

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K17202

研究課題名(和文) 荷重解析に基づくインプラント支持型可撤性部分床義歯の最適設計の探索

研究課題名(英文) Search for optimal design of implant supported removable partial denture based on load analysis

研究代表者

松館 芳樹 (matsudate, yoshiki)

東北大学・歯学研究科・助教

研究者番号：40755170

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では小型水晶圧電式センサおよびタクトイルセンサシートを用いた荷重測定実験を行なった。その結果、インプラント補助型可撤性部分床義歯(IARPD: implant-supported removable partial denture)における支台インプラント本数と位置が直接支台歯、支台インプラント、および義歯床下粘膜に与える影響を解析できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

IARPDの支持要素である直接支台歯、支台インプラント、および義歯床下粘膜は支台インプラントの設置位置、本数により荷重の影響が異なるため、IARPD設計の際にはその影響を考慮しなければならない。特に欠損部顎堤の近心にインプラントを設置した場合、直接支台歯の荷重は減少したこと、また、欠損部顎堤の遠心にインプラントを設置した場合、義歯床下粘膜の荷重は大幅に減少したことはIARPDの設計を行う上で重要な生体力学的知見となる。

研究成果の概要(英文)：This model experiment using piezo-electric 3D force transducers and a tactile sheet sensor enabled us to clarify the effects of the number and location of implants supporting an IARPD on loading to an abutment tooth and the underlying residual ridge.

研究分野：歯科補綴

キーワード：部分床義歯 インプラントオーバーデンチャー 生体力学

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、遊離端欠損部顎堤に少数の歯科用インプラントを設置し、部分床義歯の支持または維持装置として機能させるインプラント補助型可撤性部分床義歯 (Implant-assisted partial removable denture: IARPD) の臨床応用が拡大している。これは咀嚼等の機能時の義歯の安定強化や、維持力増強の効果が大きく、また固定性インプラント補綴と比較して外科的侵襲が小さく、かつメンテナンスが簡便であること等多くの利点がある。しかしながら、IARPD において、義歯とインプラントを繋ぐアタッチメントの破損、義歯の破折などの機械的な合併症や、インプラント周囲の骨吸収等の生物学的合併症も報告されている¹⁾。合併症の主因として力学的要因が考えられるが、IARPD の支持要素は、歯、インプラント、顎堤粘膜と被圧変位量が全く異なり、機能時の各支持要素への荷重分散や義歯の挙動に関しては不明な点が多い。

2. 研究の目的

本研究は、IARPD の支台歯、インプラント、および顎堤粘膜の各支持要素に加わる荷重を生体内にて測定することで、支台インプラントの位置および各種アタッチメントが各支持要素への荷重分散に及ぼす影響を解析することを目的とする。さらに支台インプラント配置やアタッチメントの違いが、口腔機能 (咬合力・咀嚼能率・主機能部位)、に及ぼす影響も調査する。また、生体内荷重測定用の装置を応用し、IARPD をシミュレーションした模型実験を行うことで、生体内測定にて得られた荷重解析結果を検証し、荷重分散や義歯の挙動に関わる因子や口腔機能との関連を明らかにすることで、生体力学的見地から最適な IARPD 設計を検索する。

以上より、患者個々の荷重条件や口腔内条件を基準に、力学的合併症の危険性が少なく、かつ良好な機能を発揮可能なテーラーメイドの IARPD 設計を実現するための、生体力学的知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究で目的とした生体内測定は測定装置の大きさ等に制限が大きく、被験者の選定が非常に困難であった。そこで生体内測定実験に先立ち、荷重測定装置の設定調整および出力値の確認を兼ねて、最初に模型実験を実施した。

下顎片側遊離端欠損モデルを用い、IARPD の支台インプラントの設置位置 (近心、遠心) およびアタッチメントの種類が支台歯、インプラントおよび義歯床下粘膜に加わる荷重に及ぼす影響を調査し、荷重分散に影響する因子について解析する。

