

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：12602

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26670831

研究課題名(和文)機能時に義歯にかかる力と変位のSPH解析

研究課題名(英文)SPH analysis for power and displacement applying to dentures in oral functions.

研究代表者

水口 俊介 (Minakuchi, Shunsuke)

東京医科歯科大学・医歯(薬)学総合研究科・教授

研究者番号：30219688

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：機能時に義歯に加わる力や義歯の変位を、粘膜との間の滑りの要素も含め解析し、最も義歯の変位が小さくなる諸条件を数値シミュレーションにより明らかにするため、無歯顎患者の顎堤や周囲軟組織の形態をモデル構築し、SPH法により義歯との力学的関係を解析するモデルを構築し、密着タイプ義歯安定剤(HR)の不適切な使用がどのような影響を及ぼすのかを数値的に探った。過剰量のHRは咬合高径を増加させ、義歯が傾斜した状態で装着された場合、頬側床下粘膜の負担圧を顕著に増加させた。HRを適切な量塗布した場合には、不適合義歯の沈下を抑制し床下粘膜の咬合負担圧を減弱させるが、最も負担圧が低いのは適合義歯であった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to analyze the power added to a denture at the time of the chew function and displacement of a denture including a slippery element between the mucous membrane and make the design how displacement of denture will be small clearest by the technique of the numerical simulation. A numerical analysis builds the form of the residual ridge of edentulous patient and the surrounding soft tissue in possible three-dimensional model, and a dynamic problem of a denture is analyzed by modal analysis SPH mesh which is the technique of the new numerical analysis. The viscoelastic analysis program to which a high-level dynamics model by SPH way was developed, and looked for what kind of influence to have on jaw relation and a mucous membrane by improper use of home reliner numerically. It was found that when an improper amount of HR was applied, the occlusal vertical dimension increased and the oral mucosa was pressured more than that under non-HR conditions.

研究分野：歯科補綴学

キーワード：数値シミュレーション SPH法 メッシュレス解析 粘弾性解析 ホームリライナー

1. 研究開始当初の背景

高齢者への適用が多い大型義歯、特に全部床義歯では口唇・頬・舌などの周囲軟組織との機能的協調が重要であるとともに、適切な位置へ適切な咬合力を加えることにより、義歯の安定を図ることが重要である。従来より歯槽頂間線法則、ニュートラルゾーンテクニックの議論や、頬側咬頭どうしの接触により圧搾空間を確保し咀嚼効率や噛み心地を確保したフルバランスドオクルージョン、そして近年増加している吸収した顎骨や菲薄化した顎堤粘膜などの何症例に適応しやすいといわれているリンガライズドオクルージョンのどちらが適切かといったような、決定的な数値的な背景があまりない議論が行われてきた。

義歯に加わる力とそれによる義歯の変位を割り出し、力学的に理想的な人工歯排列位置を決定するためには、顎堤と義歯床の形態、力の着力点と義歯床と粘膜の滑りを正確に把握するだけでなく、咬合面間で変形する食塊から受ける反力など何通りもある場合の数をすべて検証しなければならない。したがって、これまでのようなひずみセンサや圧センサを用いた単独の模型実験や、滑りや大変形問題を解析できない有限要素法による解析だけでは全く不十分であった。

