

3次元有限要素法を用いた支台築造の応力解析

—各種ポストの物性の違いによる影響—

学位論文内容の要旨

【目的】 歯根破折は、無髄歯の補綴治療における致命的なトラブルであり、一般的にその予後は不良である。歯根破折を防止するためには、歯根部での応力集中を避け、均等な応力分布を得ることが必須である。

近年、金属よりも象牙質により近似した弾性係数を有するポスト材料としてとして、ファイバー強化型プラスチック (FRP) が開発された。FRP 製のポスト、すなわちファイバーポストはこれまでポストに用いられてきた金属よりも弾性が高く、咬合力が加わった場合に象牙質と協調して変形することによって、歯根破折に至るような応力集中を起こしにくいと考えられている。しかし、ファイバーポストは最近開発されたものであるために、ファイバーポストを扱った研究はまだ非常に少ない。また、これまでの応力解析研究で用いられてきた歯根モデルは、2次元モデルもしくは、3次元モデルでも軸対称形に単純化されたものがほとんどであり、実際の歯根形態を正確に再現しているとは言い難い。

そこで、本研究ではヒト抜去歯をマイクロ CT 撮影し解剖学的 3次元モデルを作成し、ポスト部分の弾性係数が歯根象牙質の内部応力に与える影響について 3次元有限要素法を用いて解析することを目的とした。

【方法】 ヒト抜去上顎中切歯をマイクロ CT による断層撮影を行い、各断面画像の外輪部を抽出した。3次元 CAD プログラム (Pro/ENGINEER, ParametricTechnology) にてサーフェイスを作製することにより 3次元の解剖学的な上顎中切歯モデルを作製した。次に、上顎中切歯モデルにポストとコンポジットレジンをを用いて支台築造を行う支台歯形態とし、歯冠修復物としてポーセレンジャケットクラウンを設計した。

上記の方法により作製されたモデルを有限要素プログラム (ANSYS 5.5 ANSYS) に移行した後、3次元有限要素モデルを構築した。ポーセレン、レジンセメント、コンポジットレジン、既製ポスト、象牙質、ガッタパーチャ、歯根膜、皮質骨、海面骨、を構成要素とし、

それぞれに応じた物性値を与えた。ファイバーポスト（条件F）、チタンポスト（条件T）、ステンレスポスト（条件S）を想定し、ポスト部分に与える弾性係数をそれぞれ 45 GPa, 110 GPa, 200 GPa, として解析を行った。ポストの直径は 1.6mm, 根管内に挿入している長さは 8mm とし、ポストの形状は平行な形態とした。

有限要素モデルは、6 接点, 5 面体と 8 接点, 6 面体要素より構成され、節点数は 25746, 要素数は 14528 とした。歯槽骨底部を完全拘束し、荷重は舌側から歯軸長軸方向 45 度の方向から歯冠口蓋側中央部に 100N 荷重負荷し、静解析を行った。

【結果】 本研究の結果から、ポスト先端周囲歯質、歯槽骨頂周囲歯質、歯頸部周囲歯質に他の部位より高い応力が発生する傾向が示された。歯根表面では、荷重側では歯頸部マージンから根尖近くまで引張応力が、非荷重側では歯頸部マージンと歯槽骨頂に近接した部位に圧縮応力のピークが観察された。また、ポスト先端周囲においては荷重側では圧縮応力が、非荷重側では引張応力が認められた。ポスト部分の弾性係数は歯根の内部応力に影響し、ポスト先端周囲では引張応力および圧縮応力の最大値は弾性係数が小さいものほど減少する傾向を示した。条件Fは条件Sと比較すると、引張応力は 29.6%・圧縮応力は 27.1%低い応力値を示した。条件Tと条件Sと比較した場合、条件Tで引張応力は 14.3%・圧縮応力は 16.9%の低い応力値が観察された。

一方、歯頸部及び骨縁周囲では、ポストの弾性係数が小さくなるにつれて圧縮・引張応力ともに高くなる傾向が示された。歯頸部周囲歯質は、最も弾性係数の小さいポストを想定した条件Fでは最も弾性係数の大きい条件Sに比べ、引張応力は 10.3%・圧縮応力は 22.9%高い応力値が認められた。中間の弾性係数を与えた条件Tと条件Sを比較した場合、条件Tで引張応力は 4.2%・圧縮応力は 8.1%の高い応力値を示した。骨縁周囲歯質においては、条件Fと条件Sを比較すると条件Fは、引張応力は 21.1%・圧縮応力は 8.2%高い応力値が認められた。また、条件Tと条件Sと比較した場合、条件Tで引張応力は 12.6%・圧縮応力は 2.6%の高い応力値を示した。

【考察】 ポスト先端部からの歯根破折は再治療が困難で抜歯となることが多いが、歯頸部での破折は歯根を救済できる可能性が高い。予後不良な歯根破折を回避するには、ポスト先端周囲の応力集中を避けることが重要だと考えられる。そのためには、象牙質に近似した弾性係数を有するファイバーポストの使用が有用であることが、本応力解析研究の結果から示唆された。しかし、ファイバーポストを用いた場合には、歯頸部周囲歯質の応力が高くなることから、マージン部分の変形やセメントの破壊といったトラブルが多くなることが危惧される。

