 10.43\text{N}$, WAX で $162.40 \pm 53.97\text{N}$ であり, Imp 2 が MVC で $34.25 \pm 4.68\text{N}$, WAX で $62.82 \pm 11.15\text{N}$, Imp 3 が MVC で $49.23 \pm 7.33\text{N}$, WAX で $107.31 \pm 36.03\text{N}$, Imp 4 が MVC で $96.13 \pm 19.70\text{N}$, WAX で $148.37 \pm 26.98\text{N}$ であった.

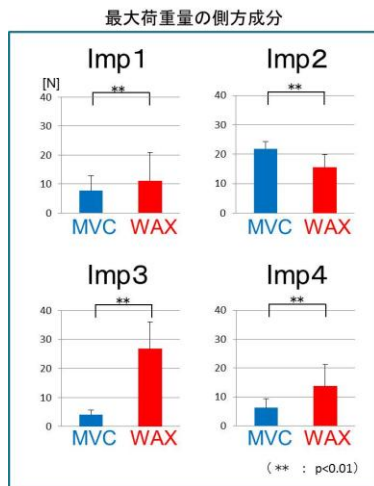
各インプラント間で比較すると, 小臼歯部である Imp 2, 3 と比較して, 大臼歯部である Imp 1, 4 に加わる荷重が大きくなる傾向がみられた.

両タスク間で比較すると, Imp 1 では有意差は認められなかったが, Imp 2, 3, 4 では MVC と比較して WAX で有意に大きな値を示した ($p < 0.01$).



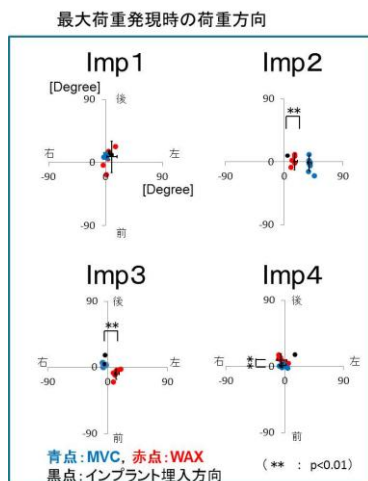
(4) 最大荷重量の側方成分

インプラントに加わる最大荷重量の側方成分は、Imp 1 が MVC で $7.71 \pm 5.11\text{N}$ 、WAX で $11.15 \pm 9.68\text{N}$ 、Imp 2 が MVC で $21.85 \pm 2.52\text{N}$ 、WAX で $15.57 \pm 4.27\text{N}$ 、Imp 3 が MVC で $4.05 \pm 1.62\text{N}$ 、WAX で $26.79 \pm 9.20\text{N}$ 、Imp 4 が MVC で $6.23 \pm 3.20\text{N}$ 、WAX で $13.78 \pm 7.34\text{N}$ であった。最大荷重量の側方成分は、Imp 1, 3, 4 では MVC と比較して WAX で有意に大きな値を示した ($p < 0.01$)。Imp 2 では WAX と比較して MVC で有意に大きな値を示した ($p < 0.01$)。



(5) 最大荷重発現時の荷重方向

最大荷重の方向は、Imp 1 では両タスク間に有意差は認められなかった。Imp 2, 3 では両タスク間で、左右方向に有意に方向が異なった ($p < 0.01$)。Imp 4 では前後方向に有意に方向が異なった ($p < 0.01$)。



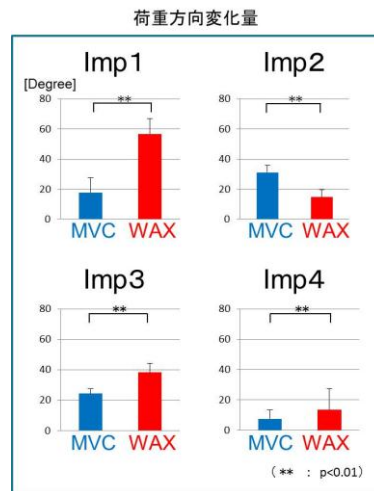
(6) 荷重方向変化量

荷重方向変化量は各タスクにおいて、荷重量の最大値を 100% としたときに、荷重量の 10% 時から 100% 時に至るまでの荷重方向の角度変化量と規定した。

インプラントに加わる荷重方向変化量は、

Imp 1 が MVC で $17.67 \pm 13.80^\circ$ 、WAX で $56.75 \pm 18.42^\circ$ であり、Imp 2 が MVC で $31.00 \pm 12.44^\circ$ 、WAX で $14.75 \pm 5.07^\circ$ であり、Imp 3 が MVC で $24.25 \pm 3.34^\circ$ 、WAX で $38.14 \pm 6.13^\circ$ であり、Imp 4 が MVC で $7.63 \pm 5.71^\circ$ 、WAX で $13.38 \pm 13.81^\circ$ であった。