2. 研究の目的

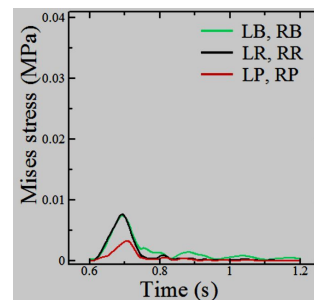
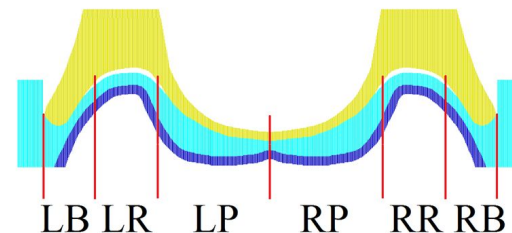
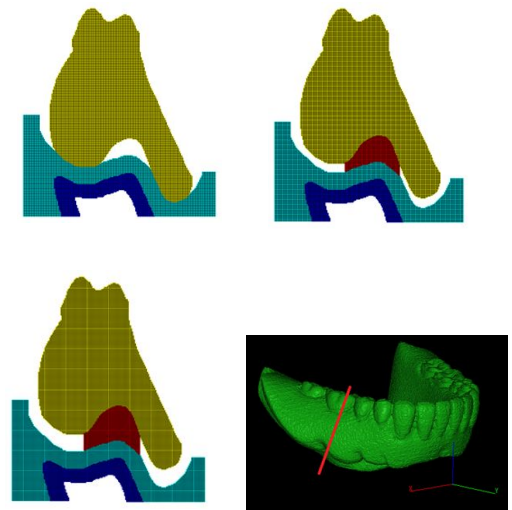
義歯周囲軟組織を数値モデル化し、メッシュレス解析 (SPH法) により義歯、咬合面、食塊、顎堤粘膜、周囲軟組織との力学的関係を解明し、最適の義歯関連の数値モデルを作成する。特に高齢社会で有用となるホームリライナーの適切な臨床評価や使用に関するガイドラインの作成につなげるために、従来の解析方法ではなしえなかった事象を解明する。

3. 研究の方法

粘弾性体の計算手法は複数存在するが、本研究では従来の FEM で口腔粘膜の粘弾性計算に利用されてきた一般化 voigt モデルを用いて SPH 法粘弾性計算プログラムを作製した。シミュレーションモデルの口腔粘膜と HR については粘弾性計算を行い、義歯と上顎骨については弾性計算を行った。また、HR に大変形理論を使用し、その他の材料については微小変形理論を使用した。x, y 軸方向の義歯の偏位と、全ての材料についての応力とひずみをタイムステップ毎に動的解析した。

シミュレーションモデルについては Nissin の蠟堤付き無歯顎石膏模型をコーンビーム CT でスキャンし、第一大臼歯部付近での左右対称な 2 次元スライス像を作製した。このスライス像の石膏部分は、解剖学的形態の文献を基に粘膜と皮質骨に分割し、蠟堤はそのままの形態で総義歯として扱うこととした。適合良好な義歯の control、顎堤頂部分で義歯と粘膜間の距離が 1mm ある不適合義歯の 0-0、不適合義歯の左右内面に貼付する HR の厚さが、適切量の 2mm である 2-2、過剰

量の 4mm である 4-4、左側が 2mm、右側が 4mm である 2-4 の 5 種類作製した。境界条件については、上顎骨を構成する全粒子と、上顎骨と接する粘膜の粒子、モデルの基底面を構成する粒子は全て完全固定とした。他の全ての粒子は x, y 軸方向に完全に自由とした。物性値については、HR はクッションコレクト®のクリープ測定結果を使用し、それ以外のものについては過去の文献を参考にした。荷重条件は、左右咬合面中心部に最大 10N で 0.15sec 荷重後、0.45sec 除荷を 2 サイクルとした。



4. 研究成果

義歯の偏位について

2 サイクル目の荷重における義歯の最大沈下時 (MD) と除荷終了後 (AL) について、各モデルと control 間での荷重点偏位量を算出した。

0-0 の左右荷重点は、MD で control よりも 0.14mm 口蓋方向に沈下した。

2-2 の左右荷重点は、MD で咬合面方向に

0.041mm, AL で咬合面方向に 0.23mm と, HR を貼付したモデルの中では最小の偏位量を示した.

