

令和元年6月14日現在

機関番号：24601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K11220

研究課題名(和文) 即時荷重インプラントの骨界面における荷重伝達とオーバーロードの閾値の解明

研究課題名(英文) Load transmission at the bone-implant interface in an immediately loaded implant

研究代表者

杉浦 勉 (Sugiura, Tsutomu)

奈良県立医科大学・医学部・研究員

研究者番号：60398435

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：インプラント 骨界面における荷重伝達に影響する因子には、埋入部位の骨密度、荷重方向、インプラント埋入方向などがある。本研究では、下顎無歯顎のfull-archモデルにおけるマイクロモーション、ひずみ解析を行い、過大なマイクロモーション、オーバーロードのリスク因子を評価した。カンチレバーのない上部構造を用いることは、インプラント周囲骨に生じるひずみを低減させ、オーバーロードのリスクを回避するのに有効であると示唆された。上部構造の材料の違いはインプラント周囲骨のひずみおよびmicromotion低減には大きな影響を及ぼさないことが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、下顎無歯顎モデルにおけるマイクロモーション、ひずみ解析を行い、過大な微小動揺、オーバーロードのリスク因子を評価した。カンチレバーのない上部構造を用いることは、インプラント周囲骨に生じるひずみを低減させ、オーバーロードのリスクを回避するのに有効であると示唆された。上部構造の材料の違いはインプラント周囲骨のひずみおよび微小動揺低減には大きな影響を及ぼさないことが示された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to investigate the biomechanical behavior of immediately loaded implants in an edentulous mandible. Mandibular fixed full-arch prostheses without cantilevers may result in a favorable reduction of the peri-implant bone strain during the healing period, compared with cantilevers. Framework material did not play an important role in reducing the peri-implant bone strain and micromotion at the bone-implant interface.

研究分野：口腔外科学

キーワード：歯科インプラント 生体力学

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、インプラント治療においては即時・早期荷重の重要性が増してきている。多くの臨床報告でさまざまな欠損症例に適用されているが、その科学的根拠は不十分であり、即時荷重の適応症例としてコンセンサスが得られているのは一部に過ぎない。インプラント治療におけるリスクファクターの中でも、即時荷重インプラントにおいてはインプラント 骨界面における過大なマイクロモーション（微小動揺）およびオーバーロード（負担過重）がインプラントの予後に大きな影響を与える可能性が高いと考えられている。

インプラント 骨界面における荷重伝達に影響する因子として、埋入部位の骨密度、インプラント 骨界面の状態、インプラントの材質や表面性状、咬合状態などが重要であるとされているが、これらが骨界面の荷重伝達に及ぼす影響については解明されていない。

### 2. 研究の目的

埋入部位の骨密度、荷重方向、インプラント埋入方向が即時荷重インプラントにおける荷重伝達に及ぼす影響を明らかにする。次いで、荷重伝達の再現性を高めた有限要素モデルを用いて、下顎無歯顎の full-arch モデルにおけるマイクロモーション、ひずみ解析を行い、過大なマイクロモーション、オーバーロードのリスク因子を評価する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 荷重伝達を再現した有限要素モデルの作成 荷重試験による妥当性確認

即時荷重インプラントの骨界面における荷重伝達を再現した有限要素モデルを作成するために模擬骨を用いた実験を行った。皮質骨および海綿骨の材料特性を有する模擬骨(Sawbones, USA)にスクリータイプインプラントを埋入した。垂直に埋入したモデルおよび 30 度遠心傾斜させたモデルを作成した。アバットメント先端に 200N の垂直荷重または後下方への 45 度傾斜荷重(oblique loading)を加え、アバットメントの変位を測定した。荷重試験を想定した有限要素モデルを作成した。荷重試験と同条件の荷重を負荷し、アバットメントの変位および微小動揺を算出した。両者の変位量を比較し、有限要素モデルの妥当性を評価した。