荷重方向変化量は Imp 1, 3, 4 では MVC と比較して WAX で有意に大きな値を示した ($p < 0.01$)。Imp 2 では WAX と比較して MVC で大きな値を示した ($p < 0.01$)。



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 4 件)

1. Ogawa T, Zhang X, Naert I, Vermaelen P, Deroose CM, Sasaki K, Duyck J. The effect of whole body vibration on peri-implant bone healing in rats. Clin Oral Implants Res. 22(3):302-307. 2011 査読有

2. Ogawa T, Possemiers T, Zhang X, Naert I, Chaudhari A, Sasaki K, Duyck J. Influence of whole-body vibration time on peri-implant bone healing: a histomorphometrical animal study. J Clin Periodontol. 38(2):180-185. 2011 査読有

3. Ogawa T, Dhaliwal S, Naert I, Mine A, Kronstrom M, Sasaki K, Duyck J. Impact of implant number, distribution and prosthesis material on loading on implants supporting fixed prostheses. J Oral Rehabil. 37(7):525-531. 2010 査読有

4. Ogawa T, Dhaliwal S, Naert I, Mine A, Kronstrom M, Sasaki K, Duyck J. Effect of tilted and short distal implants on axial forces and bending moments in implants

supporting FDPs: An in vitro study. Int J Prosthodont. 23(6):566-573. 2010 査読有

〔学会発表〕(計7件)

1. 上條達央, 重光竜二, 依田信裕, 郡司良津, 佐々木啓一. インプラント周囲骨のストレス応答に及ぼす上部構造連結の影響. 日本口腔インプラント学会第31回 関東・甲信越支部 学術大会. 2012/2/11-12. 東京.

2. 重光竜二, 依田信裕, 郡司良津, 小針啓司, 佐々木啓一. インプラント埋入方向が機能時の骨内応力に与える影響の分析. 第41回日本口腔インプラント学会学術大会. 2011/9/16-18. 名古屋.

3. 小針啓司, 依田信裕, 郡司良津, 川田哲男, 小川徹, 佐々木啓一. 固定性インプラント補綴における支台インプラント本数・植立位置とインプラント荷重との関連 -生体内計測に基づく解析-. 第46回日本顎口腔機能学会学術大会. 2011/5/29-30. 仙台

4. 重光竜二, 松本哲哉, 石井優, 石川太郎, 依田信裕, 山川優樹, 池田清宏, 佐々木啓一. 有限要素法を用いた歯科インプラント義歯の顎骨内応力解析. 社団法人日本機械学会2010年度年次大会 2010/9/5-8. 名古屋

5. Y. Gunji, N. Yoda, R. Shigemitsu, T. Matsumoto, H. Kobari, T. Kawata, T. Kuriyagawa and K. Sasaki. Relationship between 3-D Load, Stress and Lateral Guidance of Implant. 88th IADR. 2010/7/14-17. Barcelona.

6. 郡司良津, 依田信裕, 小針啓司, 川田哲男, 厨川常元, 佐々木啓一. 上部構造に付与した側方ガイドが機能時にインプラントに加わる荷重に与える影響. 日本補綴歯科学会第119回学術大会 2010/6/11-13. 東京

7. 郡司良津, 依田信裕, 小針啓司, 川田哲男, 佐藤奈央子, 塙総司, 厨川常元, 佐々木啓一. インプラントおよび歯に加わる荷重の生体内三次元解析. 日本顎口腔機能学会第44回学術大会 2010/4/24-25. 広島

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川田 哲男 (KAWATA TETSUO)

東北大学・大学院歯学研究科・大学院非常勤講師

研究者番号 : 80292225

(2) 研究分担者

佐々木 啓一 (SASAKI KEIICHI)

東北大学・大学院歯学研究科・教授
研究者番号 : 30178644

小川 徹 (OGAWA TORU)

東北大学・病院・講師

研究者番号 : 50372321

依田 信裕 (YODA NOBUHIRO)

東北大学・大学院歯学研究科・助教

研究者番号 : 20451601

重光 竜二 (SHIGEMITSU RYUJI)

東北大学・病院・医員

研究者番号 : 00508921

末永 華子 (SUENAGA HANAKO)

東北大学・病院・医員

研究者番号 : 00508939

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :