

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24592896

研究課題名(和文) 固定性補綴装置の支台インプラント数・位置に関する生体内三次元荷重測定に基づく検討

研究課題名(英文) The effect of the configuration of implants supporting fixed partial denture on the load distribution based on in vivo measurement

研究代表者

川田 哲男 (Kawata, Tetsuo)

東北大学・歯学研究科(研究院)・大学院非常勤講師

研究者番号：80292225

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は生体内でインプラントに加わる荷重を三次元的に測定可能な装置を開発し、固定性上部構造の支台インプラント配置が荷重分布に及ぼす影響を調査した。被験者は下顎左側臼歯部に3本のインプラントが埋入されている67歳の女性とした。インプラント荷重測定装置は、キスラー社製小型水晶圧電式センサを使用した。カンチレバー付上部構造の場合、中間の支台インプラントに過大な荷重が加わった。遠心カンチレバー設計の場合、前方のインプラントには上方方向の荷重が加わった。代表者らが開発した荷重測定装置によりインプラントに加わる荷重を三次元および経時的に測定でき、インプラント配置が及ぼす影響を明らかにできた。

研究成果の概要(英文)：The aims of this study are to develop a device for in vivo measurement of three-dimensional (3D) loads in the implants, and to further investigate the implant configuration effects on the load distribution under a fixed partial denture (FPD). A 67-year-old female subject with three implants in mandibular molar area (35, 36, 37). The 3D load-measuring device consisted of piezoelectric transducers and an superstructure. The loads on the implants were recorded during the maximum voluntary clenching (MVC) and chewing a piece of chewing gum (GUM). With the 3I and the Br, the loads exerted on each implant were evenly distributed in both test scenarios. The maximum loads of 335.5 N and 277.6 N were detected on the 36-implant in DCBr and MCB, respectively, and the tensile load was observed on the 35-implant of DCBr during the GUM. The 36-implant exhibited the largest load in DCBr due to the cantilever effect, with significant margins compared to MCB and 3I during the GUM ( $p < 0.01$ ).

研究分野：補綴理工系歯学

キーワード：歯科用インプラント 生体内測定 圧電センサ 生体力学

### 1. 研究開始当初の背景

複数歯欠損に対するインプラント固定性補綴装置において、カンチレバー設計を応用することが多くなってきている。このカンチレバー設計の上部構造を用いることで、患者の経済的な負担を軽減し、また外科的なリスクを減らすことも可能とする。上下顎臼歯部にカンチレバーブリッジを適用した場合、インプラント周囲骨吸収等にも認められず、良好な経過を示すことも多数報告されている。

しかしながら、一方ではスクリーアの緩みやインプラント構造体の破折等、過大な荷重によると思われる機械的な合併症も同時に報告されている。特にブラキシズムやパラファンクションを持つ患者ではそのリスクが高まり、またこの荷重はインプラント周囲骨にも影響する可能性があることも報告されている。これらにおいてカンチレバーの影響は未だよく調査されていないのが現状である。

患者データベースの有限要素解析方法は上部構造そのものやインプラント周囲骨における荷重の影響を調査することが可能である。カンチレバーの場合、咬合力はこの原理により増大されることが示唆されているが、これはストレスの均等化を妨げる可能性がある。インプラント周囲骨への過大な機械的刺激は骨のリモデリングに影響を及ぼし、場合によっては骨結合の喪失を招きかねない。しかしながら、生体内で実際に加わっている荷重に関するデータはほとんど無く、これらの有限要素解析においては、これまで静的で一方の予測荷重が日常負荷荷重として使用されているのが現状であった。実際に生体に加わる荷重は複雑なものである。インプラントに加わる荷重状況は、補綴設計だけでは無く、咀嚼筋から発生する咬合力や顎顔面の形態や質も影響する。よりリアルなシミュレーションを行うためにも生体データは必須である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は生体内でインプラントに加わる荷重を3次元的に測定可能な装置を開発すること、さらに固定性上部構造のカンチレバーが荷重に及ぼす影響を調査することである。