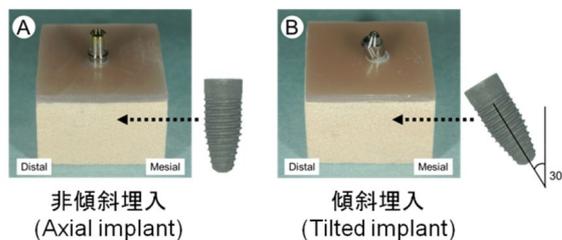


図1. インプラント埋入モデル

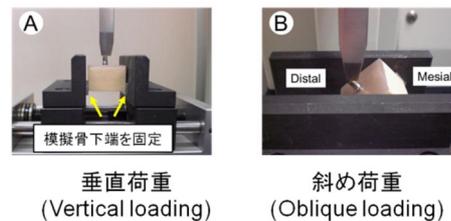


図2. 荷重試験

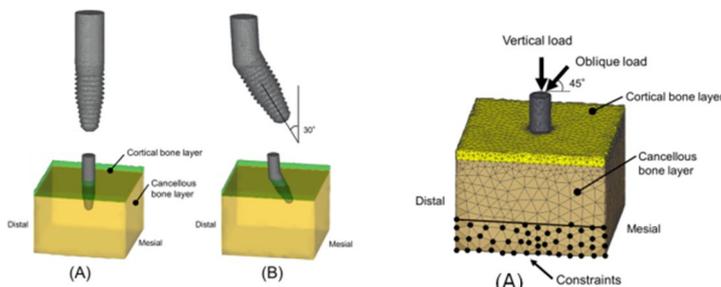


図3. 有限要素モデル

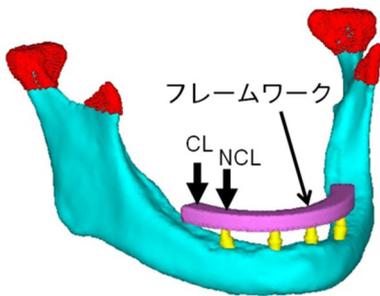
## (2) 微小動揺に影響を及ぼす因子の検討

妥当性確認した有限要素モデルで、1) 埋入部位の骨密度および皮質骨の厚さ、2) インプラント埋入角度、3) 荷重方向がマイクロモーションに及ぼす影響を単独インプラントモデルで評価した。

## (3) 下顎無歯顎の full-arch モデルにおけるマイクロモーション、ひずみ解析

All-on-Four コンセプトに基づいたインプラント埋入モデルを作成し、即時荷重を負荷した場合の力学的評価を行い、1) 即時荷重負荷による影響、2) 上部構造のカンチレバーによる影響、3) フレームワークの材料の違いによる影響について検討した。

オトガイ孔間に4本のインプラントを埋入し、後方のインプラントを遠心に30度傾斜させたモデルを作成した。上部構造は両端を第一大臼歯部まで作成し、アバットメントとインプラントは一体化させた。インプラントと骨との結合を仮定した遅延荷重(DL)モデルおよびインプラントと骨との接触を仮定した即時荷重(IL)モデルを作成した。上部構造の材料はチタンまたはレジンとした。荷重条件として、200Nの垂直荷重を1) カンチレバー部に負荷(カンチレバーモデル: CL)または2) 後方インプラントの上部に負荷(非カンチレバーモデル: NCL)し、インプラント-骨界面における相対変位(micromotion: 微小動揺)およびインプラント周囲骨の最小および最大主ひずみを算出した。



## 4. 研究成果

(1) インプラント-骨界面の状態の設定として、摩擦係数0.6とした接触条件とした場合の有限要素解析と荷重試験の変位量との違いは平均14.0%であり、有限要素モデルの妥当性が確認された。

