

学位論文題名

The dynamic behaviour of a lower complete denture during unilateral loads: Analysis using the finite element method

(下顎総義歯の片側荷重時の動態解析 - 有限要素法の応用 -)

学位論文内容の要旨

【目的】

総義歯を良好に機能させるためには、義歯床粘膜面の適合とともに、咬合接触状態が非常に重要である。人工歯の咬合接触状態と義歯の動態は密接に関連しており、その良否が義歯の機能を左右するといっても過言ではない。しかし、下顎総義歯の機能時の動態について、定量的な解析はほとんどみられない。一方、日常の臨床では、義歯の動揺と咬合紙の印記を基に咬合干渉部位を推測することが多い。そのためには、術者が咬合干渉と義歯の動揺との関連を理解していなければならない。しかしながら、この関連性についての報告は、臨床経験に基づく推測以外にはみあたらない。そこで、論文申請者は、義歯の動態を解析する方法として、3次元有限要素法を用い、片側性の荷重が下顎総義歯の動態へおよぼす影響を検討した。

【解析方法】

解析モデルは、下顎総義歯、顎堤粘膜、および下顎骨の臼後結節相当部より前方の部分からなり、解剖学的計測値を参考に作成した。顎堤形態は、比較的吸収が少なく形態的に良好なものを想定した。下顎骨下縁の節点の全方向と、下顎骨後方断面の節点の前後方向について変位を拘束した。各構成要素の材料定数は、過去の文献を参考に設定した。

また、本研究では、義歯床と粘膜の接触界面で互いに向かい合った節点同士を、ギャップ要素により結合することで、義歯床と粘膜の、接触・非接触、および接触界面に沿った「滑り」を解析にとりいれた。

荷重条件を設定するにあたり、咬合干渉が生じた状態では、干渉の生じた咬合小面に垂直な方向に荷重が加わるものと仮定した。荷重点を、第1小臼歯、第1大臼歯近心、第2大臼歯近心の頬舌側の各咬頭に定め、頬側の各咬頭について、前方、後方、平衡の各咬合小面に垂直な方向の荷重を、舌側の各咬頭について、前方、後方の各咬合小面に垂直な方向の荷重を設定した。咬合小面の3次元的方向は、過去の報告を参考に推定した。荷重量は1 kgfとして、各荷重条件について解析を行った。

解析は、東京大学大型計算機センター HITAC M-880 および、日本 MSC 株式会社製、汎用構造解析システム MSC/NASTRAN にて行った。

【結果】

前方咬合小面に荷重を加えた場合（以下 A 荷重）には、荷重点直下の歯槽頂部と頬棚を中心に応力が分布した。しかし、極端な応力の集中はみられず、義歯の変位量は小さかった。また、頬側咬頭への A 荷重時には、舌側咬頭への A 荷重時に比べ、応力が増大する傾向にあった。

後方咬合小面に荷重を加えた場合（以下 P 荷重）には、荷重点直下の頬側寄りの部位に、比較的大きな応力が分布した。また、大臼歯への P 荷重では、荷重点直下のみならず、荷重点から離れた反対側の前歯から小臼歯部にかけての舌側にも応力が分布する、という特徴がみられた。義歯の変位をみると、荷重の近心方向の分力により、義歯が顎堤弓に沿って粘膜上を滑走し、義歯全体が水平面内で非荷重側へ回転し、義歯前方部の非荷重側が唇側方向に押し出されていた。荷重点の頬舌的な違いでは、頬側咬頭への P 荷重では、舌側咬頭への荷重に比べ、応力が増大する傾向にあった。

平衡咬合小面に荷重を加えた場合（以下 B 荷重）には、義歯床の水平面、矢状面および前頭面内での回転は全解析条件中最大となった。応力分布では、荷重点頬側の床縁部、荷重点直下から近心の歯槽頂部、臼後結節に大きな応力が分布した。また、応力の大きさおよび分布範囲は、荷重点が近心にあるほど大きかった。