(1) 実験用装置、模型

荷重測定装置は支台歯および支台インプラントに直径 7 mm、高さ 5 mm の小型水晶圧電式センサ (Z18400: KISTLER 社製、スイス) (図 1)、義歯床下粘膜部に厚さ 0.1 mm、12 mm 四方のタクトイルセンサシート (I-SCAN, Nitta 社製) (図 2) を使用した。実験用模型は下顎右側遊離端欠損 (45-47) 模型 (NISSIN 社製、日本) を使用し、支台インプラントは Straumann 社製スタンダードプラス RN タイプを 45 部 (近心インプラント)、47 部 (遠心インプラント) に設置した。アタッチメントはボールアタッチメントとし、直接支台歯 (44) は白金加金にて鋳造法にて製作、人工歯根膜と欠損部顎堤人工粘膜は付加型シリコン印象材にて製作した (図 3)。

(2) 実験用義歯

義歯はアクリリックレジン製とし、間接維持装置に双子鉤、直接維持装置に RPI クラスプを適用した Co-Cr 合金による金属床義歯を使用した。

(3) 実験条件

支持条件として、no-imp: インプラント無し、M-imp: 近心インプラント (Imp1)、D-imp: 遠心インプラント (Imp2)、MD-imp: 近心、遠心インプラント (Imp1、Imp2) の 4 条件を設定した。荷重条件は定負荷荷重装置を用い、荷重点を第一大臼歯相当部、荷重方向を咬合平面に垂直方向とし、各荷重量 10、30、50、100 N の各条件において 5 回測定を行なった。

(4) 分析

各実験条件における直接支台歯、支台インプラントに加わる荷重の大きさ、および方向と義歯床下粘膜に加わる荷重と荷重動態の解析を行った。

4. 研究成果

(1) 支台歯、支台インプラントに加わる荷重

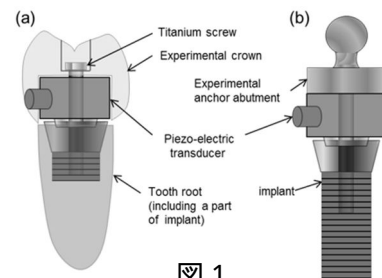


図 1

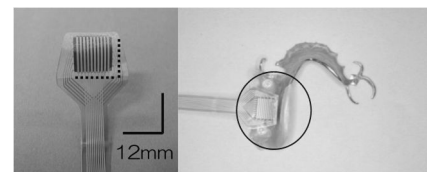


図 2

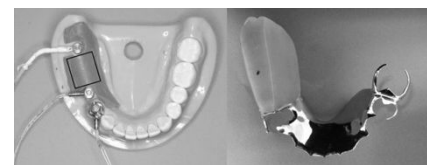


図 3

図4に各支持条件における支台歯、支台インプラントに加わる荷重を示す。M-imp, D-imp, MD-impでは各負荷荷重と支台インプラントに加わる荷重に有意差が認められた。

no-imp と D-imp では各負荷荷重と支台歯に加わる荷重に有意差が認められた($p < 0.01$)。しかしながら、M-imp、MD-impでは有意差は認められなかった($p > 0.05$)。各支持条件間における支台歯に加わる荷重を比較すると、30、50、100N 荷重時の D-imp と他の3つの支持条件で有意差が認められた($p < 0.01$)。また、50、100N 荷重時の no-imp と M-imp および MD-imp で有意差が認められた($p < 0.01$)。

支台インプラントに加わる荷重は、50、100N 荷重時、D-imp の Imp2 で最大の荷重値となり、次いで M-imp の Imp1、MD-imp の Imp2、MD-imp の Imp1 となった($p < 0.01$)。図5では支台歯および支台インプラントの荷重ベクトルを示す。M-imp では支台歯に上方方向の荷重が発生したが、D-imp、MD-imp では下方方向の荷重が認められた。支台歯の x 軸、y 軸による水平方向の荷重ベクトルは M-imp、D-imp と no-imp、MD-imp にて有意差が認められた($p < 0.01$)。水平方向の荷重は M-imp の Imp1 で最大であった($p < 0.01$)。

