

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：32622

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26462936

研究課題名(和文)有床義歯補綴治療の難易度に影響を及ぼす要因の客観解析

研究課題名(英文)Objective Analysis on Factors Affecting Difficulty of Denture Treatment

研究代表者

下平 修 (Shimodaira, Osamu)

昭和大学・歯学部・講師

研究者番号：30235684

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：目的：高齢無歯顎者の義歯支持粘膜における疼痛発生時の厚さ、荷重量を用いて、三次元有限要素解析法(FEA)モデルを最適化する弾性率の測定法を検討した。

結果：実測弾性率より、最適弾性率の方が有意に小さく、全ての部位で有意な相関を認めた。厚さと実測弾性率は中間部において有意な相関を認めたが、他の部位では有意な相関は認められなかった。厚さと最適弾性率は全ての部位において有意な相関は認められなかった。以上から、義歯支持粘膜の厚さから弾性率を推定することは困難であり、FEAにおいて弾性率は各々の部位で最適化する必要性が示唆され、弾性率測定方法の確立ができたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Purpose: In this study, we examined a three-dimensional finite element analysis (FEA) method of measuring optimum elasticity using thickness and load data collected from elderly edentulous patients when they felt pressure-related pain.

Results: Compared with measured elasticity, optimum elasticity was significantly less ($P < .05$), and correlations were found in all three palatal parts where experiments were carried out ($P < .01$). A correlation between thickness and measured elasticity was found at the midpoint part ($P < .05$), but not at the median or lateral part. A correlation between thickness and optimum elasticity was not found in all three areas of the palate where experiments were carried out. Our study has proven that it is difficult to estimate elasticity using the thickness of denture-supporting tissue, demonstrated that it is necessary to optimize elasticity at all palatal parts in the FEA, and established a method to measure elasticity.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：三次元有限要素解析法 義歯支持粘膜 弾性率 粘膜厚さ 疼痛閾値 圧力 圧縮率 沈下量

1. 研究開始当初の背景

顎堤の評価には、従来から経験や勘に基づき触診法が用いられてきたが、普遍的な評価が困難である。それゆえ、有床義歯補綴処置の診断に際しては客観的分析が重要と考えられ多くの研究がなされてきた。しかし、顎堤粘膜の性状を断片的に解析したのみで、総合的な診断の基準値を確立するには至っていない。さらに、臨床応用するには煩雑であり、実験室レベルでしか使用されていない。

そこで、我々は計測条件の規格化が容易かつ生体に無侵襲な硬さ触覚センサーシステムと超音波厚さ計を口腔内に応用する方法を開発し、口腔粘膜の硬さ(ヤング率)と厚さをそれぞれ数値化することで、臨床応用が可能な客観的評価法を確立した(平成18年度科学研究費 基盤研究(C))。

その結果、一概に厚さからヤング率の推定はできないことが示され、義歯支持粘膜のバイオメカニクス特性を客観的に評価し診断基準を確立するためには、硬さと厚さをそれぞれ評価する必要性が示唆された(細野ら、2007)。さらに測定荷重と厚さの変化量を同時に計測することで、口腔粘膜の粘弾性について評価できる可能性が示唆された((平成21年度科学研究費 基盤研究(C))。

一方で、義歯装着患者にとって疼痛は最も重要な臨床症状であり、その程度は有床義歯の機能回復の度合いや治療結果に直結する。しかし、疼痛については表現方法もさまざま、またそれ自体の値や測定方法についてのみ報告がなされ、臨床で応用可能な指標となり得ていなかった。そこで、疼痛閾値を荷重量で客観的に表現し、義歯床下粘膜のバイオメカニクス特性である粘膜厚さや弾性率、また当講座で開発した顎堤診断用スケールを用いた顎堤形態分類と関連付けることで、患者の義歯受容能力を解析し症例の客観的な難易

