

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24592902

研究課題名(和文) 補綴治療後に起こる咬合力伝達メカニズムの変化に関する総合的研究

研究課題名(英文) Integrated research on changes in transmission mechanism of bite force in patients following prosthodontic treatment

研究代表者

若林 則幸 (Wakabayashi, Noriyuki)

東京医科歯科大学・医歯(薬)学総合研究科・教授

研究者番号：00270918

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)：本課題では、補綴治療の術後に起こる咬合力伝達の経路とメカニズムの変化について包括的に分析することを目的とし、とくに有床義歯およびインプラント義歯による欠損補綴治療後における歯周組織と顎骨に生じるメカニカルストレスを患者ごとに分析した。実験では、被験者の顎堤と歯周組織の形態を再現した生体力学モデルと機能検査で得られた咬合接触の部位と最大咬合力のデータを組み合わせ、歯根膜、顎骨、粘膜、補綴用材料それぞれの内部に生じるメカニカルストレスを定量化した。本課題の結果は、歯列に欠損を有する多様な患者の顎口腔の機能保全と、個々の患者を見据えた補綴治療の計画を立案するための重要な基盤的情報と考えられる。

研究成果の概要(英文)：This research project aimed to assess the changes in transmission mechanism of bite force in partially and fully edentulous patients after prosthodontic treatment. The study objectives were especially focused on the mechanical stress evaluation of periodontal tissues and the supporting bone structures. The analytical procedures included production of patient-specific mathematical models of the maxillary and mandibular bone, teeth, implants, soft tissues and periodontal tissues as well as the registration of occlusal contact location and the maximum bite force. The stress analyses based on the models that incorporated the occlusal functional records revealed the biomechanical changes as quantitative data shown in the oral tissues and the dental biomaterials. The results obtained in this project provided a fundamental information for clinical decision making on edentulous patients with variety of oral conditions, and for the patient-specific prosthodontic treatment planning procedures.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：応力 義歯 インプラント 咬合力 有限要素法 メカニカルストレス 補綴 順応性

1. 研究開始当初の背景

(1) 補綴治療の術後には、歯の摩耗や破折、歯根膜の損傷、歯槽骨の吸収、顎堤粘膜の痛み、顎関節の不調などが生じやすく、問題の背景には、咬合力が顎口腔系に伝達されるメカニズムが天然歯列と欠損補綴治療後とで異なっていることが有力な要因として考えられている。例えば、インプラント補綴において歯冠修復材料の破折が高頻度で起こるのも、咬合力の配分が天然歯列とは異なることと関係が深いと推察される。補綴治療の方針立案と設計は、このような咬合力伝達のメカニズムの変化を考慮した上で行う必要があるが、その包括的な検証と分析は十分に行われていない。

(2) 従来、顎口腔系や生体材料への咬合力の負荷は、伝達される力やそこに生じる変位を基に評価されてきた。しかしながら、力を単位とした負担能力の評価は、顎骨や歯根膜など性質が大きく異なる組織間や、個体差が無視できないほど大きい患者間では比較が困難であり、一般的な治療方針を導き出すことが困難であった。このため近年、生体工学においては組織内部の負担過重をメカニカルストレスを基に評価し、個体間の形態や質的な差に左右されない力学的指標として組織内部の微小な応力と生体歪みを分析し、各組織のダメージを推定するのが一般的である。報告者はこれまで、顎堤粘膜、歯周組織、歯槽骨、インプラント周囲骨さらに生体材料の内部に生じるメカニカルストレスの分析と定量化に取り組み、当該研究領域では国外、国内を問わず他に見られない先端的な成果を得てきた。しかしその一方で、得られた方法論を基に患者個々における補綴治療の方針立案と設計の決定をシステム化するためには、未解決の課題が多く残されている。

2. 研究の目的

(1) 本申請課題は、これまで確立した口腔内組織に対する分析手法を統合・発展させ、欠損歯列に対する複数の異なる補綴治療によって起こるメカニカルストレスの変化を総合的に評価することとした。目的は、補綴治療後に起こる咬合力伝達のメカニズムの変化を、メカニカルストレスを評価単位として分析し、患者個々に最適な補綴治療方針を決めるシステムを確立するための基盤的情報を得ることである。本課題の期間中においては、有床義歯とインプラントにより補綴治療を受けた欠

損歯列患者を対象として残存口腔内組織のメカニカルストレスの分析を行い、顎骨の吸収レベルと治療方法の違いによるリスクの比較を行った。また、結果を基に患者ごとの最適な補綴設計を決定するためのプロセスを確立することが目標となる。

3. 研究の方法

被験者の顎堤と歯列形態をエックス線 CT データおよび診断用模型から採取し、個別の力学モデルを構築する。咬合接触部位と咬合接触圧をそれぞれのモデルに代入し、歯根膜、顎骨、粘膜内部の微小歪みと応力の分布を分析する。顎堤の吸収度と治療方法ごとに各口腔内組織の損傷リスクを推定し、この結果を基に被験者ごとの適切な補綴設計を導くためのプロセスについて検討する。研究は総括を含めて三年計画とする。

(1) 被験者は義歯外来およびインプラント科に通院中の患者のうち、下顎臼歯部が欠損して有床義歯かインプラントにより補綴された12名を抽出した。被験者は隣在歯、対合歯の状態、補綴装置の種類と設計などによりカテゴリー分けを行い、補綴治療が不備である症例は除外した。なお、本課題の全体は所属大学の研究倫理審査委員会の承認を取得後に実施し、調査への被験者の参加は委員会の規定に基づいて本人への説明と承諾を得た上で行った。

(2) 咬合接触部位と咬合力：補綴治療を終了してメンテナンス期となった被験者に対して、中心咬合位において最大咬合力を発揮した時、および側方咬合接触位において噛みしめた時の咬合接触部位と、それぞれの接触点における咬合力を、咬合力測定システムにより記録する。咬合接触点は研究用模型上で確認し、接触面の角度から咬合力が負荷されると予想される方向を計測した。

(3) 患者に特化した力学モデルの構築：研究用模型および歯科用エックス線 CT 画像を基に、顎骨および歯周組織の三次元モデルを構築する。モデル化のプロセスはトレース法を採用し、画像変換プログラムにより規格化した歯と歯根膜、義歯、インプラントの三次元データを解析用ソルバープログラムに挿入する。モデルの精度と力学的挙動についての妥当性は、申請者らが従来から行っているモデル検証プログラムに従って確認する。

4. 研究成果

(1) 軟組織のメカニカルストレス：義歯装着者それぞれからデータを採取して製作したすべてのモデルにおいて、粘膜内部には明確な歪みが観察され、荷重方向にほぼ一致した向きに顕著な圧縮歪みが分布し、比較的小さな引っ張り歪みは荷重点の同心円方向に分布した。この結果、荷重による粘膜内部の応力と歪みは共に圧縮が優勢であったため、本研究では最小主応力（圧縮要素が最大となる方向の主応力）および最小主歪み（圧縮要素が最大となる方向の主歪み）がそれぞれ最大圧縮応力と最大圧縮歪みとして分析可能であった。

持続荷重により粘膜表面の最大歪みは変位量と同様に増加したが、粘膜中央部では一定量のままであり、クリープ現象は主に表面領域が担っていることが示唆された。この結果の解釈では、本研究のモデルが軟組織を均質な構造物として構築していることを考慮すべきである。粘膜の各層における組織、すなわち血管やコラーゲン束、結合組織のような異なる機械的性質をもつ層状構造をそれぞれモデル化すれば、粘膜内部の歪みと応力の分布状況は均一構造であるより正確に予測できることが期待される。しかしながら、粘膜下の皮質骨と粘膜組織の弾性率の違いは、粘膜内部の各組織の弾性率の違いよりも遙かに大きいことは間違いなく、本研究のモデルにおける骨と粘膜の弾性率の設定はモデル全体の力学環境を十分近似できていると考えてよい。このため、粘膜のクリープ現象が表面部の歪みの増加によるものであるとする示唆には十分な正当性があると考えられる。

歪みの結果とは逆に、最大圧縮応力は持続荷重によりわずかに減少する傾向を示した。これは粘弾性体の主要な性質である応力緩和特性を反映したものである。そして、最大圧縮歪みが主に表面部で増加するという事実と考え合わせれば、粘膜表面に持続的に荷重がかかり続ける環境下においては、粘膜表面の歪みが増加してクリープ現象を生じることによって組織内の応力集中を他の部位に分散させ、最大圧縮応力を低下させる自己防衛的なメカニズムを成立させていると考えられることができる。

(2) 骨のメカニカルストレス：インプラント周囲骨における歪み集中度の分布は、各被験者の骨の形態と骨内部の不均質な機械的性質を再現する3次元モデルを用いて算出された。また、各被験者の顎骨内における歪み集中度

