

学位論文題名

歯冠補綴物のCADシステムに用いる標準歯冠モデルの作成

学位論文内容の要旨

【目的】最近、研究開発が進んでいる歯冠補綴物作製のCADシステムは、使用するコンピュータの性能からトータルコストも考慮して設計の基本となる標準歯冠モデルを構成する曲面パッチの数を減らすなどして処理速度の向上をはかってきた。その結果として咬合面などの微細な形状を表現することが困難である上、さらに局所的な変形を行う際の操作性に限界があり、設計者が意図しても高度な意匠性を表現することが難しかった。しかし、ここ数年のコンピュータの価格性能比の向上は著しく、ハードウェアの処理能力の制約から形状モデルのデータ量を制限する必要性は薄れてきている。そこで、本研究においては、高密度な歯冠形態の計測データを元に、歯冠形態特有の複雑な形状を十分に表現した標準歯冠モデルを作成することを目的とし、さらに、これを用いて自由な形状変形を可能とするためのデータ構造についても検討した。

【材料と実験方法】

実験1 標準歯冠モデルのパッチ数の違いによる形状表現能力の差の検討

三次元座標測定機(株)ニコン製トライステーション400H)に接触エラーの生じにくい試作スタイラスを組み合わせて、接触式で本学学生実習用4倍大石膏歯冠模型の本学学生実習用4倍大石膏歯冠模型の右側上下顎14歯の5面計測を行った。今回はこのうち下顎第一大臼歯の点列データから、曲面パッチ数がそれぞれ48面、224面、896面、3,584面、9,216面と異なる5種類の双三次ベジエ曲面からなるソリッドモデルを作成した。そして、これらのモデルをCRT画面上にグローシェーディング表示し、さらに光造形装置(シーメット社製SOUP400GH)を用いて4倍大および実物大の立体模型を作製することにより、曲面パッチ数の違いが、形状モデルの形状表現能力に与える影響について検討を行い、標準歯冠モデルの作成に適したパッチ数の決定を目指した。

実験2 階層化した双三次ベジエ曲面の変形操作性の検討

歯冠形態のような複雑な形状を、曲面の変形による形状モデリングによって自由に扱うためには、咬頭や裂溝などの局所的な変形が可能ばかりでなく、それらの変形結果や形状を保持したままでの歯冠のかなりの部分に及ぶような大域的な変形も可能とする必要がある。そこで、データ構造の階層化という概念に着目し、曲面パッチを定義するデータ構造体に、変位を表現するための局所座標系を加えて、標準歯冠モデルの双三次ベジエ曲面を階層化することにより、より自由な形状変形を行うことを目指した。

【結果および考察】

実験1

4つの側面のデータを円筒状に連結した上で、そこに格子状の咬合面のデータを組み合わせるという方法によって、5面計測された点列データからソリッドモデルを作成することができた。上下的には辺縁隆線と隣接面の移行部に、また水平的には4つの側面データの境界部に一致するように、接合点の位置を設定することにより、4隅角部の凸コーナにおいてパ

ッチの内挿を行わずに3枚の曲面パッチを接続することができた。また、作成した各モデルのデータ・ファイルは、それぞれのモデルの曲面パッチの制御点の座標値をテキスト形式で保持しているもので、そのデータ量は、モデル1(48面の曲面パッチ)は64KB、モデル2(224面の曲面パッチ)は160KB、モデル3(896面の曲面パッチ)は480KB、モデル4(3,584面の曲面パッチ)は1,824KB、モデル5(9,216面の曲面パッチ)は4,940KBであった。なお、立体模型の作製に要した時間は、4倍大歯冠模型では約12時間、実物大歯冠模型では約1時間であった。