度判定に結びつけることを目標としたい。

2. 研究の目的

超音波厚さ計にひずみゲージを貼付し、疼痛を感じるまでの口腔粘膜の厚さの変化と荷重量をチェアサイドで同時に測定するシステムを開発し、若年有歯顎者、高齢無歯顎者の口蓋粘膜における、疼痛発生時の厚さ・弾性率(粘膜性状のパラメータ)と圧力・沈下量・圧縮率(疼痛閾値のパラメータ)の相互関連を検討した。その結果、口蓋粘膜の厚さと弾性率から沈下量を推測できる可能性が示唆されたが、高齢無歯顎者では多様な要因により、単純に厚さから疼痛閾値を推定する事は困難と考えられた。そこで、臨床応用可能な更なる解析のためには、探触子ではなく実際の義歯床での荷重を検討する必要があると考えた。

このような義歯支持粘膜の面としての生体力学的検討の手法として三次元有限要素解析法があげられる。実験解析で測定が困難な物体の内部の力学的応答を推定可能であること、一度解析が終了すれば、応力、歪み、変位など多様な物理データを抽出することが可能であること、他の生体力学的検討と比較して条件設定が容易であることなど、複雑な粘膜の動体解析に好適である。三次元有限要素法を用い、義歯及び義歯支持粘膜の内部応力やひずみを解析した研究も多数あり、歯科界においても生体力学的検討法の主流となっている。

この三次元有限要素解析法を適用するにあたり、生体に近似した三次元有限要素モデルを構築するが、その弾性率の設定については従来から義歯支持粘膜を機械的に加圧する装置を用いて測定・算出された数値が多く使用されている。しかし、実際の生体に適合した物性値としての弾性率が否かの検討はない。

そこで、これまでに得られた高齢無歯顎者の疼痛発生時の厚さ、荷重量を用いて、三次元有限要素解析法による義歯支持粘膜モデルを最適化する弾性率の測定法を検討した。

3. 研究の方法

(1) 被験者

被験者は、口蓋粘膜に異常を認めない上顎全部床義歯を装着した 17 名(男性 8 名,女性 9 名, 平均年齢 78.4 歳)とした。

(2) 実測弾性率の計測について

竹内ら磯部らが開発・改良した粘膜の厚さと測定荷重量を同時測定する装置を応用し、高齢無歯顎者の疼痛を生じるまでの口蓋粘膜の厚さと荷重量の変化を同時に測定した。本装置は超音波厚さ計 (25DL・PLUS[®], OLYMPUS NDT JAPAN INC, Tokyo, Japan) の探触子にひずみゲージ (KFG-5-120-C1-11L1M3R[®], KYOWA, Tokyo, Japan) を貼付したものである(以下探触子)。また、解析部位は、上顎口蓋粘膜上の正中部・中間部・側方部の 3 カ所とした。

正中部：ハミューノッチから 15 mm 前方を上顎第一大臼歯中心小窩相当部とし、上顎左側第一大臼歯中心小窩相当部から左右のハミューノッチに平行な線と口蓋正中縫線の交点とした。側方部：上顎左側第一大臼歯中心小窩相当部から 5 mm 口蓋側とした。中間部：これら 2 点の midpoint とした。

荷重前の口蓋粘膜の「厚さ (T) 」, と硬さを示す「弾性率 (E) 」(以降, 実測弾性率)を粘膜性状のパラメータとした。また、粘膜の厚さの変化量である「沈下量 (S) 」, 疼痛発生時点での「圧力 (P) 」, およびその変化率である「圧縮率 (C) 」を疼痛閾値のパラメータとした。実測弾性率の算出式を以下に示す。

$$E = P / C \cdot 100$$

P 圧力 MPa

C 圧縮率 %

E 実測弾性率 MPa

(3) 三次元有限要素モデルの構築

三次元有限要素解析モデル (以降, FEA モデル)としての探触子はその形態を, 3D スキャナー (One-Shot 3D Measurement VR-3100[®],

Osaka, Japan) でキャプチャーし, 三次元有限要素解析ソフトウェア (Femap[®], Research Center of Computational Mechanics, Tokyo, Japan) で, 構築した (Fig 3) 。義歯支持粘膜の FEA モデルは全ての部位において幅を 10 × 10 mm, 高さを各被験者の口蓋粘膜の厚さの直方体とした。メッシュ形状は, 1 辺を 0.1 mm の正六面体要素とした。総節点数は最小で約 250,000, 最大で約 790,000, 総要素数は最小で約 230,000, 最大で約 750,000 に分割した。また, 探触子部, 義歯支持粘膜部とも, 均質, 等方性の線形弾性構造体とした。

(4) 解析条件

物性値の設定

探触子の FEA モデルの弾性率は 3,000 MPa, ポアソン比は 0.34 とした。義歯支持粘膜の FEA モデルのポアソン比は 0.4 とした。

荷重条件

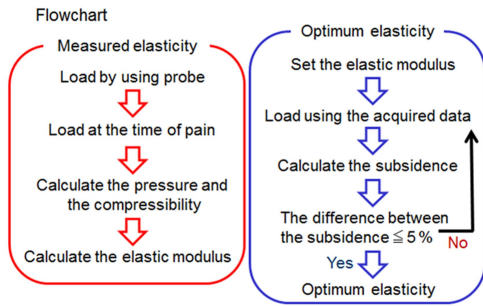
口蓋正中部, 口蓋中間部, 口蓋側方部を義歯支持粘膜 FEA モデルへの荷重点として設定した。各荷重点に対し, 小谷ら [15] の計測で得られた疼痛発生時の荷重量で垂直荷重を行った。

拘束条件

義歯支持粘膜部と骨部の境界面の節点は骨面との接着を想定し, すべて拘束点とした。

義歯支持粘膜の最適弾性率の測定

義歯支持粘膜 FEA モデルに仮の弾性率を設定し, 荷重を行い, 小谷らの計測データで得られた沈下量と三次元有限要素解析結果の沈下量が, その差 5% (有意水準 95%) になるまで, 仮の弾性率を変化させて繰り返し解析した。そして, 5% 以内に収束した時の弾性率を最適弾性率とした。



(5) 実測弾性率と最適弾性率の評価および厚さとの関連性の評価

実測弾性率と最適弾性率を比較し、これらと口蓋粘膜の厚さの相関を分析した。

(6) 解析領域

小谷らの計測データを基に、疼痛を生じた時点での口蓋粘膜の沈下量と荷重量の変化から応力分布を解析した。本研究では、咬合により義歯が沈下し、義歯支持粘膜が変形して疼痛が発生している状態を想定しているため、解析領域は変形により応力が発生した領域のみとした。節点・要素に発生した von-Mises 応力の平均が高かった領域の応力値を各被験者の代表値とした。

(7) 義歯支持粘膜 FEA モデルにおける応力分布と応力値の評価

各荷重条件下の義歯支持粘膜に発生した von-Mises 応力について、部位、被験者ごとに比較を行った。また、von-Mises 応力と義歯支持粘膜の厚さの相関関係を分析した。