【結論】 象牙質に近似した弾性係数を有するポストを使用することで、ポスト先端周囲の

応力を軽減できることが示された。一方、歯頸部周囲歯質及び骨縁周囲歯質の応力は、弾性係数が大きいポストを使用した場合と比較して、より高くなることが示唆された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 畑 昇
副 査 教 授 亘 理 文 夫
副 査 教 授 佐 野 英 彦
副 査 教 授 三 田 村 好 矩

学 位 論 文 題 名

3次元有限要素法を用いた支台築造の応力解析

—各種ポストの物性の違いによる影響—

審査は亘理、佐野、三田村および大畑審査委員全員が出席のもとに、まずは論文提出者に対して提出論文の内容の要旨を説明させ、提出論文の内容に関する審査委員の口頭試問を行った。以下に、提出論文の要旨と審査の内容を述べる。

1. 提出論文の要旨

歯根破折は、無髄歯の補綴治療における致命的なトラブルであり、一般的にその予後は不良である。歯根破折を防止するためには、歯根部での応力集中を避け、均等な応力分布を得ることが必須である。近年、金属よりも象牙質により近似した弾性係数を有するポスト材料として、ファイバー強化型プラスチック (FRP) が開発された。FRP製のポスト、すなわちファイバーポストはこれまでポストに用いられてきた金属よりも弾性に富み、咬合力が加わった場合に象牙質と協調して変形することによって、歯根破折に至るような応力集中を起こしにくいと考えられている。しかし、ファイバーポストは最近開発されたものであるために、ファイバーポストを扱った研究はまだ非常に少ない。また、これまでの応力解析研究で用いられてきた歯根モデルは、2次元モデルもしくは、3次元モデルでも軸対称形に単純化されたものがほとんどであり、実際の歯根形態を正確に再現しているとは言い難い。そこで、本研究ではヒト抜去歯のマイクロCTデータをもとに解剖学的3次元モデルを作成し、ポスト部分の弾性係数が歯根象牙質の内部応力に与える影響について3次元有限要素法を用いて解析することを目的とした。

ヒト抜去上顎中切歯をマイクロCTによる断層撮影を行い、各断面画像の外輪部を抽出した。3次元CADプログラム (Pro/ENGINEER, ParametricTechnology) にてサーフェイスを作製することにより3次元の解剖学的な上顎中切歯モデルを作製した。次に、上顎中切歯モデルにポストとコンポジットレジンを用いて支台築造を行う支台歯形態とし、歯冠修復物としてポーセレンジャケットクラウンを設計した。上記の方法により作製されたモデルを有限要素プログラム (ANSYS 5.5 ANSYS)に移行した後、3次元有限要素

素モデルを構築した。ポーセレン、レジンセメント、コンポジットレジン、既製ポスト、象牙質、ガッタパーチャ、歯根膜、皮質骨、海面骨、を構成要素とし、それぞれに応じた物性値を与えた。ファイバーポスト、チタンポスト、ステンレスポストを想定し、ポスト部分に与える弾性係数をそれぞれ 45 GPa, 110 GPa, 200 GPa とし解析を行った。ポストの直径は 1.6mm、根管に挿入している長さは 8mm とし、ポストの形状は平行な形態とした。

有限要素モデルは、6 接点、5 面体と 8 接点、6 面体要素より構成され、節点数は 25746、要素数は 14528 とした。歯槽骨底部を完全拘束し、荷重は舌側から歯軸長軸方向 45 度の方向から歯冠口蓋側中央部に 100N 荷重負荷し、静解析を行った。

本研究の結果から、ポスト先端周囲歯質、歯槽骨頂周囲歯質、歯頸部周囲歯質に他の部位より高い応力が発生する傾向が示された。また、ポスト先端周囲においては荷重側では圧縮応力が、非荷重側では引張応力が認められた。ポスト部分の弾性係数は歯根の内部応力に影響し、ポスト先端周囲では引張応力および圧縮応力の最大値は弾性係数が小さいものほど減少する傾向を示した。象牙質に近似した弾性係数を有するファイバーポストを使用することで、ポスト先端周囲の応力を軽減できることが観察され、予後不良な歯根破折を回避するには、ポスト先端周囲の応力集中を避けることが重要であると考えられる。一方、歯頸部及び骨縁周囲では、ポストの弾性係数が小さくなるにつれて圧縮・引張応力ともに高くなる傾向が示された。

2. 審査委員からの質問

- (1) 解析手法として有限要素法を選択した理由について
- (2) 3次元有限要素モデルの解析精度についてどのように考察するか
- (3) ポストの機械的性質が応力集中部位に関与する理由について
- (4) ファイバーポストの弾性係数が歯根象牙質に対して働くメカニズムについてどのように考察するか
- (5) ファイバーポストの臨床的な活用法(残存歯質量が少ない場合、テーパーストの場合等)とその展望について

以上のような質問について、論文提出者はそれぞれに的確に解答し、考察・展望について明確に言及した。

論文提出者はファイバーポストの歯根象牙質に対する応力解析の報告が少ないなかで、特にポストの弾性係数の関与について 3次元有限要素法を用いて検討した。

本研究のような基礎的見解を今後の臨床へ応用する展望についても深く考察しており、将来性の点においても評価できる。よって、学位申請者は博士(歯学)の学位授与にふさわしいと認めた。