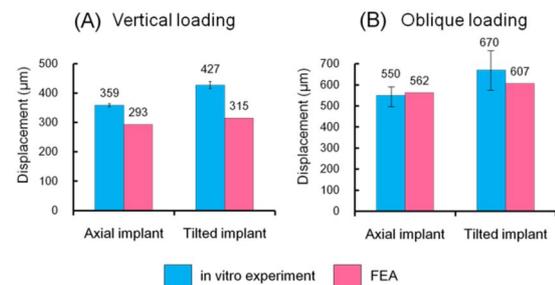


図4. アバットメントの変位

## (2) 有限要素解析で算出された微小動揺

1) 微小動揺の最大値はすべてのモデルでインプラント先端部に発生した。

2) 垂直荷重時の微小動揺は、非傾斜埋入と傾斜埋入で違いが認められなかったが、斜め荷重時には傾斜埋入の微小動揺は非傾斜埋入と比べ38.7%減少した。

3) 斜め荷重時の微小動揺は垂直荷重時の2.8~4.1倍であった。

4) アバットメントの変位と微小動揺との関係は荷重方向によっても、またインプラントの埋入角度によっても異なった。

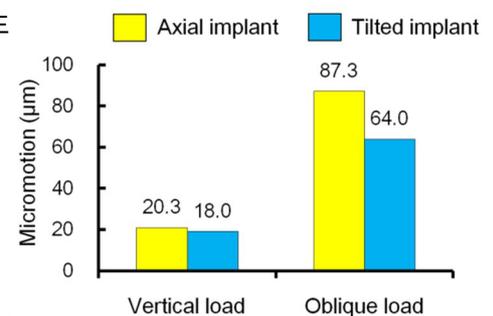


図5. 微小動揺の最大値

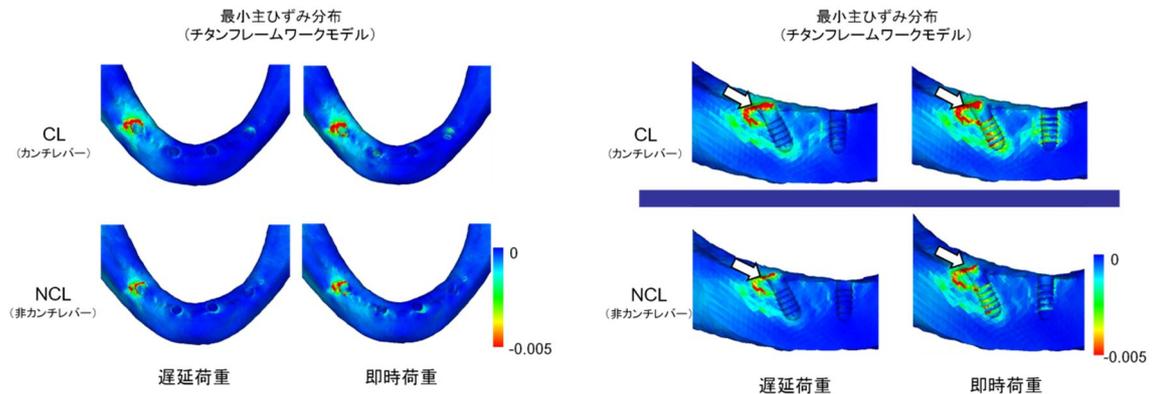
【結論 1】

1. 初期固定性に関しては傾斜埋入はリスク因子にはならないことが示された。
2. 微小動揺は荷重方向の影響を大きく受けた。側方力の低減を図ることとは、過大な微小動揺を回避するのに著しく有効である。
3. アバットメントの変位と微小動揺との関係は荷重方向によっても、またインプラント埋入方向によっても異なることから、インプラント・アバットメントの絶対変位で初期固定性を評価するには注意を要することが示唆された。

(3) 下顎無歯顎の full-arch モデルにおけるマイクロモーション、ひずみ解析

最小主ひずみ集中部位は、全モデルにおいて最後方インプラントの遠心側の頸部付近の周囲骨であり、最大主ひずみは遠心側から舌側の頸部付近の周囲骨に集中していた (Fig 3, 4)。即時荷重モデルの最小主ひずみは、遅延荷重モデルと比較して非カンチレバーモデルで 24.0~35.8%、カンチレバーモデルで 26.4~39.0%の増加を認めた。カンチレバーモデルと比較して、非カンチレバーモデルの最小主ひずみは 45.4~52.6%、最大主ひずみは 55.0~71.5%の減少を認めた。フレームワーク材料の違いは骨の最大および最小主ひずみにほとんど影響しなかった。

各モデルの Micromotion のピーク値は、チタンフレームワークと比べレジジンフレームワークモデルで大きく、最大値はカンチレバー荷重時の 14.4 μm であった。