### 3. 研究の方法

被験者は下顎左側臼歯部に部分欠損を有する67歳の女性とした。(図1)

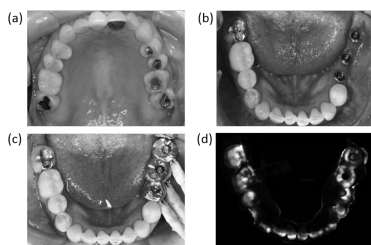


図1

3本のインプラント(前方より、35インプラント、36インプラント、37インプラントと呼ぶ)が同部に埋入されている。インプラントはブローネマルクシステム(直径3.75mm、長さ13mm)が用いられ、3年以上良好に機能している。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得た上で行い、また患者からは書面での同意書を得ている。

インプラントに加わる荷重測定には、小型水晶圧電式センサ(キスラー社製、スイス)を使用した。本センサはこれまで代表者らがその特性について解析しており、歯科領域での使用に最適化されたものである。本測定装置は、この圧電センサとアバットメント様下部構造および実験用上部構造から成る。実験用上部構造は3つのクラウンが連結された形態とし、白金加金にて製作した。これらは口腔内インプラントにスクリーア固定する形式とした。

本装置は圧電センサを装着したインプラントのみが機能できるように設計されている。これを利用し、以下の4つのインプラント配置を実験条件とした;3本全てのインプラントを使用(all three implants were used for supporting FPD:3I)(図2(a)), 35インプラントと37インプラントの2本を使用(a conventional bridge :Br)(図2(b)), 35インプラントと36インプラントの2本を使用(distal cantilever bridges: DCBr)(図2(c)), 36インプラントと37インプラントの2本を使用(mesial cantilever bridges: MCBr)(図2(d))。

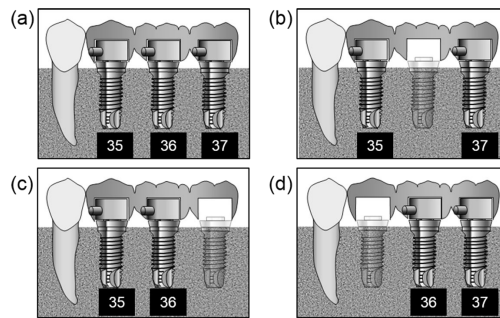


図2

咬合接触を同一にするために、全ての条件において同一の上部構造を用いた。実験は随意的最大咬みしめ(MVC, n=5)とチューインガム咀嚼(Gum, n=17)の2種類とした。ガムは最初に被験者の舌の上に置き、左側で咬むよう指示した。筋疲労を防ぐために、試行間に3分の休憩時間を取り入れた。随意的最大咬合力の測定にはデンタルプレスケール(フジフィルム社製)を用い、同社のオクルーザーにて分析した。

センサ固有の出力はケーブルの方向と上面のセンサ受圧面により座標が規制されており、これはインプラント埋入方向にも沿うものである。本症例をはじめ、ほとんどの臨床症例において、複数のインプラントは正確

に平行に埋入することは不可能であるため、各センサの出力分析には共通の分析座標を設定する必要がある。これには代表者らの過去の研究を応用し、フランクフルト平面を基準とした顎顔面基準座標を設定し使用した。この座標は顎顔面形態がどのようにインプラントに影響を及ぼすかを探るためにも有用であると考えられる。一元配置分散分析、その後のボンフェローニ検定により、各条件下での個々のインプラントに加わる荷重について比較した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 研究結果

