

令和 5 年 6 月 18 日現在

機関番号：24601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K17101

研究課題名（和文）即時荷重インプラントオーバーデンチャーにおける微小動揺の予測とプロトコルの確立

研究課題名（英文）Prediction of micromotion and establishment of protocols for immediate-loading implant overdenture

研究代表者

堀田 聡 (Horita, Satoshi)

奈良県立医科大学・医学部・講師

研究者番号：60526713

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：下顎無歯顎にインプラントを埋入し、ロケータアバットメントを用いたインプラントオーバーデンチャーモデルを作成した。有限要素解析を用いて様々な条件下にて力学解析をおこなった。即時荷重時にハイリスクとなる片側臼歯部への荷重条件下の場合、下顎骨では両側のインプラント近心側、歯肉では荷重側のインプラント遠心付近に応力集中がみられた。また微小動揺は、荷重側のインプラントでは舌側、非荷重側インプラントでは遠心側に大きく認められた。しかし通常想定する荷重下における微小動揺の大きさは、骨の治癒を阻害しない許容範囲内であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

インプラント治療における即時荷重（早期の咬合回復）の成功は、インプラントの微小動揺を許容範囲内にしてオッセオインテグレーション（インプラントと骨との結合）の獲得が重要であるが、この微小動揺は解明されていない。本研究で得られた微小動揺の発生部位や大きさの予測を、術前にインプラント診断の指標として追加応用できれば、客観的な評価を含めたインプラントシミュレーションが可能となり、インプラント治療における成功率の向上に寄与すると考えている。

研究成果の概要（英文）：An implant-over-denture model was developed by placing an implant in the edentulous mandible and utilizing a locator abutment. Finite element analysis was employed to examine the mechanics under various conditions. When subjected to unilateral molar loading, which presents a high-risk scenario for immediate loading, stress concentrations were observed in the mandible on both sides proximal to the implants on both sides, as well as in the gingiva on the distal side of the implants on the loading side. Micromotion was observed on the lingual and centrifugal sides of the loading and non-loading implants, respectively. However, the extent of micromotion during normal loading conditions fell within an acceptable range that did not impede bone healing.

研究分野：歯科インプラント学

キーワード：即時荷重 インプラントオーバーデンチャー 微小動揺

1. 研究開始当初の背景

(1) 下顎無歯顎へインプラントを埋入する場合、骨吸収により下歯槽神経までの距離が十分にないため、インプラントの埋入により神経損傷のリスクが生じるなど、解剖学的な制限がある。このリスクを回避し、より低侵襲でかつ安価な方法として、オトガイ孔間へインプラントを埋入し、このインプラントを支持とする義歯であるインプラントオーバーデンチャー( IOD) が用いられている( 図1)。また腫瘍や骨髄炎などにより下顎骨辺縁切除や顎骨離断、腭骨等による再建後の補綴の手段として保険適応されている広範囲顎骨支持型装置は IOD を補綴へ適応する場合が多い。

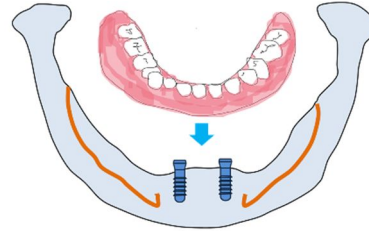


図1 インプラントオーバーデンチャー模式図

(2) 治療期間を短縮するために、インプラント埋入と同時に咬合させる即時荷重が求められている。この即時荷重における治療成績の向上のためには、埋入時の初期安定性を保ち、かつ荷重後に骨結合するまで間のマイクロモーション(微小動揺)を許容範囲内に維持することが必要である。骨治癒を阻害しない微小動揺の閾値は 100~150 $\mu$ m とされている。この微小動揺に影響を及ぼす因子には、インプラント周囲の骨密度・骨量、形状、埋入部位(配置・本数)、咬合様式(荷重・上部構造)などがあるが、術前に微小動揺の大きさを予測することは困難である(図2)。そのため、臨床においては術者の経験に委ねられた判断であり、どのような症例・治療計画であれば、即時荷重および IOD を適応してよいかの判断基準を示したガイドラインなどがない。