の大きさは、咬合力が大きな被験者ほど明確に大きくなった。骨の構造は大きな力によって大きく変形するので、この結果は当然であると思われる。しかしながら、低咬合力群において骨吸収の徴候が集中する領域の歪みは40 μ 歪みから200 μ 歪みの領域であったのに対し、高咬合力群では500 μ 歪み以上の領域に90%以上の吸収像の集中が認められ、その歪み値は2群間で大きな違いがあった。本研究の結果より、骨吸収を引き起こす因子は咬合力の違いにかかわらず高ストレス部位直下の骨表面と皮質骨内部に見られ、これらの領域は同じ咬合力レベルの被験者ではある決まった歪みの領域に集中していたことが明らかとなった。しかしながら、荷重量の異なる被験者では、吸収徴候の出現する部位は同じであったが、これらの部位の歪み量は一致しなかった。すなわち、インプラント周囲の骨吸収は、骨内部の解剖的な位置に依存することが示されたが、歪み量の閾値によって決まることは示されなかった。よって本研究の結果は、インプラント周囲骨の吸収傾向が骨に生じるストレスと歪みの閾値によって決定されるという仮説を証明するものではなかった。本仮説の検証は、さらに条件をコントロールすることによって検討しなければならない。

しかしながら、本研究によって骨吸収の徴候が骨内部の歪み値と関連づけられたことにより、補綴治療の診断時において顎堤の吸収のリスクを診断する手法の開発に用いられる可能性が示唆された。有床義歯やインプラント補綴の患者に対して補綴治療の方針を決める際に、装着後の顎堤の吸収のリスクを考慮すれば、欠損歯列を有する患者の理想的な治療方法や補綴物のデザインの選択に役立つと考えられる。

(3) 結論

被験者の機能検査で得られた咬合接触の部位と最大咬合力のデータを組み合わせることによって、歯根膜、顎骨、粘膜、補綴用材料それぞれの内部に生じるメカニカルストレスを定量化した。その結果、患者ごとに算出された各組織の微小応力と歪みを、それぞれの許容限界と照らし合わせることで、個体差に左右されない組織損傷と材料破損のリスクが判定し、さらに補綴治療の方法の違いによるリスクの判定手法の基盤的な情報を得ることができた。これにより、ある患者において有床義歯を適用した場合の最適な設計と治療後のリスクを、インプラント補綴を選択し

た場合のリスクと同一の判断基準を基に比較検討でき、さらにはメカニカルストレスの制御を基本とする補綴治療の診断と設計のプロセスが確立される。許容範囲を超える応力と歪みが口腔内組織に生じるのを未然に防ぐことを目指した補綴治療は、個々の患者に最も適した治療方法の選択と補綴設計の実践という形で具現化されることが期待される。

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 20 件)

Wakabayashi N (C), Wada J. Structural factors affecting prosthodontic decision making in Japan. *Japanese Dental Science Review* 2015, accepted.

Toyoshima Y, **Wakabayashi N** (C). Load limit of mini implants with reduced abutment height based on fatigue fracture resistance: Experimental and finite element study. *International Journal of Oral Maxillofacial Implants* 30:e10-e16, 2015.

Wada J, Fueki K (C), Yatabe M, Takahashi H, **Wakabayashi N**. A comparison of the fitting accuracy of thermoplastic denture base resins used in non-metal clasp dentures to a conventional heat-cured acrylic resin. *Acta Odontologica Scandinavica* 73(1):33-37, 2015.

Sekinishi T, Inukai S (C), Murakami N, **Wakabayashi N**. Influence of denture tooth thickness on fracture mode of thin acrylic resin bases: An experimental and finite element analysis. *Journal of Prosthetic Dentistry* 2014 (Accepted)

Kainose K, Nakajima M (C), Foxton R, **Wakabayashi N**, Tagami J. Stress distribution in root filled teeth restored with various post and core techniques: Effect of post length and crown height. *International Endodontic Journal* 2014, (Accepted).

Wada J (C), Hideshima M, Inukai S, Matsuura H, **Wakabayashi N**. Influence of the Width and Cross-Sectional Shape of the Major Connector of Maxillary Dentures on the Accuracy of Speech Production. *Folia Phoniatrica et Logopaedica* 66(6):227-236, 2014.

Kajima Y, Doi H (C), Takaichi A, Hanawa T, **Wakabayashi N**. Surface characteristics and castability of Zr-14Nb alloy dental castings. *Dental Materials Journal* 33(5): 631-637, 2014.

Hayashi R, Ueno T (C), Migita S, Tsutsumi Y, Doi H, Ogawa T, Hanawa Y, **Wakabayashi N**. Hydrocarbon deposition attenuates osseointegration capability of titanium. *Journal of Dental Research* 93(7):698-703, 2014.

