Osaka University Knowledge Archive

Title	エナメル質の構造異方性を考慮したマルチスケール応力解析による外傷発生プロセスの検討
Author(s)	三浦, 治郎
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46412
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

【34】

氏　　名	三浦治郎（みうらじろう）
博士の専攻分野の名称	博　士（歯　学）
学　位　記　番　号	第　２０２３５　号
学位授与年月日	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 歯学研究科分子病態口腔科学専攻
学　位　論　文　名	**エナメル質の構造異方性を考慮したマルチスケール応力解析による外傷発生プロセスの検討**
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　前田　芳信 （副査） 教　授　吉田　篤　　講　師　久保　和子　　講　師　林　美加子

論　文　内　容　の　要　旨

【目的および意義】

歯科外傷に関する研究は、疾患および外傷発生後に行われる外科的処置や応急処置など、治療に関するものが多く、エナメル質の破折発生のメカニズムに関しての研究は少ない。本研究では、エナメル小柱などのミクロ構造から歯および歯周組織などを含むマクロ構造まで視野に入れた歯の破壊プロセスの検討を目的とした。

【実験方法】

1．微小硬度試験

エナメル質と象牙質の微細レベルでの異方性物性値を同定するため、抜去歯より作成した試験片（エナメル質、象牙質）に対して微小硬度試験を行い、エナメル小柱および象牙細管走行方向に対する配向角とそれに相当する弾性係数から一方向強化板理論を用い三次元異方性物性値（縦弾性係数：E、剪断弾性係数：G、ポアソン比：ν）の算出を行った。

2．マルチスケール応力解析

マクロモデルは、CT より作成し、そのデータをセグメンテーションにより要素分けを行いモデルを作成した。ミクロモデルは、電子顕微鏡写真と組織学的平均値を参考に作成し、材料設定としてエナメル質と象牙質に対して、算出した弾性係数を、エナメル質小柱走行方向を材料主軸として異方性の材料設定を行った。有限要素解析においてマルチスケール応力解析の一手法である重合メッシュ法を用いて行った。荷重方向は唇側から歯面に対して 10 N に設定して応力解析を行った。

【結果】

1）エナメル質の異方性物性値は代表値として材料主軸を X 軸とした座標系（x, y, z）に対して縦弾性係数（GPa）：(E_X, E_Y, E_Z)=(73.72, 63.27, 63.27)、剪断弾性係数（GPa）(G_{XY}, G_{YZ}, G_{ZX})=(20.89, 24.07, 20.89)、ポアソン比（ν_{XY}, ν_{YZ}, ν_{ZX})=(0.23, 0.45, 0.23)、象牙質では縦弾性係数（GPa）：(E_X, E_Y, E_Z)=(17.07, 5.61, 5.61)、剪断弾性係数（GPa）(G_{XY}, G_{YZ}, G_{ZX})=(1.70, 6.00, 1.70)、ポアソン比（ν_{XY}, ν_{YZ}, ν_{ZX})=(0.30, 0.33, 0.30) と

異方性を示す同定結果が得られた。

2）中切歯唇面への荷重においてマクロモデルでは荷重負担部、唇側歯頸部、口蓋側の歯頸部周囲歯槽骨において高い応力値がみられた。ミクロスケールの解析ではエナメル小柱同士の近接した小柱間エナメル質部分に応力が集中しており、VonMises 応力の最大値は、荷重負担域周囲の唇側中央部で 13.7 MPa、唇側歯頸部で 38.0 MPa の値を示し、中央部に比べて歯頸部において高い値を示した。

エナメル小柱の走行方向を L 軸、それに対して直交する方向を T、Z 軸と T 軸を歯軸方向とした時、荷重負担域に近い「唇側中央部」では、T 軸方向の応力値が圧縮応力 : 5.0 MPa であるのに対して LT 平面内の剪断応力 : 4.2 MPa、LZ 平面内の剪断応力 : 6.5 MPa であるのに対して、「唇側歯頸部」は、T 軸方向で圧縮応力 : 1.4 MPa、LT 平面内の剪断応力 : 9.9 MPa、LZ 平面の剪断応力 : 21.4 MPa となり、歯頸部では剪断方向において応力が高い値を示した。

【考察】

1）エナメル質の異方性物性値について：

厳密な３次元解析を行う際に必要な縦弾性係数、剪断弾性係数、ポアソン比が一方向強化板理論を用いて求めることにより算出することが可能となった。エナメル小柱の走行方向に対し異なった弾性係数の値が計測されたことは、エナメル質が異方性特性を有していることを示し、歯質に対する応力解析を行う際には、歯質異方性の評価が必要であることを示唆している。

2）マルチスケール応力解析

解析結果より、歯への荷重時に小柱間エナメル質部に応力が集中し、強度限界を超えた部位が原因となってエナメル質内部にクラックが生じていると考えられる。この時に剪断応力の発生が大きく影響していることが解析結果より示された。これは、歯の破折発生時の破折の進展方向が、エナメル小柱の走行方向に沿っていることとも関連があると考えられる。

【結論】

1．三次元異方性物性値において縦弾性係数、剪断弾性係数、ポアソン比ともに異方特性を示す物性値が算出された。

2．唇側からの力に対しては口蓋側歯槽骨に大きな力が加わっており、歯の移動の際に支点となっている。

3．小柱間エナメル質において VonMises 応力が高い値を示した。唇側中央への荷重に対して荷歯頸部領域の方が高い応力値を示した。

4．エナメル小柱周囲の６軸応力値の中で、剪断応力が占める割合が高く、歯頸部領域に近づくにつれて剪断応力支配の傾向が強くなった。

論文審査の結果の要旨

本研究は、上顎前歯部への外力が歯および周囲組織に及ぼす影響を検討したものである。なお、エナメル質と象牙質の三次元異方性物性値は微小硬度試験により算出し、解析はエナメル小柱レベルのミクロスケールから歯、歯槽骨レベルのマクロスケールまでを考慮したマルチスケール応力解析にて行った。

その結果、唇側からの荷重に対して歯には口蓋側歯槽骨を支点として力が加わり、微細構造と関連して高い応力値を示した。特に応力成分内の剪断応力の占める割合が大きく、この力が歯牙破折に関わっていることが示唆された。

以上のことから、本研究は歯科外傷の生体力学的な見地からの検討において重要な示唆を与えるものであり、博士（歯学）の学位授与に値するものと認める。