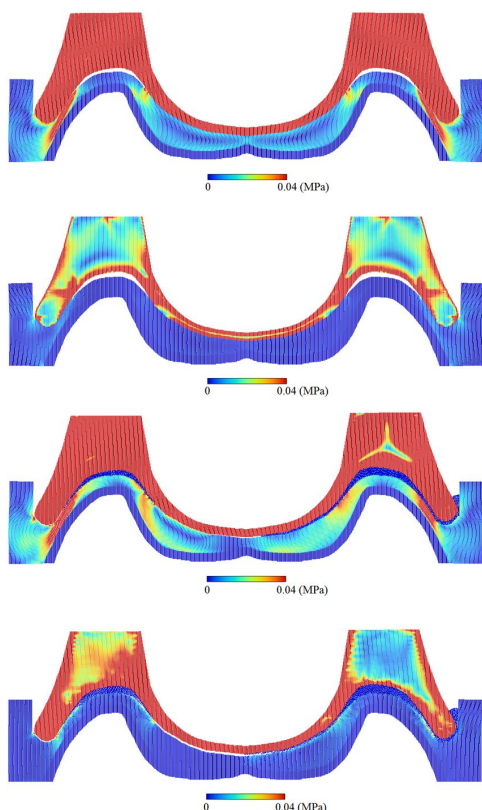
4-4 の左右荷重点は, MD で咬合面方向に 0.41mm, AL で咬合面方向に 0.58mm と, HR を貼付したモデルの中では最大の偏位量を示した.

2-4 では, MD での x 軸方向の偏位は左側荷重点が左へ 0.13mm, 右側荷重点が左へ 0.11mm, y 軸方向の偏位は左側荷重点, 右側荷重点がそれぞれ 0.0086mm, 0.41mm 咬合面方向へ偏位した. 一方 AL での x 軸方向の偏位は左側荷重点が右へ 0.062mm 右側荷重点が左へ 0.058mm, y 軸方向の偏位は左側荷重点, 右側荷重点がそれぞれ 0.27mm, 0.58mm 咬合面方向へ偏位し, HR により傾斜して装着された義歯は除荷中に回転した.

粘膜のミーゼス応力について

義歯の床下粘膜を左右の顎堤頬側領域(左側:LB, 右側:RB), 顎堤頂領域(左側:LR, 右側:RR), 口蓋領域(左側:LP, 右側:RP)に分割し, それぞれの領域について1粒子あたりの平均ミーゼス応力の推移を計測した. 2-4 モデル以外は全て, 左右側で同じ値を示した.

control はシミュレーション中粘膜全ての領域において, 最も低い応力の推移をみせた. 0-0 では特に LB, RB で control より高い応力を示した. 応力の最大値は control が 7.4kPa であったのに対し, 0-0 では 28kPa であった. 2-2 では LB, RB における応力の最大値が 22kPa を示し, 0-0 の同部位最大値より 21% 減少した.



2-4 では LB における応力の最大値が 38kPa を示し, 0-0 の同部位最大値より 36%増加し, 応力は除荷終了時に減衰しきらなかった. LB における応力集中部の範囲は全モデルの中で最大であった.

4-4 では LB, RB における応力の最大値が 24kPa を示し, 0-0 の同部位最大値より 14% 減少した. LR, RR の最大値は 0-0 より大きく, 0-0 が 7.4kPa であったのに対し, 4-4 では 16kPa を示した. LP, RP の最大値についても同様に, 0-0 が 8.2kPa であったのに対し, 4-4 は 14kPa を示した.

<考察>

シミュレーション解析の結果について 全てのシミュレーション条件のうち, control は床下粘膜全体で最も低い応力での推移を示した. このことより最も効率よく咬合圧を分散するのは適合義歯であり, 不適合義歯に HR を使用しても, control と同程度まで床下粘膜の負担圧を減少させることはできない可能性が示唆された.