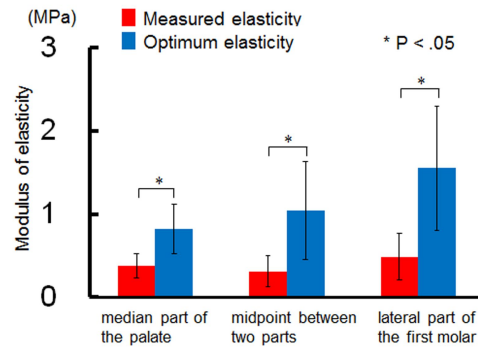
(8) 実測弾性率を用いた三次元有限要素解析の評価

実測弾性率を用いて義歯支持粘膜 FEA モデルの解析を行い、沈下量、von-Mises 応力に対する影響を分析した。

4. 研究成果

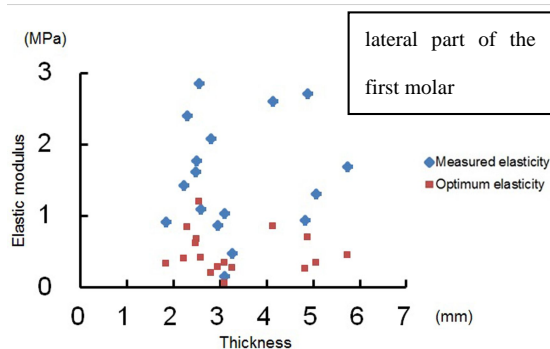
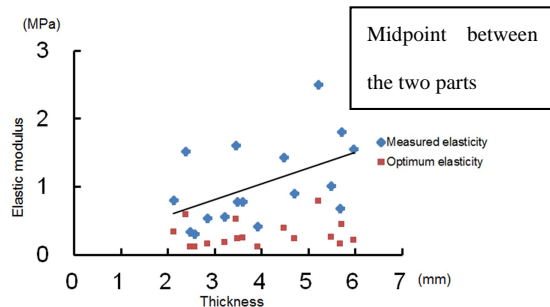
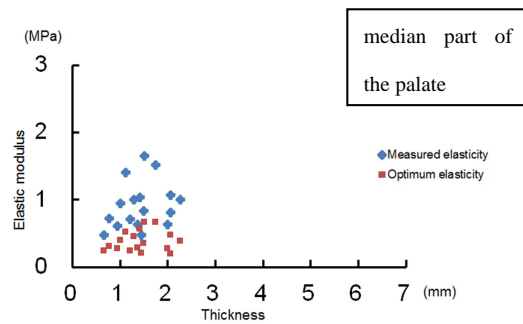
(1) 実測弾性率と最適弾性率の比較

最適弾性率は実測弾性率より正中部、中間部、側方部の全てにおいて有意に小さかった ($P < .05$)。全ての部位において、有意な正の相関関係 ($P < .01$) を認めた。



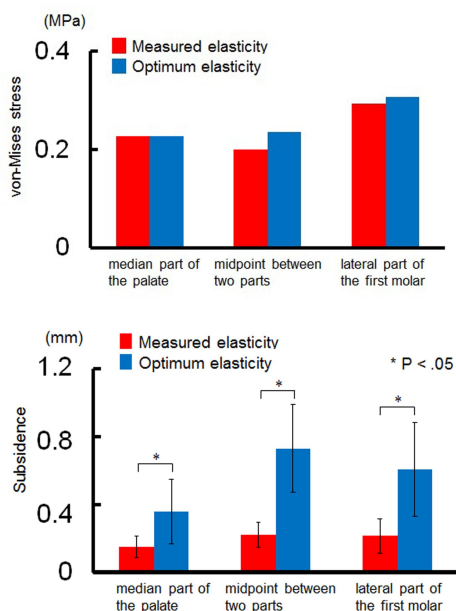
(2) 実測/最適弾性率と義歯支持粘膜の厚さの関係

実測弾性率と厚さ、最適弾性率と厚さで Pearson の相関係数を求めた。実測弾性率と厚さは中間部において有意な正の相関関係 ($P < .05$) を認めたが、正中部、側方部においては有意な相関関係は認められなかった。最適弾性率と厚さでは、全ての部位において有意な相関関係は認められなかった。



(3) 実測弾性率を用いた三次元有限要素解析の評価

実測弾性率を用いて解析した von-Mises 応力は、最適弾性率での結果と有意な差は認められなかったが、実測弾性率を用いて解析した沈下量は最適弾性率での結果より有意に小さかった ($P < .05$) .



本研究から義歯支持粘膜 FEA モデルの構築にあたり弾性率を最適化する必要性が示唆された。しかし、この義歯支持粘膜 FEA モデルは規定した口蓋の一部を切り出したものである。今後は、義歯支持粘膜の動的変化および疼痛発生の詳細な生体力学的検討のために連続した面としての義歯支持粘膜の再現が求められるであろう。本モデルを基に、条件改定を行い再現していきたい。

義歯支持粘膜の厚さから弾性率を推定することは困難であり、FEA において弾性率は各々の部位において、最適化する必要性が示唆され、本研究によって三次元有限要素法を用いた義歯支持粘膜モデルの弾性率測定方法の確立ができたと考えられる。

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1件)

Kotani, Y., Sato, Y., Kitagawa, N., Shimodaira, O., Takeuchi, S., Isobe, A., Takamatsu, N., Tanaka, S. and Hara, S.

Relationship between palatal mucosa properties and pressure-pain threshold in young dentulous and elderly edentulous subjects

J J Gerodont. 査読有. 30(2): 68-79, 2015. 9.30

<http://doi.org/10.11259/jsg.30.68>

[学会発表](計9件)

Tsubakida, K., Sato, Y., Kitagawa, N., Shimodaira, O., Nakatsu, M., Aoyagi, K., Kakuda, T., Takayama, M. and Ishihara, M.