【考察】

<解析方法について>

これまでの有限要素法を用いた有床義歯の研究では、義歯と粘膜が固着された状態のモデルが用いられているが、義歯の変位が大きくなるような条件下では、義歯の浮上や粘膜上での滑走が抑制されてしまうため、解析結果に誤りを生じる可能性がある。本研究では、顎堤粘膜を構成する要素と、義歯床を構成する要素とを、ギャップ要素で接合することで、義歯と粘膜との接触と滑走をモデル化した。この方法では、予め各部位での滑走方向を規定する必要があるため、義歯の水平方向の変位量が大きいと、実際の滑走方向とのずれを生じ、解析誤差が増大する危険性があるが、荷重量を 1kgf という比較的小さな値に設定することで回避した。

<解析結果について>

A 荷重では応力の大きさが比較的小さかった。荷重の遠心方向の分力による義歯床の遠心への滑走が、臼後結節や歯槽面の存在により抑制されたため、前方咬合小面での早期接触では、転覆・滑走等の不安定な義歯の動きは、生じにくくなったと考えられた。一方、従来報告されている咬合小面の向きと咀嚼運動の方向から、機能時の咬合力のかなりの部分がこの咬合小面に加わると考えられる。従って、義歯が咀嚼圧を支持するうえで、前方咬合小面での咬合接触の存在が重要であることが示唆された。また、A 荷重で、荷重し

た側に応力の集中がみられたことは、粘膜に疼痛の生じている部位の付近に咬合干渉がしばしば存在する、という従来の報告に一致した。

P荷重では、荷重側と反対側の舌側にも応力の集中がみられる、という特徴があった。従って、過圧部がこの部位に存在する場合、反対側大臼歯部の後方咬合小面での早期接触を精査する必要があると考えられた。また、下顎舌側の義歯床下粘膜の疼痛は反対側の咬合干渉に由来することがある、とする報告があるが、P荷重時の義歯の動態はこれに該当すると考えられた。

B荷重では、義歯の動きは最大となり、応力集中も著しかった。これは、荷重が歯槽頂よりも近心頬側方向に作用したため、義歯の推進や転覆力を発揮させたためと考えられた。荷重点が近心にあるほど応力の増大傾向が認められた原因として、荷重点付近の義歯床の頬舌的幅径は他と比べ小さく、頬舌的回転に対する安定性が小さくなったことが考えられた。平衡咬合小面での咬合干渉は、他に比して為害性が強く、両側性平衡咬合を付与する場合には、少なくとも作業側より強い接触とならないよう、注意すべきと考えられた。

また、A荷重とP荷重では、頬側咬頭への荷重と比較して、舌側咬頭への荷重では、義歯の動揺量の減少や、応力集中の軽減傾向がみられたことから、リングライズドオクルージョンのような上下頬側咬頭を接触させない咬合様式は、力学的には有利であると考えられた。

本研究で用いた3次元有限要素法による義歯の動態解析の有効性が確認された。ギャップ要素による結合を用いることにより、従来の研究で表現されていなかった相対する2面の滑りを組み入れることが可能になった。また、本手法は、生体との等価性を高めるものであることが示唆された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 川 崎 貴 生
副 査 教 授 亘 理 文 夫
副 査 教 授 大 畑 昇

学 位 論 文 題 名

The dynamic behaviour of a lower complete denture during unilateral loads: Analysis using the finite element method

(下顎総義歯の片側荷重時の動態解析 - 有限要素法の応用 -)

審査は、大畑、亘理および川崎審査委員全員が出席のもとに、まず論文提出者に対して提出論文の内容の要旨を説明させ、論文の内容について審査委員の口頭試問を行った。以下に提出論文の概要と審査の内容を述べる。

総義歯を良好に機能させるためには、義歯床粘膜面の適合とともに、咬合接触状態が非常に重要である。人工歯の咬合接触状態と義歯の動態は密接に関連しているが、下顎総義歯の機能時の動態について、定量的な解析はほとんどみられない。一方、義歯の診査や調整を行う場合、咬合干渉と義歯の動揺との関連の理解が不可欠であるが、この関連性についての実験的報告はみあたらない。そこで、本研究では、機能時の咬合力あるいは咬合干渉を想定し、片側性の荷重が、下顎総義歯の動態へおよぼす影響を3次元有限要素法により検討した。