Murakami N, **Wakabayashi N** (C). Finite element contact analysis as a critical technique in dental biomechanics: A review. *Journal of Prosthodontic Research* 58:92-101, 2014.

Shoi K, Fueki K (C) Usui N, Taira M, **Wakabayashi N**. Influence of posterior dental arch length on brain activity during chewing in patients with mandibular distal extension removable partial dentures. *Journal of Oral Rehabilitation* 41(7):486-95, 2014.

Takaichi A, Suyalatu, Nakamoto T, Joko N, Nomura N (C), Tsutsumi Y, Migita S, Doi H, Kurosu S, Chiba A, **Wakabayashi N**, Igarashi Y, Hanawa T. Microstructures and mechanical properties of Co-29Cr-6Mo alloy fabricated by selective laser melting process for dental applications. *The Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 21:67-76, 2013.

Imakita C, Shiota M, Yamaguchi Y, Kasugai S, **Wakabayashi N** (C). Failure analysis of an abutment fracture on single implant restoration. *Implant Dentistry* 22(4):326-331, 2013.

Murakami N, **Wakabayashi N** (C), Matsushima R, Kishida A, Igarashi Y. Effect of high-pressure polymerization on mechanical properties of PMMA denture base resin. *The Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 20:98-104, 2013.

Wakabayashi N (C), Suzuki T. Patient-specific finite element analysis of viscoelastic masticatory mucosa. *Journal of Dental Biomechanics* 4:4:1758736013483298, 2013.

Nagata K, **Wakabayashi N** (C), Takahashi H, Vallittu PK, Lassila LV. Fracture resistance of CAD/CAM manufactured FRC denture retainers. *International Journal of Prosthodontics*

26(4):381-383, 2013.

Ona M, **Wakabayashi N** (C), Yamazaki T, Takaichi A, Igarashi Y. The influence of elastic modulus mismatch between tooth and post and core restorations on root fracture. *International Endodontic Journal* 46(1):47-52, 2013.

Fujiki K, Aoki K, Marcián P, Borák L, Hudieb M, Ohya K, Igarashi Y, **Wakabayashi N** (C). The influence of mechanical stimulation on osteoclast localization in the mouse maxilla: Bone histomorphometry and finite element analysis. *Biomechanics and Modeling in Mechanobiology* 12(2):325-333, 2013.

Ao A, **Wakabayashi N** (C), Nitta H, Igarashi Y. Clinical and microbiological effects of lingual cervical coverage by removable partial dentures. *International Journal of Prosthodontics* 26(1):45-50, 2013.

Iwaki Y, **Wakabayashi N** (C), Igarashi Y. Dimensional accuracy of optical bite registration in single and multiple unit restorations. *Operative Dentistry* 38(3):309-315, 2013.

Ishihata K, **Wakabayashi N** (C), Wadach J, Akizuki T, Izumi Y, Takakuda K, Igarashi Y. Reproducibility of Pocket Depth Measurement by Experimental Periodontal Probe Incorporating Optical Fiber Sensor. *Journal of Periodontology* 83(2):222-227, 2012.

(C) : Corresponding author

[学会発表](計 20件)

Murakami N, Sekinishi T, Inukai S, **Wakabayashi N**. Denture tooth thickness influences the fracture mode of denture base. 2015 IADR General Session & Exhibition, Boston, Mass., USA. 2015.03.13.

Akimoto T, Ueno T, Tsutsumi Y, Doi H, Hanawa T, **Wakabayashi N**. The Corrosion resistance of Ti-Zr binary alloy with compositional change. 2015 IADR General Session & Exhibition, Boston, Mass., USA. 2015.03.13.

若林則幸. 補綴臨床で期待される金属材料の新規開発と応用. 東京医科歯科大学 医学・歯学・工学連携セミナー 2014.11.21 東京

加嶋祐佳, 高市敦士, 安江透, 高橋英和, **若林則幸**. 低磁性 Zr-14Nb 合金のインプラント

上部構造への応用 - 陶材焼付強度の検討 - . 第 18 回日本補綴歯科学会東京支部学術大会 2014.11.20 東京

犬飼周佑, 秀島雅之, 中村周平, 西山 暁, 石山裕之, 飯田知里, 玉岡明洋, 藤江俊秀, 宮崎泰成, **若林則幸**. 閉塞性睡眠時無呼吸症患者に対する口腔内装置の治療効果予測システムの開発. 日本睡眠歯科学会第 13 回学術集会 2014.11.09 東京