Factors affecting the selection of denture adhesive or oral moisturizers
95th General Session & Exhibition of the International Association for Dental Research

San Francisco, United States, 2017. 3.25

Ishihara, M., Sato, Y., Kitagawa, N., Shimodaira, O., Nakatsu, M., Aoyagi, K., Takayama, M and Tsubakida, K.

Measurement of retention forces of mandibular complete dentures
95th General Session & Exhibition of the International Association for Dental Research

San Francisco, United States, 2017. 3.24

磯部明夫, 佐藤裕二, 北川 昇, 下平 修, 上澤祐子, 高松直也, 田中里美
加齢による義歯支持粘膜の性状と疼痛閾値の解析

第23回日本歯科医学会総会 プログラム・抄録集: 99

第23回日本歯科医学会総会, 福岡国際会議場(福岡県・福岡市), 2016.10.22

Tanaka, S., Sato, Y., Kitagawa, N., Shimodaira, O., Isobe, A., Kamisawa, Y., Takamatsu, N. and Omori, T.

The effects of relief of palatal plates on supporting ability

40th Annual Meeting of the European Prosthodontic Association

Halle, Germany, 2016. 9.17

高松直也, 佐藤裕二, 北川 昇, 下平 修, 七田俊晴, 磯部明夫, 上澤祐子, 小川貴正, 田中里実

上顎全部床義歯装着患者の義歯支持粘膜の弾性率の推定 実測値と有限要素解析の比較

日本補綴歯科学会誌 8・125 回特別号: 165(抄録)

第125回日本補綴歯科学会学術大会, 石川県立音楽堂(石川県・金沢市), 2016. 7.10

田中里実, 佐藤裕二, 北川 昇, 下平 修, 磯部明夫, 上澤祐子, 高松直也, 飯島裕之
リリーフが有歯顎口蓋床の支持力に及ぼす影響

日本補綴歯科学会誌 8・125 回特別号: 167(抄録)

第125回日本補綴歯科学会学術大会, 石川県立音楽堂(石川県・金沢市), 2016. 7.10

Takamatsu, N., Sato, Y., Kitagawa, N., Shimodaira, O., Isobe, A., Kamisawa, Y., Ogawa, T. and Tanaka, S.

Elastic modulus estimation of denture support mucosa using FEA

94th General Session & Exhibition of the International Association for Dental Research

Seoul, Korea, 2016. 6.24

高松直也, 佐藤裕二, 北川 昇, 下平 修, 磯部明夫, 小谷祐子, 小川貴正, 小澤宏亮
上顎全部床義歯患者の圧痛閾値における三次元有限要素解析

日本補綴歯科学会 東京支部総会・第19回学術大会, 東京医科歯科大学(東京都・文京区), 2015.11.29.

田中里実, 佐藤裕二, 北川 昇,

下平 修, 磯部明夫, 小谷祐子, 高松直也, 石原 広

口蓋床の荷重が粘膜沈下量と疼痛に及ぼす影響 口蓋粘膜沈下量と荷重量の同時測定装置の開発

日本補綴歯科学会 東京支部総会・第19回学術大会, 東京医科歯科大学(東京都・文京区), 2015.11.29.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)
取得状況(計0件)
名称:

〔その他〕
ホームページ等: なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下平 修 (SHIMODAIRA, Osamu)
昭和大学・歯学部・講師
研究者番号: 30235684

(2) 研究分担者

佐藤 裕二 (SATO, Yuji)
昭和大学・歯学部・教授
研究者番号: 70187251

北川 昇 (KITAGAWA, Noboru)
昭和大学・歯学部・准教授
研究者番号: 80177831

七田 俊晴 (SHICHITA, Toshiharu)
昭和大学・歯学部・講師
研究者番号: 30635082

磯部 明夫 (ISOBE, Akio)
昭和大学・歯学部・助教
研究者番号: 70307057

青柳 佳奈 (AOYAGI, Kana)
昭和大学・歯学部・助教
研究者番号: 10709760