

氏名	さわ だ あい 澤 田 愛
学位の種類	博士 (歯学)
学位授与番号	岩医大院歯博第264号
学位授与の日付	平成23年3月10日
学位論文題目	Viscoelasticity of Human Oral Mucosa: Implications to Masticatory Biomechanics (ヒト口腔粘膜の粘弾性性質—咀嚼バイオメカニクス解明への示唆)

論文内容の要旨

I 研究目的

顎堤粘膜は、義歯からの咬合力を受け止め補綴物を機能させる一方、痛みや損傷によって義歯の予後を左右する原因ともなる。ヒトの顎堤粘膜の動的挙動は粘弾性性質に依存することが知られているが、痛みや損傷と密接に関係する粘膜内部の歪みと応力の評価はこれまで行われなかった。本研究では、顎堤粘膜表面の変位を測定し、時間と変位の関係を被験者ごとに構築した力学モデルに組み入れて、粘膜内部の歪みと応力を分析した。

II 研究方法

1. 顎堤粘膜変位量測定

荷重ピンによる負荷、除荷の制御と粘膜の変位量を感知するセンサを含む、口腔内における粘膜変位量測定システムを自作した。上顎片側大臼歯が欠損し、補綴治療が終了し顎口腔系に特に問題のない患者を被験者 (N = 5) とし、欠損部顎堤粘膜に対し 0.038N/mm² の一定荷重を 10 秒間負荷し、除荷後 20 秒間の変位の変化を記録した。

2. 有限要素解析 (FEM)

各被験者の顎堤粘膜と顎骨の三次元有限要素モデルを歯科用コーンビーム CT の断層画像を基にトレース法で構築した。モデルは均質、等方性の線形弾性体とし、弾性率は報告されている値を採用した。粘膜は均質な等方性弾性体とし、非線形特性である粘弾性を付与した。粘弾性性質は、緩和弾性率 $G(t) = G_0 \times \text{EXP}(-t/\tau)$ の式を応用し、被験者ごとの初期弾性率 (G_0) と緩和時間 (τ) を、測定データを基にしたカーブフィット法から算出して求めた。解析条件は、測定と同じ単荷重条件、および咀嚼を想定した繰り返し荷重条件とで行った。繰り返し荷重では、単荷重と同じ荷重を 1 秒間負荷して 1 秒間除荷するサイクルを 10 回繰り返した。分析は、粘膜内部の主応力および主歪みの大きさと方向を対象とした。

III 研究成果

粘膜表面の垂直変位は荷重直後に瞬間的に増加し、その後荷重を維持するとさらに変位量が増加するクリープ現象を示した。除荷すると即座に弾性回復を示すが完全には元の形状に戻らず、その後緩やかに回復した。初期弾性率と緩和時間の平均はそれぞれ $(8.0 \pm 3.0) \times 10^{-5}$ GPa と 494 ± 8 秒であった。

粘膜表層における圧縮応力と圧縮歪みは荷重直後に急激に増加し、荷重維持により歪みはさらに増加したが応力はわずかに減少した。除荷直後、残留歪みは存在するものの圧縮歪みは瞬間的に大きく減少する一方、応力は瞬間的にほぼ 0 に回復した。圧縮歪みは荷重方向と平行に分布した。主歪みと主応力は粘膜の深部にかけて減少し、粘膜内部においては表層に見られるような荷重と除荷による時間依存性の変化は顕著でなかった。

繰り返し荷重により、粘膜表層部の最大圧縮歪みは次第に増加して蓄積される傾向を示したが、逆に応力はわずかに減少した。粘膜内部では、応力と歪みの大きさは粘膜表面と比較して小さく、繰り返しによる変化もわずかであった。

IV 考察及び結論

持続荷重下では粘膜表面の最大歪みは増加したが、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。持続荷重や繰り返し荷重下で最大歪みが増加・蓄積される一方、最大応力はわずかに減少した。この結果は、粘弾性体の主要な性質である応力緩和特性によると考えられ、粘膜のクリープ現象が組織内の応力集中を他の部位に分散させる自己防衛の役割を担うものであることが示唆された。そして、繰り返し荷重により粘膜表層の圧縮歪みが徐々に蓄積される現象からは、義歯床下粘膜の痛みや損傷が、単発の荷重よりも咀嚼運動の繰り返しと深く関係していることが示唆される。歯のエナメル質や歯根膜とは異なり、顎堤粘膜は本来義歯床を介して咬合力を受け止めるための構造を有しているわけではなく、義歯の設計においてはその特異な力学的挙動を考慮する必要がある。

論文審査の結果の要旨

論文審査担当者

主査 教授 石橋 寛二 (歯科補綴学講座 冠橋義歯補綴学分野)

副査 教授 鈴木 哲也 (歯科補綴学講座 有床義歯補綴学分野)

副査 講師 根津 尚史 (口腔病因病態制御学講座 歯科医療工学分野)

顎堤粘膜の痛みや損傷と密接に関係する粘膜内部の歪みと応力を評価する試みはこれまで行われていない。本研究では上顎第一、第二大臼歯を欠損した患者を対象とし、個々のコーンビーム CT 画像から得られた欠損部顎堤の粘膜と骨の形態をもとに三次元有限要素モデルを構築し、実際に口腔内で計測した顎堤粘膜表面の変位を、時間と変位の関係から得られる粘弾性性質として有限要素モデルに組み入れて、粘膜の歪みと応力を分析した。

磁石と歪みゲージからなる自作した粘膜変位量測定装置を用い、被験者 (n = 5) の上顎大臼歯欠損部顎堤粘膜に 10 秒間荷重を負荷後、除荷するまで変位を記録し、粘弾性性質を求めた。各被験者の顎堤形態と粘弾性性質から構築した有限要素モデルに測定と同じ持続荷重および咀嚼運動を想定した繰り返し荷重を付与し、内部の歪みと応力を解析した。

いずれの被験者においても粘膜表面は荷重直後に大きく沈下し、荷重の維持に伴いさらに変位が増加するクリープ現象を示した。粘膜表層の圧縮応力と圧縮歪みも荷重直後に増加し、荷重の維持により歪みは増加したが、応力はわずかに減少した。繰り返し荷重でも同様に粘膜表面の主歪みは蓄積、応力はわずかに減少した。粘膜内部の応力と歪みは粘膜表面と比較して小さく、繰り返しによる変化もわずかであった。

持続荷重下で歪みが増加する粘膜表面と変化しない粘膜内部の様相から、クリープ現象は主に表面領域が担っていると考えられる。また、繰り返し荷重により歪みが徐々に蓄積される現象から、義歯床下粘膜の痛みや損傷が繰り返しの咀嚼運動と深く関係していることが示唆された。

試験・試問の結果の要旨

本研究の目的、概要について説明がなされ、研究方法、結果に対する考察について試問した結果、適切な解答が得られた。また、今後の研究に意欲を示し、十分な見識を持っているので学位に値すると評価した。