Noriyuki Wakabayashi. Upgraded science and art in prosthodontics. TMDU Research day for International Students 2014.10.20 Tokyo

野川泰葉, **若林則幸**, 他. マウス咬筋および頸筋活動に対するシタロプラムの影響. 第 8 回 三叉神経領域の感覚-運動統合機構研究会 2014.10.18

Hudieb M, **Wakabayashi N**, Kasugai S. Biomechanical effects of exposed dental implant threads: A three dimensional finite analysis. The 23rd Annual Scientific Meeting of European Association for Osseointegration 2014.09.25 Parco Della Musica, Rome, Italy

加嶋祐佳, 高市敦士, **若林則幸**. 高純度 Zr-14Nb 合金の歯科精密鑄造への応用. 第 123 回日本補綴歯科学会学術大会 2014.05.25 福岡

吉田英子, 笛木賢治, **若林則幸**. 麻酔による口腔組織の感覚低下が咀嚼能力に及ぼす影響. 第 1 2 3 回日本補綴歯科学会学術大会 2014.05.24 仙台

若林則幸. 部分床義歯の臨床を通して見える歯科補綴学の未来. 口腔病学会例会 2014.05.15 東京

若林則幸. FEM を利用した疲労強度の評価のポイントおよび簡略化の可能性について. 第 10 回 東京医科歯科大学 歯科器材・薬品開発センター シンポジウム 2014.03.17 東京

若林則幸. 術後管理を基本とするパーシャルデンチャーの取り組み. 日本補綴歯科学会専門医研修会 2014.02.16 東京

Sekinishi T, Inukai S, Murakami N, **Wakabayashi N**. Influence of Artificial Tooth Thickness on Fracture Resistance of Acrylic Denture Base.. The 3rd Tri-University Consortium on Oral Science and Education 2013.11.06 Tokyo

豊嶋悠輔, **若林則幸**. 義歯用ミニインプラントの疲労強度限界の分析. 平成 25 年度日本補綴歯科学会 東京支部学術大会

2013.10.26

加嶋祐佳, 高市敦士, 土居 壽, 堤 祐介, 埜 隆夫, **若林則幸**. 高純度 Zr-14Nb 合金の歯科精密鑄造への応用 .. 平成 25 年度秋期第 62 回日本歯科理工学会学術講演会 2013.10.20

Fujiki K. **Wakabayashi N.** Suzuki N. Borak L. Ohya K. Aoki K.. The involvement of tumor necrosis factor- α in osteoclast differentiation induced by mechanical stress in a murine maxilla loading model. ASBMR 2013(米国骨代謝学会) 2013.10.04 Baltimore(USA)

Nagata K, **Wakabayashi N.**, Takahashi H, Vallittu PK, Lassila LV. Fracture resistance of CAD-CAM manufactured single FRC implant restorations. The joint meeting of the European Prosthodontic Association (EPA) and the Scandinavian Society for Prosthetic Dentistry (SSPD) 2013.08.21 Turku, Finland

Suzuki N. Fujiki K. Ohya K. Aoki K. **Wakabayashi N.** Inflammation Accelerates Mechanical-Stress-Induced Osteoclastogenesis in a Murine Maxilla Loading Model. 2013 2nd Meeting of the IADR Asian Pacific Region. 2013.08.21 Thailand

藤木健吾, **若林則幸**, 鈴木奈月, 大谷啓一, 青木和広. メカニカルストレスによる顎骨吸収と炎症性サイトカイン TNF- α の関与-マウス顎骨荷重モデルを用いた検討-. 日本骨形態計測学会 2013.07.05 浜松

〔図書〕(計 3 件)

五十嵐順正, **若林則幸** (編・著): パーシャルデンチャーを得意になろう. 全 175p. 2013, 若林執筆担当 p10-67, p116-124 および p142-161, ヒョーロンパブリッシャーズ.

若林則幸, 中村輝保, 南 一郎 (著): 50 歳女性, 舌側金属床縁部の痛み. 他 9 本. TMDU 臨床トレーニングシリーズ 歯科医師編. 2012, 東京大学出版会.

若林則幸, 和田淳一郎 (著): 義歯装着時の留意点. 五十嵐, 岡崎, 馬場, 谷田部 (編), 患者に喜ばれるパーシャルデンチャー. デンタルダイヤモンド社. p88-91, 2012.

〔産業財産権〕

なし

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.tmd.ac.jp/pro/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

若林 則幸 (WAKABAYASHI Noriyuki) 国立大学法人東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・部分床義歯補綴学・教授

研究者番号: 00270918