各モデルの形状表現能力を比較したところ、モデル1は曲面パッチの数が少なく、基本単位となる曲面パッチの分布が粗いため、各曲面パッチ間の境界は明瞭で、咬合面の形状が全体的にゆがんでおり、裂溝や隆線部の微妙な形状が再現されていなかった。モデル2、3では、モデル1よりも曲面パッチの数が増えて、曲面パッチの分布も細かくなっており、咬合面全体の形状は十分に下顎右側第一大臼歯の解剖学的特徴を再現していた。細部の形状については、頬側溝・頬側面溝および遠心頬側溝・遠心頬側面溝の部位では裂溝特有の形態が再現されていないのに対して、舌側溝の部位では裂溝特有の形態が十分再現されていた。これは、前者は曲面パッチの内部に、後者は曲面パッチ間の境界に裂溝が位置していることに起因していて、一般に曲面パッチの内部に裂溝のようなV字状の形状を表現するのは難しいためであると考えられた。また、モデル4、5では、さらに曲面パッチの数が増えて、基本単位となる曲面パッチの大きさが十分に小さくなっているためこのような影響を受けず、咬合面特有の微妙な形状が細部に至るまで、十分に再現されているものと考えられた。

実験2

自由曲面の変形操作性は、変形量、変形の部位、変形の及ぶ範囲の3つの要素の取り扱いの自由さによって決定されると考えられている。このうち変形量、変形の部位については、三次元マウス等の三次元入力装置を用いて視線方向の変更や制御点の三次元的な移動が将来的に可能になれば、形状変形の操作性はさらに向上し効率よく設計を行うことが可能になる。しかし、変形の及ぶ範囲については、このようなことでは対応できない。このような方法を実際に標準歯冠モデルの変形に応用してみたところ、大域的な変形を行っても、既に局所的な変形を加えた部位の形状が崩れないために、局所的な形状を再修正する必要性が減り、効率よく対合歯や隣在歯に合わせて形状変形を行って歯冠補綴物の設計ができることが示唆された。しかし、変形を加える部位によっては、大域的な変形の影響が局所の形状にある程度及んだ方が、設計者の意図する変形を自由に行うことができるものと思われる。そこで、ある階層に対して行った変形が他の階層に与える影響の強さを可変的なパラメータで定義し、それを曲面パッチを定義するデータ構造体に加えることにより、より自由度の高い変形操作を行うことが可能になるとと思われる。

【結論】

1. 右側上下顎14歯の4倍大石膏歯冠模型から高密度な形状データを得た。
2. 咬合面を格子状に分割することにより、5面計測により得られた点列データから、双三次ベジエ曲面パッチからなるソリッドモデルを作成することができた。
3. 下顎右側第一大臼歯の歯冠形態特有の複雑な形状を十分に表現するソリッドモデルを作成するためには、4倍大歯冠模型では3,584面、また等倍大歯冠模型では896面の双三次ベジエ曲面パッチが必要であることを確認した。また、これより少ない曲面パッチ数で同等の形状表現能力を有するソリッドモデルを作成するには、咬合面の解剖学的特徴点を基にして位相構造モデル化する必要があることが示唆された。
4. 今回新たに標準歯冠モデルの双三次ベジエ曲面を階層構造化することで、局所的な形状を保持したままで、大域的な変形が可能となるため、歯冠補綴物のCADシステムにおいて設計者の高度な意匠性を十分に表現でき、この方式は歯冠補綴物設計用CADとして実用性の高いことが示唆された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 内 山 洋 一

副 査 教 授 川 崎 貴 生

副 査 教 授 亘 理 文 夫

学位論文題名

歯冠補綴物のCADシステムに用いる標準歯冠モデルの作成

本研究は、高密度な歯冠形態の計測データを元に、歯冠形態特有の複雑な形状を十分に表現したCAD上の標準歯冠モデルを作成することを目的とし、さらに、これを用いて自由な形状変形を可能とするためのデータ構造についても検討している。

【材料と実験方法】

実験1 標準歯冠モデルのパッチ数の違いによる形状表現能力の差の検討

三次元座標測定機（株ニコン製トライステーション400H）を用いて4倍大石膏歯冠模型の右側上下顎14歯の5面計測を行い、その中の下顎第一大臼歯の点列データから、曲面パッチ数がそれぞれ48面、224面、896面、3,584面、9,216面と異なる5種類の双三次ベジエ曲面からなるソリッドモデルを作成した。さらに光造形装置（シーメット社製SOUP400GH）を用いて4倍大および実物大の立体模型を作製し、曲面パッチ数の違いが、形状モデルの形状表現能力に与える影響について検討を行った。