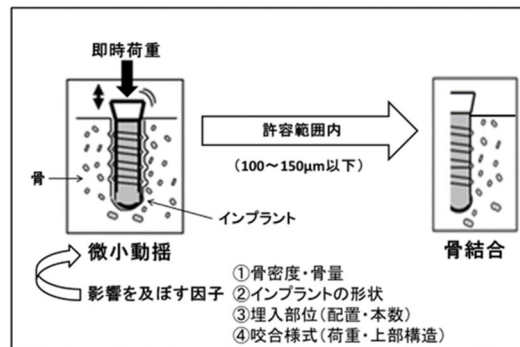


図2 微小動揺とオッセオインテグレーション(骨結合)の関係

2. 研究の目的

即時荷重インプラントの適用基準に関する科学的根拠を提供し、新たな治療指針を確立することを目的とする。

(1) 具体的な目的は、IOD におけるインプラントにおいて荷重時期および埋入部位・咬合様式による初期固定性に及ぼす影響により、微小動揺の大きさおよび影響する因子を解明すること、微小動揺を評価基準とした力学シミュレーションを構築すること。

(2) これらの結果から、IOD における即時荷重インプラントの適用基準、咬合様式の新たなプロトコルの作成につなげることである。

3. 研究の方法

(1) 生体モデルにおける変位データの収集

イヌ脛骨を用いて、インプラント埋入を行う。埋入時の条件は、モノコルチカルとして埋入トルク; 30-35Ncm として ISQ 値; 60 以上となるように調整する。埋入後に精密荷重試験機を用いてインプラントアバットメント部に荷重し、インプラントの変位量を周囲骨のひずみとしてひずみゲージを用いて計測する。脛骨摘出後、インプラントを含む非脱灰研磨標本を作製し、骨吸収および骨形成部位、骨接触率などの骨形態計測を行う。

(2) 広範囲顎骨支持型装置における IOD の臨床検討

腫瘍や骨髄炎などにより下顎骨辺縁切除や顎骨離断、腭骨による再建後の症例など通常の下顎骨と形状および組成の異なる骨に IOD による補綴をおこなった症例の臨床検討(硬組織・軟組織の評価、咀嚼機能を含めた QOL の評価)を行う。

(3) インプラント設計の力学シミュレーション(下顎無歯顎における IOD の力学解析)

CT 画像から Mechanical Finder (RCCM) を用いて有限要素モデルを作成する。比較モデルは、本数(オトガイ孔間に 2~4 本)、配置(平行・傾斜)、咬合様式(荷重量; 100/200N, 荷重部位; 前歯部/臼歯部、上部構造; 通常アバットメント/ロケーターアバットメント)とする。作成した有限要素モデルにて、力学シミュレーションを行う。生体モデルの変位データと解析結果を含めてプロトコルにつなげる。

4. 研究成果

(1) 予備実験にて、摘出したビーグル犬の脛骨へのインプラントの埋入を行った。しかし、脛骨は皮質骨が多く、海綿骨はほとんど存在しない長管骨であり、埋入トルクを一定にして埋入することに難渋した。実際の生体での埋入操作はかなり困難であると判断し、顎骨による実験を代替案とした。そこで、ビーグルの顎骨を用いてインプラント埋入のシミュレーションを行い、第1後臼歯にインプラント埋入を検討した(図3)。しかし、予備実験においてビーグル顎骨の第1後臼歯を愛護的に抜歯し、同部へのインプラント埋入についても、脛骨同様にトルクコントロールを行うことが困難であった。さらに生体における実験方法や計画について検討したが、想定した通りに進まないと判断し、以降の実験を断念した。

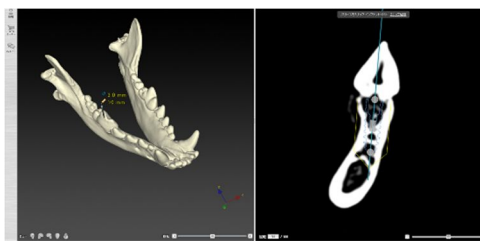


図3 ビーグル顎骨シミュレーション画像

(2) 広範囲顎骨支持型装置の適応となる顎骨再建症例は、骨形態の変形、軟組織の拘縮、口腔前庭の喪失や、遊離骨皮弁により再建された顎骨では皮弁により顎義歯は不安定となり、咀嚼機能の回復は困難となる場合も多い。IOD 適応に際しては、再建後の硬組織/軟組織の評価が重要であり、インプラント周囲組織獲得の方法および咀嚼機能評価を行った。対象は、当科にて2012年4月から2020年4月までに顎骨再建後に広範囲顎骨支持型装置を適用し、最終補綴を装着した患者であり、本研究は倫理委員会の承認のもと実施した(受付番号 2650)。検討項目は、原疾患、年齢、埋入部位/本数、上部構造の種類、咀嚼機能評価を含めたQOLの評価とした。なおQOLの評価はOral Health Impact Profile(OHIP-14)によるアンケートを用いて、顎骨再建前後、インプラント治療後の状態について評価した。統計処理は、ウィルコクソン符号付順位検定を用いた。特にQOLの評価について示す。再建前のスコアは12.6、再建後のスコアは43.4であり、インプラント治療後のスコアは16.0であった(図4)。インプラント治療後のスコアは、再建前と同程度であり再建後と比較して有意なスコアを示した。これらの結果から、インプラント治療により顎骨再建により低下したQOLが改善されたことが示唆された。