Table 1 は各インプラント配置条件における MVC 時の歯列上咬合力値を示す。3I 時に咬合力が大きくなったが、各条件間において有意差は認められなかった。

図 3 は各条件において、各インプラントに加わる最大時の荷重をベクトル表示したものである。

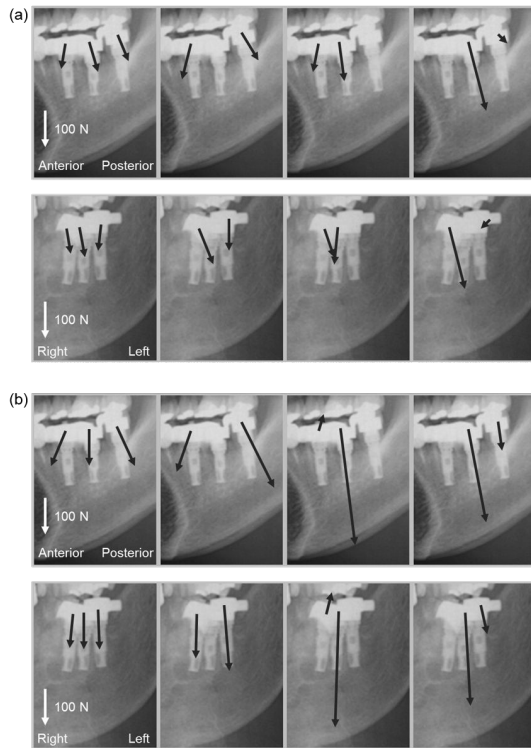


図 3

3I と Br において、MVC と GUM 共に荷重は各インプラントにほぼ均等に分散した。MDBr では、36-implant に大きな荷重が加わり、37-implant に加わる荷重は小さかった。DCBr では、GUM にて 36-implant に大きな荷重が加わったが、MVC では各インプラントにほぼ均等に分散した。加えて、GUM にて 35-implant には上方方向の荷重が加わった。図 4 は各インプラントに加わる 3 次元合力の最大値を示す。

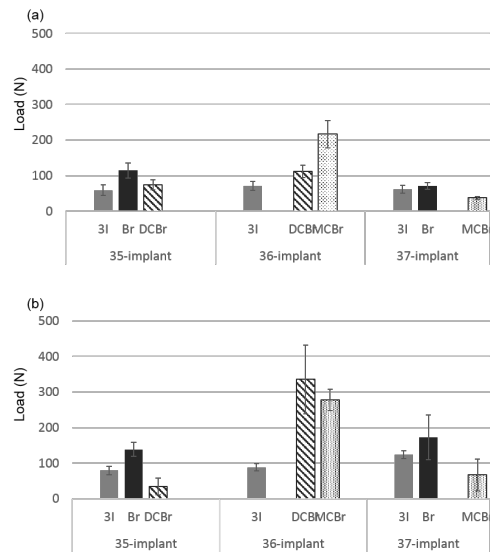


図 4

MVC において、35-implant に加わる荷重は Br ( $114.42 \pm 21.57$  N) が 3I ( $58.98 \pm 15.23$  N) に比較して有意に大きくなった ( $p < 0.01$ )。36-implant に加わる荷重は MCB ( $216.54 \pm 38.63$  N) で加わる荷重が有意に大きくなり、DCBr ( $111.81 \pm 16.89$  N), 3I ( $70.70 \pm 12.34$  N) の順であった ( $p < 0.01$ )。37-implant に加わる荷重は各条件において有意差は認められなかった。

GUM において、35-implant に加わる荷重は Br ( $138.79 \pm 19.79$  N) が 3I ( $79.22 \pm 12.12$  N) と DCBr ( $33.85 \pm 23.52$  N) に比較して有意に大きくなった ( $p < 0.01$ )。36-implant に加わる荷重は DCBr ( $335.50 \pm 96.79$  N) で加わる荷重が有意に大きくなり、MCB ( $277.60 \pm 30.16$  N), 3I ( $88.05 \pm 9.95$  N) の順であった ( $p < 0.01$ )。37-implant に加わる荷重は Br ( $172.31 \pm 62.93$  N) が 3I ( $123.97 \pm 10.97$  N) と MCB ( $66.55 \pm 45.46$  N) に比較して有意に大きくなった ( $p < 0.01$ )。