【解析方法】

解析モデルの形状は、解剖学的計測値を参考に作成した。また、ギャップ要素を使用して、義歯床と粘膜の接触・非接触、および接触界面に沿った「滑り」を、解析に取り入れた。荷重点は、左側第1小臼歯、第1大臼歯近心、第2大臼歯近心の各咬頭に荷重点を設定し、Gysiの咬合小面学説に基づき、前方、後方、平衡の各咬合小面に垂直な方向の荷重（以下それぞれA荷重、P荷重、B荷重とする）を設定し、計15種類の1点集中荷重について解析を行った。

【結果と考察】

解析方法について：従来の有限要素法による有床義歯の研究では、義歯と粘膜が固着された状態のため、義歯の浮上や粘膜上での滑走が抑制され、解析結果に誤りを生じる可能性がある。そこで本研究では、ギャップ要素により、義歯と顎

堤粘膜との接触滑走を解析に取り入れた。この際、実際の滑走方向と、ギャップ要素に設定した滑走方向とのずれにより解析に誤差を生ずる可能性があるため、荷重量を1 kgfという小さな値としてこれを回避した。

解析結果について：A荷重では、荷重点直下の歯槽頂部と頬棚を中心に応力が分布した。したがって、粘膜に疼痛の生じている場合、その付近に咬合干渉の存在する可能性があると考えられた。一方、A荷重では強い応力集中はみられなかった。従来報告されている咀嚼運動の方向から、機能時の咬合力のかなりの部分が前方咬合小面に加わると考えられる。従って、義歯が咀嚼圧を支持するうえで、前方咬合小面での咬合接触の存在が重要であることが示唆された。大白歯へのP荷重では、義歯が水平面内で回転し、荷重点直下のみならず、荷重点から離れた反対側の前歯から小白歯部にかけての舌側にも応力が分布する、という特徴がみられた。過圧部がこの部位に存在する場合、反対側大白歯部の後方咬合小面での早期接触を精査する必要があると考えられた。B荷重では、義歯床の水平面、矢状面および前頭面内での回転は全解析条件中最大となり、荷重点頬側の床縁部等に大きな応力が分布した。したがって、平衡咬合小面での咬合干渉は、他に比して為害性が強く、両側性平衡咬合を付与する場合には、作業側よりも強い接触とならないよう注意すべきと考えられた。さらに、舌側咬頭への荷重では、義歯の動揺量の減少や、応力集中の軽減傾向がみられたことから、リングライズドオクルージョンのような上下頬側咬頭を接触させない咬合様式は、力学的には有利であると考えられた。一方、以上の結果は、咬合干渉部位と義歯床下粘膜の疼痛部位との関連について、臨床的経験により示されている現象によく一致しており、モデルの等価性が良好であることを示唆するものであった。

【結論】

本研究で用いた3次元有限要素法による義歯の動態解析の有効性が確認された。ギャップ要素による結合を用いることにより、従来の研究で表現されていなかった相対する2面の滑りを組み入れることが可能になった。また、本手法は、生体との等価性を高めるものであることが示唆された。

以上の論述に引き続き解析方法、結果、考察、臨床との関連および意義についての質疑応答を行い、論文提出者はいずれも明快な解答と説明を行った。

本研究は、下顎総義歯の動態を、義歯床粘膜面と顎堤粘膜表面との接触状態を考慮した独創的な有限要素モデルにより解析した。これは、咬合干渉と義歯の動態との関連を実験的に明らかにするとともに、義歯に付与すべき咬合様式についても示唆を与えるものであった。さらに、今後の展望に関してもしっかりとした研究計画をもっており、将来性の点においても高く評価されるものであった。よって、学位申請者は博士（歯学）の学位授与にふさわしいものと認めた。