2-2 では, MD の左右荷重点は control と比較して咬合面方向に 0.041mm 偏位し, LB, RB の最大応力は 0-0 より 21%減少した. このことより, 適切量の HR は咬合高径をほとんど変化させずに, 不適合義歯で生じる義歯の沈下を抑制し, 頬側床下粘膜に集中する応力を緩和できる可能性が示唆された.

2-4 では義歯が傾斜した状態で装着され, 除荷中に義歯が回転した. また LB の最大応力は 0-0 より 36%増加し, 除荷終了時に減衰しきらなかった. また, LB の応力集中部の面積は全モデル中最も広がった. この応力の増加は適合部分の粘膜が押し込まれて義歯が装着されたためと考えられる. このことから, HR を片側に過剰量使用したことにより義歯が傾斜して装着された場合, 適合状態であった部位の負担圧は上昇し, 咀嚼中に回転する義歯が接触する度加圧されている可能性が示唆された. Woelfel らのケースレポートで指摘されていた, HR による顎堤吸収はこのような状況に起因する可能性が考えられた.

4-4 では MD における左右荷重点の偏位量が咬合面方向に 0.41mm と最も大きく, LB, RB の最大応力は 0-0 より 14%減少したが, LR, RR, LP, RP での応力は 0-0 より 2 倍程度増加した. これは HR が, 義歯が元々適合していた口蓋部分にまで漏出し, 粘膜を圧迫したためと考えられる. このことより, 過剰量の HR は咬合高径を増加させ, 床下粘膜の負担応力を不適合状態よりも増加させることが示唆された.

患者自らが義歯の不適合量を見極め, HR を適切量塗布することは困難であると考えられる. よって HR は義歯の咬合高径を増加させ, 床下粘膜の負担圧を増加させる可能性がある

るといえる。HRの使用は歯科医師の指導の下で短期間に限り、義歯を新製するべきであると考えられた。

SPH法による解析について

シミュレーション計算中、モデルは発散することなく安定した状態で解析が行われた。よってSPH法への一般化voigtモデルの適応は有用であると考えられる。今回のシミュレーションを踏まえて、今後は生体など、同様の解析対象を有する他分野への応用も見込まれる。

SPH法での大変形を伴う動的粘弾性計算には膨大な計算量が必要となる。今後同問題について3次元での解析を実用可能にするためには、GPUコンピューティングによる並列高速処理化が望まれる。

<結論>

SPH法による粘弾性解析はHRと口腔粘膜のシミュレーション解析に有効な手法であることが明らかになった。今回のシミュレーション条件に限れば、過剰量のHRは咬合高径を増加させ、特に義歯が傾斜した状態で装着された場合、頬側床下粘膜の負担圧を顕著に増加させることが明らかとなった。HRを適切量塗布した場合には、不適合義歯の沈下を抑制し、床下粘膜の咬合負担圧を減弱させるが、最も負担圧が低いのは適合義歯であることが明らかとなった。

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)

Hirayama D, Sakai Y, Akiba N, Kanazawa M, Minakuchi S Effect of home reliner on occlusal relationships and oral mucosa: viscoelastic analyses by smoothed particle hydrodynamics simulation. Comput Biol Med. 2015 Nov 1;66:20-8. doi: 10.1016/j.combiomed.2015.07.023. Epub 2015 Aug 14

[学会発表](計1件)

中村敏成、秋葉徳寿、谷本宏之、水口俊介
ホームリライナー使用による義歯の変位量
日本補綴歯科学会関越支部学術大会2016年1月16日群馬県高崎市ホテルメトロポリタン高崎

[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：

出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

水口 俊介 (MINAKUCHI Shunsuke)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・教授
研究者番号：30219688

(2)研究分担者

佐藤 佑介 (SATO Yusuke)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教
研究者番号：10451957

(3)研究分担者

金澤 学 (KANAZAWA Manabu)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・助教
研究者番号：80431922

(4)連携研究者

酒井 譲 (SAKAI Yuzuru)
横浜国立大学・教育人間科学部・教授
研究者番号：90114975