実験2 階層化した双三次ベジエ曲面の変形操作性の検討

歯冠形態のような複雑な形状を、曲面の変形による形状モデリングによって自由に扱うためには、咬頭や裂溝などの局所的な変形が可能ばかりでなく、それらの変形結果や形状を保持したままの歯冠のかなりの部分に及ぶような大域的な変形も可能とする必要がある。そこで、データ構造の階層化という概念に着目し、曲面パッチを定義するデータ構造体に、変位を表現するための局所座標系を加えて、標準歯冠モデルの双三次ベジエ曲面を階層化することにより、より自由な形状変形を行うことを検討した。

【結果および考察】

実験1 4つの側面のデータを円筒状に連結した上で、そこに格子状の咬合面のデータを組み合わせ、ソリッドモデルを作成する方法として、上下的には辺縁隆線と隣接面の移行部に、水平的には4つの側面データの境界部に一致するように、接合点の位置を設定することにより、4隅角部の凸コーナにおいてパッチの内挿を行わずに3枚の曲面パッチを接続することができた。また、作成した各モデルのデータ・

ファイルは、それぞれのモデルの曲面パッチの制御点の座標値をテキスト形式で保持しているもので、そのデータ量は、モデル1（48面の曲面パッチ）は64KB、モデル2（224面の曲面パッチ）は160KB、モデル3（896面の曲面パッチ）は480KB、モデル4（3,584面の曲面パッチ）は1,824KB、モデル5（9,216面の曲面パッチ）は4,940KBであった。

各モデルの形状表現能力を比較したところ、モデル1は咬合面の形状も含め、裂溝や隆線部の微妙な形状が再現されていなかった。モデル2、3では、咬合面全体の形状は十分に再現していたが、部分的に細部の形状が再現されていなかった。モデル4、5では、曲面パッチの数が増え咬合面特有の微妙な形状が細部に至るまで、十分に再現されていたが、これは基本単位となる曲面パッチの大きさが十分に小さくなっているためと考えられた。

実験2 自由曲面の変形操作性は、変形量、変形の部位、変形の及ぶ範囲の3つの要素の取り扱いの自由さによって決定されると考えられている。このうち変形の及ぶ範囲については、結果的に大域的な変形を行っても、局所的な形状が崩れないことから、効率よく対合歯や隣在歯に合わせて形状変形を行って歯冠補綴物の設計ができることが示唆された。そこで、ある階層に対して行った変形が他の階層に与える影響の強さを可変的なパラメータで定義し、それを曲面パッチを定義するデータ構造体に加えることにより、より自由度の高い変形操作を行うことが可能になると考えられた。

上記のことから以下の結論を得ている。

1. 咬合面を格子状に分割することにより、5面計測により得られた点列データから、双三次ベジエ曲面パッチからなるソリッドモデルを作成することができた。
2. 下顎右側第一大臼歯の歯冠形態特有の複雑な形状を十分に表現するソリッドモデルを作成するためには、4倍大歯冠模型では3,584面、また等倍大歯冠模型では896面の双三次ベジエ曲面パッチが必要であることを確認した。また、これより少ない曲面パッチ数で同等の形状表現能力を有するソリッドモデルを作成するには、咬合面の解剖学的特徴点を基にして位相構造モデル化する必要があることが示唆された。
3. 今回新たに標準歯冠モデルの双三次ベジエ曲面を階層構造化することで、局所的な形状を保持したままで、大域的な変形が可能となるため、歯冠補綴物のCADシステムにおいて設計者の高度な意匠性を十分に表現でき、この方式は歯冠補綴物設計用CADとして実用性の高いことが示唆された。

このような研究内容について主査および副査が一堂に会し、口頭により試問と審査を行った。CADによる歯冠形態の変形法などを中心として種々質問を試みたがいずれも適切に十分な解答が得られた。本研究の中で双三次ベジエ曲面を階層構造化したことは初めての試みであり、CADシステムの実用化に寄与することが大であることから博士（歯学）の学位を授与するに値すると審査員一同が認めた。