(2) 義歯床下粘膜に加わる荷重

図6(a)では、義歯床下粘膜に加わる圧力を計測し、荷重に変換した値を示す。荷重を加えた際、no-imp、M-imp では義歯床下粘膜に加わる荷重は有意に増加した($p < 0.01$)。一方、D-imp では増加は少なく、MD-imp ではほぼ変化は認められなかった。50、100N 荷重時、no-imp で最も荷重は大きく、次いで M-imp、D-imp、MD-imp となった。図6(b)では100N 荷重時の荷重分布を示す。no-imp、M-imp では遠心側に大きく荷重が加わったことが認められた。

(3) 考察

本研究より、遊離端部に隣接する直接支台歯と義歯床下粘膜に加わる荷重に支台インプラントの位置と本数が影響することがわかった。支台歯の荷重は M-imp、MD-imp で D-imp より有意に小さかった。しかしながら、M-imp の Imp1 では荷重ベクトルは上方方向であり、側方方向成分は最大となった。その要因として、荷重点が Imp1 に対し遠心にあるため、RPI クラスプによって支台歯に上方方向の荷重を発生させ、義歯を回転させる力学的モーメントを発生させたことによる。その一方、M-imp では支台インプラントが義歯の近心寄りに設置されていることにより、no-imp よりも支台歯に加わる荷重は減少することが判明した。

また、D-imp ではインプラントを支持に用いているにも関わらず、支台歯に加わる荷重は no-imp よりも有意に大きくなった。インプラントを支持に使用していない no-imp では、荷重時に義歯は沈下し、義歯床下粘膜の支持は最大となった。

一方、遠心にインプラントを設置した D-imp、MD-imp では no-imp と比較して、義歯床下粘膜に加わる荷重は減少した。この結果は近年報告されている内容と一致していた。欠損部顎堤の遠心