3I において、3本のインプラントに加わる各荷重に両タスクともに有意差は認められなかった。Br において、MVC では 35-implant に加わる荷重は 37-implant に加わる荷重に比較して有意に大きくなったが、GUM では有意差は認められなかった。DCBr において、MVC では 3本のインプラントに加わる各荷重に有意差は認められなかったが、GUM において 36-implant に加わる荷重は 37-implant に加わる荷重に比較して有意に大きくなった。MCB において、36-implant に加わる荷重は両タスク共に 37-implant に加わる荷重に比較して有意に大きくなった。

図 5 は GUM においてインプラントに加わる総荷重の時間変化を示す。全てのテストにおいて、加わる荷重は咀嚼が進行するにつれて徐々に減少していく傾向が認められた。各条件において、最大総荷重の値は、386.2 N (3I), 412.5 N (Br), 689.6 N (DCBr), 420.3

N (MCBr) であった。DCBr において、最初のストローク時に 36-implant に加わる荷重が最大であり、601.0 N であった。

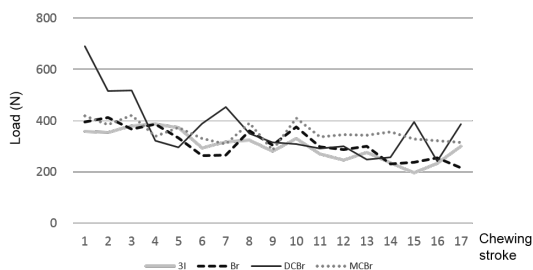


図 5

## (2) 考察

### 歯列上咬合力

咬合接触点在同一にもかかわらず、インプラント配置設計毎に歯列咬合力はわずかに異なりました。これは上部構造のひずみ方の違いや骨のひずみ等様々な理由が考えられました。加えて、骨感覚等の影響も可能性として考えられました。

生体データから読み取れる生体力学的リスク

カンチレバー設計の場合、カンチレバー部に隣接するインプラントに過大な力が加わることが認められたが、これは過去に同様の現象を調査した研究とも一致した。しかしながら、その値の範囲は異なり、これは測定装置や被験者の個人差等の影響が考えられました。過去の模型実験や計算力学的研究と異なる結果が認められたが、これは生体データが様々な要素：インプラント配列、埋入方向や間隔、さらには咀嚼筋群の活動方向、骨のひずみ等の影響が加味されているからと考えられました。

また、個人の主機能部位の考慮も重要と考えられました。本被験者は主機能部位が 36-implant に近い場合、カンチレバー時には 36-implant に過大な荷重が加わったが、その荷重の側方成分はそれほど大きくは無かった。一方、Br の場合、両支台インプラントにはカンチレバー時よりも過大な側方力が加わった。すなわち、患者の主機能部位について設計前に把握しておくことも重要であると考えられた。

### 測定装置開発と臨床的示唆

本測定装置を用いることで、これまでのストレインゲージでの測定では困難であった。咀嚼時の三次元的かつ経時的な生体内荷重測定が可能となった。本研究結果から、ブラキシズムやパラファンクションなどの過大な荷重が加わりやすい患者はカンチレバーブリッジでの機械的合併症が生じやすい可能性が示唆された。また、本研究から得られるデータは様々なコンピュータシミュレーションに適用する入力値としても活用できると考えられ、非常に有用であると思われる。

## 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 3 件)

(1) Shigemitsu R, Yoda N, Ogawa T, Kawata K, Gunji Y, Yamakawa Y, Ikeda K, Sasaki K. Biological-data-based finite-element stress analysis of mandibular bone with implant-supported overdenture. *Computers in Biology and Medicine*. 2014. 54:44-52. doi: 10.1016/j.combiomed. 査読有.

(2) Shigemitsu R, Ogawa T, Matsumoto T, Yoda N, Gunji Y, Yamakawa Y, Ikeda K, Sasaki K. Stress distribution in the peri-implant bone with splinted and non-splinted implants by in vivo loading data-based finite element analysis. *Odontology*. 2013. 101(2):222-226. doi: 10.1007/s10266-012-0077-y. 査読有.

