

学位論文内容の要旨

愛知学院大学

論文提出者

板倉 崇

論文題目

三次元有限要素法を用いた咬合面形態の機能的検討

I. 緒言

天然歯の咬合面形態は非常に複雑である。人類が長い進化の過程で獲得したこの咬合面形態には何等かの意味があるのではないかと考えられるが、その各部の形態の持つ意義は未だ解明されていない。

これまで、ヒトの歯の咬合面形態に関する機能的評価はいくつか報告されているが研究者によって結論が大幅に異なっているのが現状である。

本研究は、このような現状を踏まえ、形態的評価が困難とされる咬合面形態に対して、三次元有限要素法を用い、大臼歯咬合面形態における咬頭傾斜角と咬頭展開角の力学的影響を検討することを目的としたものである。

II. 材料と方法

1. モデル構築

本研究では、咬頭傾斜角と咬頭展開角の様々な角度における検討が必要であるため、それらの角度を変化させることが可能な単純モデルの構築を行った。さらに、複雑な咬合面形態における咬頭傾斜角と咬頭展開角の形態的評価を行うため、咬合面形態を忠実に再現した咬合面形態モデルの構築を行った。

解析モデルの構成要素は、上下顎第一大臼歯における食物咬合時を想定したため、上顎大臼歯モデル、下顎大臼歯モデル、食物モデルの3種とした。

1) 単純モデルの構築

上顎大臼歯モデルに用いる単純モデルは、左右対称な逆屋根型形態とし、近心舌側咬頭の内斜面における咬頭傾斜角を表す形態とし、様々な角度における検討を行うため、咬頭傾斜角を 45° から 0° まで、 5° おきに変化させた計 10 種のモデルを構築した。また、下顎大臼歯モデルに用いる単純モデルは、左右対称な逆屋根型形態とし、中心窩における咬頭展開角を表す形態とし、咬頭展開角を 90° から 180° まで、 10° おきに変化させた計 10 種のモデルを構築した。

2) 咬合面形態モデルの構築

上下顎大臼歯モデルに用いる咬合面形態モデルは、咬合面形態を詳細に再現するために、ジーシー社製の人工歯である、咬頭傾斜角が 30° 、咬頭展開角が 120° に定められた、解剖学的人工歯と、咬頭傾斜角が 20° 、咬頭展開角が 140° に定められた準解剖学的人工歯を参考にモデル構築を行った。

上記人工歯の上下顎右側第一大臼歯を 3D レーザースキャナーにてスキャンし、プリ・ポストソフトウェアにて有限要素モデルの構築を行った。

3) 食物モデルの構築

食物モデルは、正 6 面体要素を用い、厚さ 2mm、奥行き 10mm、幅 60mm の直方体として構築した。

2. 実験項目

1) 実験 1 : 上下顎単純モデルを用いた上顎咬頭傾斜角の影響について

(1) 解析モデル

下顎大臼歯モデルには、平均的な咬頭展開角に近似した咬頭展開角が 120° のモデルを用いた。

上下顎大臼歯モデルおよび食物モデルの配置は、上顎大臼歯モデルの近心舌側咬頭頂と、食物モデルの中心および下顎大臼歯モデルの中心窩が同一直線上に並ぶ位置関係とした。

(2) 解析項目

咬頭展開角が 120° の下顎単純モデルに対して、10種の上顎単純モデルを組み合わせた、計10種とした。

(3) 荷重条件

上下顎大臼歯モデル間に介在する食物モデルに対して、上顎大臼歯モデルを垂直方向に沈下させることにより、食物咬合時を想定した条件設定とした。実験1においては、上顎大臼歯モデルを食物モデルに対して垂直方向に 1.2mm 沈下させる条件設定とした。

2) 実験2：上顎咬合面形態モデルと下顎単純モデルを用いた下顎咬頭展開角の影響について

(1) 解析モデル

上顎大臼歯モデルには咬頭傾斜角 30° および 20° の上顎咬合面形態モデルを用い、下顎大臼歯モデルには単純モデルを用いた。

(2) 解析項目

咬頭傾斜角 30° および 20° の2種の上顎咬合面形態モデルに対して、10種の下顎単純モデルを、それぞれ組み合わせた計20種とした。

(3) 荷重条件

上顎大臼歯モデルを食物モデルに対して垂直方向に 1.4mm 沈下させる条件設定とした。

3) 実験3：上下顎咬合面形態モデルを用いた上顎咬頭傾斜角と下顎咬頭展開角の影響について

(1) 解析モデル

上下顎大臼歯モデルには上下顎咬合面形態モデルを用いた。

(2) 解析項目

上下顎大臼歯モデルの組み合わせ（咬頭傾斜角－咬頭展開角）を、 30° － 120° 、 30° － 140° 、 20° － 120° 、 20° － 140° の計4種とした。

(3) 荷重条件

上顎近心舌側咬頭頂と下顎中心窩との間の食物モデルの厚みが 1mm になるまで、上顎大臼歯モデルを垂直方向に沈下させる条件設定とした。

3. 材料設定

上顎大臼歯モデルと下顎大臼歯モデルは、いずれも応力の発生しない剛体に設定した。

食物モデルは、Mooney - Rivlin 式を用いて超弾性体として設定した。

これは、三次元有限要素法解析において多く用いられている超弾性体の構

成則であり、過去の報告に基づいて材料物性値を設定した。

4. 拘束条件

食物モデルの頬舌側両端および下顎大臼歯モデルを xyz 方向に完全拘束した。

III. 結果

1. 実験 1

1) 応力分布 (最大主応力)