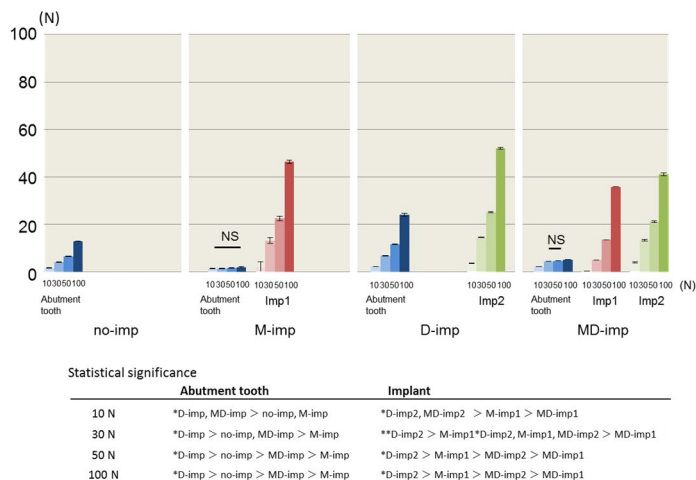


図4

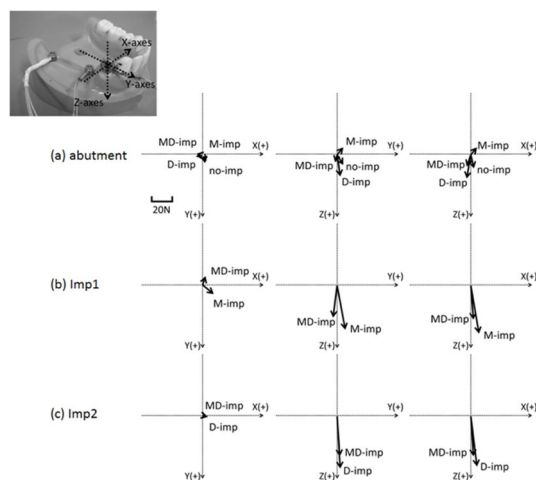


図5

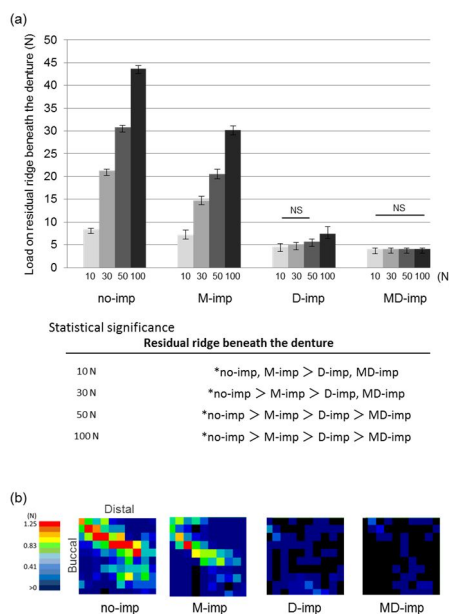


図6

端にインプラントを支持として用いることは義歯の沈下を抑制する効果があるが、本実験においては遠心にインプラントを設置しても、各負荷荷重において義歯床下粘膜に加わる荷重は 0N にはならなかった。これは荷重によって義歯が変形し、義歯床下粘膜に影響を与えていることが示唆される。しかし、義歯の変形があるにも関わらず、支台歯と遠心インプラントが主な支持要素である D-imp においては義歯床下粘膜に加わる荷重の変化は少なかった。

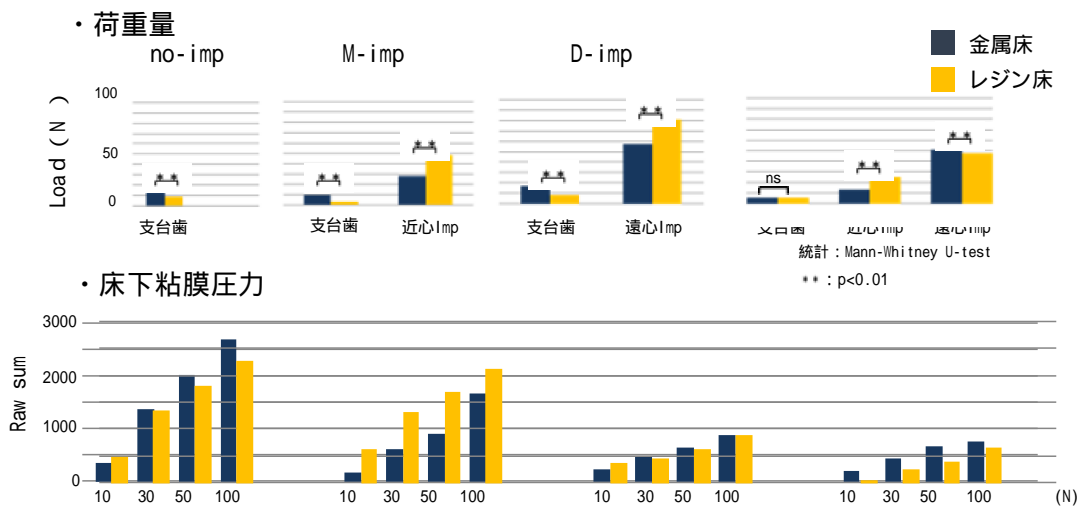


図7 負荷荷重量 100N におけるレジン床と金属床の比較

図7には負荷荷重量 100N におけるレジン床義歯と金属床義歯における各支持要素に加わる測定結果を示す。レジン床義歯と金属床義歯を比較すると D-imp では支台インプラントに加わる荷重は増加したが、義歯床下粘膜に加わる荷重は金属床義歯と同程度であり、また、荷重の変化も同様に少なかった。これらの結果より下顎遊離端欠損においては欠損部顎堤の遠心にインプラントを支台として設置することは義歯床下粘膜に加わる荷重を減少させることに効果的であることが示唆された。