(3) Yoda N, Gunji Y, Ogawa T, Kawata T, Sasaki K. In vivo load measurement to evaluate the biomechanical effects of a splinted implant-supported superstructure. *Int J Prosthodont*. 2013. 26(2); 143-146. doi: 10.11607/ijp.3223. 査読有.

〔学会発表〕(計 8 件)

(1) Matsudate Y, Yoda N, Nanba M, Ogawa T, Sasaki K. Biomechanical Analyses of Load Distribution onto the Abutment Tooth, Implants and the Residual Ridge in Implant-Supported Removable Partial Overdenture. Indonesian Prosthodontic Society and Japan Prosthodontic Society Joint Meeting. 2014/10/30-11/1. 「Hotel Grand Nikko Nusa Dua Bali (Indonesia)」

(2) Shigemitsu R, Mito T, Yoda N, Sasaki K. Evaluation of the influences of implant alignment to peri-implant stress. 5th. Advanced Digital Technologies in head and neck reconstruction: (ADT). 2014/9/6-8. 「Beijing International (中国)」

(3) Mito T, Shigemitsu R, Yoda N, Sasaki K. Comparative study on the homogeneity and inhomogeneity of bone modeling in FEA stress analyses of peri-implant bone. The 9th Scientific Meeting of the Asian Academy of Osseointegration. The 9th Scientific Meeting of the Asian Academy of Osseointegration. 2014/7/4-5. 「Sapporo Education and Culture Hall (札幌)」

(4) Matsudate Y, Yoda N, Kamiya S, Sasaki K. The effects of the attachments on loads onto the abutment implants and residual ridge in a mandibular implant-supported overdenture. The 9th Scientific Meeting of the Asian Academy of

Osseointegration.2014/7/4-5.「Sapporo Education and Culture Hall (札幌)」.

(5) Yoda N, Shigemitsu R, Ogawa T, Matsudate Y, Kawata T, Kuriyagawa T, Sasaki K. Biomechanics in Implant Prosthetic Dentistry - Investigation based on in vivo and in vitro measurement -.NIH-Tohoku University-JSPS Symposium. 2013/5/9-11. 「Gonryo Hall (Sendai)」.

(6) 依田信裕,小針啓司,班兆陽,孫堅,郡司良律,小川徹,川田哲男,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の本数・埋入位置とインプラント荷重との関連—生体内測定と模型測定の比較—. 第 49 回日本顎口腔機能学会学術大会. 2012/10/20-21. 「九州歯科大学 (福岡)」.

(7) 依田信裕,重光竜二,小針啓司,郡司良律,孫堅,川田哲男,小川徹,佐々木啓一. In Vivo 三次元荷重データに基づくインプラント補綴症例の生体力学的検討. 第 22 回日本歯科医学会総会. 2012/11/9-11. 「大阪国際会議場・インテックス大阪 (大阪)」.

(8) 小針啓司,孫堅,依田信裕,小川徹,佐々木啓一. 固定性補綴装置の支台インプラント本数・位置と荷重との関連に関する模型解析. 第 121 回日本補綴歯科学会学術大会. 2012/5/26-27. 「神奈川県民ホール (神奈川)」.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

川田 哲男 (Kawata Tetsuo)  
東北大学・歯学研究科 (研究院)・大学院  
非常勤講師  
研究者番号：80292225

### (2)研究分担者

依田 信裕 (Yoda Nobuhiro)  
東北大学・歯学研究科 (研究院)・助教  
研究者番号：20451601

佐々木 啓一 (Sasaki Keiichi)  
東北大学・歯学研究科 (研究院)・教授  
研究者番号：30178644

小川 徹 (Ogawa Toru)  
東北大学・歯学研究科 (研究院)・准教授  
研究者番号：50372321