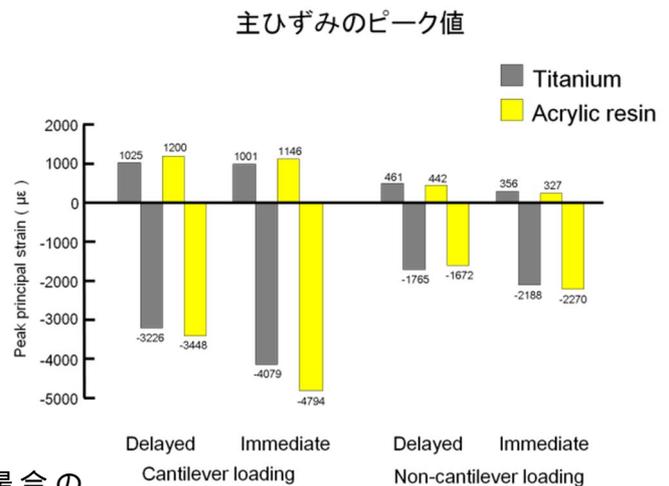


【結論 2】

インプラント埋入後の治癒期間にカンチレバーのない上部構造を用いることは、インプラント周囲骨に生じるひずみを低減させ、オーバーロードのリスクを回避するのに有効である。

骨 インプラント界面における micromotion が 150 μm を超えると骨とインプラントとの結合が阻害されるとされている。本解析の micromotion の最大値は 14 μm であり、“All-on-Four” コンセプトに基づいて即時荷重を適用した場合の micromotion は許容範囲内にあると考えられた。

上部構造の材料の違いはインプラント周囲骨のひずみおよび micromotion 低減には大きな影響を及ぼさないことが示された。



## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

Sugiura T, et al. Micromotion analysis of different implant configuration, bone density, and crestal cortical bone thickness in immediately loaded mandibular full-arch implant restorations: A nonlinear finite element study. *Clin Implant Dent Relat Res*. 20: 43-9, 2018 .

Sugiura T, et al. Effects of implant tilting and the loading direction on the displacement and micromotion of immediately loaded implants: an in vitro experiment and finite element analysis. *J Periodontal Implant Sci* 47: 251-62, 2017.

Horita S, Sugiura T, et al. Biomechanical analysis of immediately loaded implants according to the “All-on-Four” concept. *J Prosthodont Res* 61: 123-32, 2017.

Sugiura T, et al. The effects of bone density and crestal cortical thickness on micromotion and peri-implant bone strain distribution in an immediately loaded implant: A nonlinear finite element analysis. *J Periodontal Implant Sci* 46: 152-65, 2016.

〔学会発表〕(計4件)

Influence of tilting of implant and the loading direction on the displacement and micromotion of immediately loaded implants: an in vitro experiment and finite element analysis

杉浦勉, 他 . 第30回台湾口腔顎顔面外科学会 . 高雄医科大学 . 2018.3.10 ~ 11.

Effects of bone density and inclination of implant on micromotion at the bone-implant interface  
Tsutomu Sugiura, Kazuhiko Yamamoto, Satoshi Horita, Kazuhiro Murakami, Tadaaki Kirita . 第23回国際口腔顎顔面外科学会香港 . 2017.3.31.

Effects of bone density and inclination of implant on micromotion at the bone-implant interface.

杉浦勉, 他 . 第47回日本口腔インプラント学会・学術大会, 2017.11.18.

埋入部位の骨密度および傾斜埋入がインプラントの微小動揺に与える影響 .  
杉浦勉, 他 . 第20回日本顎顔面インプラント学会・総会・学術大会, 2016.12.4 .

〔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 :

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 :

国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：山本一彦

ローマ字氏名：YAMAMOTO KAZUHIKO

所属研究機関名：奈良県立医科大学

部局名：医学部

職名：研究員

研究者番号：20203842

研究分担者氏名：堤定美

ローマ字氏名：TSUTSUMI SADAMI

所属研究機関名：金沢工業大学

部局名：先端電子技術応用研究所

職名：客員教授

研究者番号：00028739

研究分担者氏名：村上 和宏

ローマ字氏名：MURAKAMI KAZUHIRO

所属研究機関名：奈良県立医科大学

部局名：医学部

職名：研究員

研究者番号：60569078

研究分担者氏名：堀田 聡

ローマ字氏名：HORITA SATOSHI

所属研究機関名：奈良県立医科大学

部局名：医学部

職名：学内講師

研究者番号：60526713

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。