遠心にインプラントを設置した場合に、従来の義歯の場合と比較して支台歯に加わる力は増加することは、IARPD では直接支台歯の負担は軽減するとされてきた従来の見解とは一致しない。しかし、遊離端欠損の遠心部にインプランを設置することで、従来義歯床下粘膜で負担していた荷重の多くはインプラントと直接支台歯で負担することになり、遊離端部における荷重負担様式がいわゆる固定性ロングスパンのブリッジの支持様式に近似することを考慮すると、本研究結果の直接支台歯の負担増加は合理的とも言える。

申請者は、これに関連し、臼歯部遊離端 4 歯欠損に対する 4 ユニットの固定性上部構造を想定した追加の模型実験を実施し、インプラント配置がインプラント荷重に及ぼす影響についても調査した。第一小臼歯から第二大臼歯までの片側遊離端欠損を有するエポキシレジン製の顎列模型を使用し、インプラント支台本数が 2 本もしくは 3 本のブリッジ形態を対象とし、各インプラント配置条件において支台インプラントに加わる荷重を測定した。結果として、支台インプラントの配置や荷重位置により各支台インプラントに加わる荷重は有意に変化することが見出された。またカンチレバーブリッジ形態では、支台インプラントによっては加わる力の方向が上方になること、さらに、第一小臼歯と第二大臼歯の 2 本を支台としポンティックを 2 歯分としたブリッジ形態の場合 (2 本 Br) に、インプラントに加わる側方力が最大となることも示された。

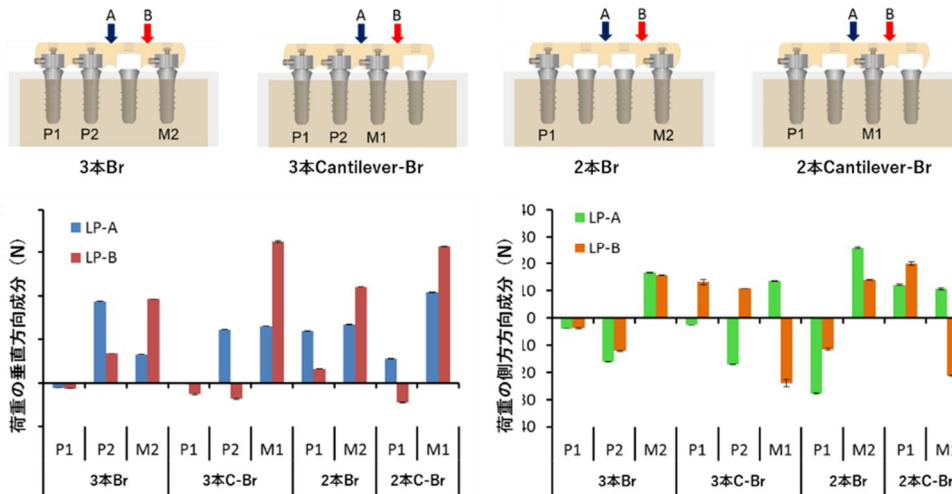


図8 4ユニット固定性上部構造支台インプラントに加わる荷重の分散様相（模型実験）
 P1：第一小白歯，P2：第二小白歯，M1 第一大臼歯，M2：第二大臼歯．A，B：上部構造上の荷重を加えるポイント

この結果も含めてIARPDの荷重分散を考慮すると，やはりロングスパンブリッジ形態において両支台インプラント（歯）に加わる荷重が大きくなり，特に側方力が大きくなることが考えられた．したがって，「遊離端欠損形態の中間欠損化（Kennedy 級化）」は，IARPDの力学的利点とされているが，場合によっては直接支台歯への負担増加にもなりうるため，この点に関しては設計時に十分な配慮が必要であろう．