上顎大臼歯モデル直下の食物モデル横断面にて評価を行い、咬頭傾斜角 30° において、食物モデル下面の中央部への強い応力集中が観察された。

2) 最大主応力値

食物モデル下面の中心部において、咬頭傾斜角 30° において、最大主応力が最大値を示した。

2. 実験 2

1) 応力分布 (最大主応力)

上顎大臼歯モデル近心舌側咬頭直下の食物モデル横断面において、咬頭傾斜角 30° 、 20° のいずれにおいても、咬頭展開角 90° から 150° にかけて、食物モデル下面の中央部への応力の集中が観察された。

2) 最大主応力値

食物モデル下面中心部において、全ての咬頭展開角において、咬頭傾斜

角 30° は、咬頭傾斜角 20° と比較して高い最大主応力値を示した。咬頭傾斜角 30° においては、咬頭展開角 130° から 150° において高い応力値を示した。また、咬頭傾斜角 20° においては、咬頭展開角 140° において最大主応力が最大値を示した。

3. 実験3

1) 応力分布 (最大主応力)

上顎大臼歯モデル近心舌側咬頭直下の食物モデル横断面において、全てのモデルにおいて、食物モデルの下顎中心窩相当部に高い応力集中が認められた。咬頭傾斜角に関しては、咬頭傾斜角 30° のモデルにおいて食物モデル上面に高い応力集中が見られた。咬頭展開角に関しては、 140° の方が、頬側咬頭の内斜面相当部に高い応力集中が認められた。

2) 最大主応力値

上顎近心舌側咬頭頂直下に位置する食物モデル下面中央部において、咬頭傾斜角 30° では、咬頭傾斜角 20° と比較していずれの咬頭展開角に対しても高い応力値が得られた。また、咬頭展開角 140° では、咬頭展開角 120° と比較して咬頭傾斜角 30° で同等であり、咬頭傾斜角 20° では高い応力値が得られた。

IV. 考察

1. 本研究の意義について

これまで行われてきた咬合面形態に関する研究は、実際の臨床に即したものが多く、被験者の主観的な評価が重視されている報告も多い。これらの報告に対し、本研究に用いた有限要素法は、客観的な評価が可能な方法であり、得られた結果についても信憑性の高いものだと考えられる。

本研究の解析対象である歯の咬合面形態は非常に複雑な形態を有し、その再現精度が解析結果に多大な影響を与えるが、今回用いた上下顎大臼歯モデルについては、実際の人工歯形状の詳細なデジタルデータからモデル構築を行ったため、咬合面の形態的評価を行うにあたり、合理的なモデルであると考えられる。

2. 解析条件の設定について

1) 超弾性特性の導入について

本研究では、食物モデルの材料特性に超弾性特性を導入することにより、従来の弾性定義では不可能であった、食物咬合時を想定した大変形領域でのシミュレーションを行うことを可能とし、咬合面形態における咬頭傾斜角と咬頭展開角の力学的影響を検討することができた。

超弾性 Mooney - Rivlin を用いることで、ゴムのように大きく伸びて変形する材料が再現でき、咬合の評価を行う上での解析対象としての要件を満たす材料設定であったと考えられる。

2) 荷重条件について

予備実験にて、上顎大臼歯モデルの沈下量を 0.1mm ずつ変化させ、各々

の実験項目の全ての解析項目において解析が可能であり、食物モデルが最大限押し潰される条件を検討し、沈下量の設定を行った。

3)拘束条件について

拘束部位については、拘束部位が解析結果に影響を与えないよう予備実験を行い、食物モデルの幅を長くすることで対応した。

3. 解析結果について

1) 応力の評価方法について

最大主応力は、三次元有限要素法において材料の破壊の評価に利用されている。荷重点である食物モデル上面に対して、食物モデル下面には引張応力が発生し、食物モデルの破壊の起点となることが考えられる。そこで、食物モデル下面の中心部に発生する最大主応力を評価した。

2) 咬頭傾斜角について

全ての結果から、 30° の咬頭傾斜角は咬頭展開角にかかわらず、食物モデルに力学的に効率よく作用するのではないかと考えられる。

3) 咬頭展開角について

実験2の結果から、咬頭展開角は、咬合時に食物モデルに効率的に高い応力を発生させる角度の範囲が存在し、その範囲よりも鋭角過ぎても、鈍角過ぎても、発生応力は小さくなることが示された。

4) 上下顎大臼歯モデルの組み合わせについて

咬頭傾斜角に関して、 20° と比較して 30° の方が高い応力値が得られた。

また、咬頭展開角に関しては、 120° と比較して 140° の方が高い応力値が得られたことから、咬頭傾斜角 30° と咬頭展開角 140° の組み合わせが最適であり、その結果、高い応力値が得られたものと考えられる。

V. 結論

本研究は、三次元有限要素法を用いて、大臼歯咬合面形態における咬頭傾斜角と咬頭展開角の力学的検討を行った結果、以下の結論を得た。

1. 咬頭傾斜角および咬頭展開角には、食物咬合時に効率的に高い応力を発生させる角度が存在し、咬頭傾斜角については 30° 付近、咬頭展開角については 120° から 150° の範囲が望ましいことが力学的に示された。
2. 咬頭傾斜角が 30° である上顎大臼歯咬合面形態と咬頭展開角が 140° である下顎大臼歯咬合面形態の組み合わせが、食物咬合時に高い応力を発生させることが力学的に示された。