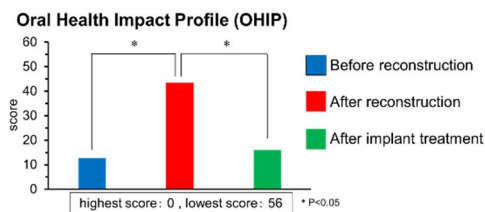


図4 QOLの評価

(3) 下顎無歯顎にIODの即時荷重を想定し、インプラントを2本埋入し、ロケータアバットメントを装着し、下顎総義歯を装着したモデルをCTデータおよびMechanical Finder(RCCM)にて作成した。基本モデルにおけるそれぞれの材料特性や接触条件は表1に示す。荷重は左側下顎第1,2大臼歯にそれぞれ100Nとし、拘束条件は両側の顎関節および筋突起部を完全拘束とした。有限要素解析を用いて力学解析をおこなった。即時荷重時にハイリスクとなる片側臼歯部への荷重条件下の場合においては、インプラント周囲の下顎骨は、両側のインプラント近心舌側付近に最大主応力を認めた(図5)。歯肉では、荷重側のインプラント遠心付近に最大主応力がみられた。また微小動揺においては、荷重側のインプラントでは舌側部、非荷重側インプラントでは遠心側部において最大値を認めた(表2)。さらに材料特性や接触条件を変更し、通常想定されるさまざまな条件下にて比較検討をおこなったが、微小動揺の大きさは骨の治癒を阻害しない許容範囲内であった。つまりIODの即時荷重は有効な方法であることが示唆された。しかし、本研究で示す微小動揺の発生部位や大きさの予測データを得るには、1症例(1モデル)のデータを出すためには膨大な時間と労力を必要とする。今後は、これらを簡便に出せるような方法を検討し、術前にインプラント診断の指標として追加応用できれば、客観的な評価を含めたインプラントシミュレーションが可能となり、インプラント治療における成功率の向上に寄与すると考えている。

表1 材料特性・接触条件	ヤング率 (MPa)	ポアソン比	摩擦係数
部位			
下顎骨	不均質 <sup>1)</sup>		0.4
歯肉	1.664	0.44	0.3
義歯	3520	0.4	0.3
インプラント	110000	0.35	0.3
ロケータアバットメント	110000	0.35	0.3
デンチャーキャップ	110000	0.35	0.3
リプレイスメント	8000	0.35	0.3

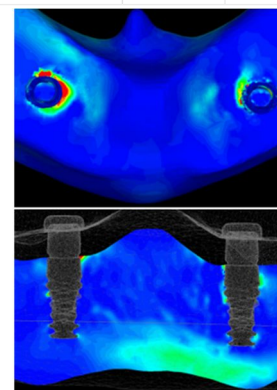


図5 最大主応力

表2 微小動揺	Micromotion at bone-implant interface (μm)
Side	
non-loading	3.665
loading	4.942

< 引用文献 >

J H Keyak , S A Rossi, et al. Prediction of femoral fracture load using automated finite element modeling J Biomech. 1998 Feb;31(2):125-33 .

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 0件）

1. 著者名 堀田 聡, 中上佳寿彦, 今田光彦 上田順宏, 桐田忠昭	4. 巻 20
2. 論文標題 下顎歯肉癌切除後の歯科インプラントによる咀嚼機能回復 口腔外科の立場から	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 顎顔面インプラント誌	6. 最初と最後の頁 269-279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 HORITA Satoshi, KIRITA Tadaaki
2. 発表標題 Masticatory rehabilitation after the bone reconstruction with dental implant
3. 学会等名 The 67th Congress of the Japanese Society of Oral and Maxillofacial Surgeon sInternational symposium
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 日本口腔外科学会、桐田忠昭、鄭 漢忠、池邊哲郎、原田浩之、古郷幹彦、瀬戸院一、野間弘康	4. 発行年 2022年
2. 出版社 クインテッセンス出版	5. 総ページ数 240
3. 書名 一般臨床家、口腔外科医のための口腔外科ハンドマニュアル ' 22	

〔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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------