< 引用文献 >

1. Payne AG, Tawse-Smith A, Wismeijer D, De Silva RK, Ma S. Clin Oral Impl Res. 00, 2016, 1-

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2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 依田信裕, 小山重人, 小川 徹, 松館芳樹, 重光竜二, 川田哲男, 佐々木啓一.	4. 巻 31(2)
2. 論文標題 生体内荷重に基づくインプラント生体力学研究的発展と課題.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日口腔インプラント誌	6. 最初と最後の頁 135-143
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 -

1. 著者名 Yoda N, Sun J, Matsudate Y, Hong G, Kawata T, Sasaki K.	4. 巻 Jan/Feb;30(1)
2. 論文標題 Effect of Configurations of Implants Supporting a Four-Unit Fixed Partial Denture on Loading Distribution.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Int J Prosthodont	6. 最初と最後の頁 68-70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11607/ijp.5033.2017	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10件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 依田 信裕, 小山 重人, 川田 哲男, 松館 芳樹, 佐々木 啓一
2. 発表標題 上顎前歯部に埋入されたインプラントの唇側骨の経時的リモデリングにおける唇側骨厚の影響
3. 学会等名 第49回公益社団法人日本口腔インプラント学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部 優凜, 末永 祐磨, 星野 智大, 松館 芳樹, 菅野 武彦, 依田 信裕, 沖野 晃俊, 佐々木 啓一
2. 発表標題 歯科材料の接着強度向上に向けた大気圧プラズマ処理の条件検討
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hoshino T, Matsudate Y, Sasaki K
2. 発表標題 Hoshino T, Matsudate Y, Sasaki K Chemical durability of CAD/CAM glass-ceramic blocks.
3. 学会等名 97th GENERAL SESSION & EXHIBITION OF THE IADR
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部 優凜, 末永 祐磨, 星野 智大, 松舘 芳樹, 依田 信裕, 佐々木 啓一, 沖野 晃俊
2. 発表標題 大気圧プラズマ処理によるジルコニアの接着強度改善に向けた表面状態の分光測定
3. 学会等名 日本分光学会年次講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松舘 芳樹, 依田 信裕, 星野 智大, 菅野 武彦, 沖野 晃俊, 佐々木 啓一
2. 発表標題 ジルコニアの大気圧プラズマ表面処理におけるガス種と接着強さの関係
3. 学会等名 公益社団法人日本補綴歯科学会第128回学術大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 依田 信裕, 松舘 芳樹, 星野 智大, 菅野 武彦, 佐々木 啓一, 阿部 優凜, 守屋 翔平, 末永 祐磨, 沖野 晃俊
2. 発表標題 大気圧プラズマのガス種がジルコニアの表面性状および接着強さに及ぼす影響
3. 学会等名 平成30年度生体医歯工学共同研究拠点成果報告会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 飯久保 正弘, 依田 信裕, 松館 芳樹, 片岡 良浩, 天雲 太一, 山内 健介, 高橋 哲, 小山 重人
2. 発表標題 パルスジェットを用いたインプラント周囲炎治療システムの開発 ~インプラントに付着させた人工歯石の除去効果の検討~
3. 学会等名 日本口腔インプラント学会 東北・北海道支部会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hoshino T, Matsudate Y, Sasaki K
2. 発表標題 Physical Properties of CAD/CAM hybrid resin blocks after water immersion
3. 学会等名 The 96th General Session & Exhibition of the IADR
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 泉田一寛、小山重人、佐藤奈央子、水戸武彦、松館芳樹、木山朋美、石河理紗、加藤健吾、香取幸夫、佐々木啓一
2. 発表標題 舌切除に伴う摂食嚥下障害を舌接触補助床により改善した1症例
3. 学会等名 第41回日本嚥下医学会総会ならびに学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 依田信裕、小針啓司、松館芳樹、川田哲男、佐々木啓一
2. 発表標題 生体ベース非線形骨改造アルゴリズムに基づくインプラント周囲の経年的骨密度変化解析
3. 学会等名 日本補綴歯学会第126回学術大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

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