

学 位 論 文 題 名

歯冠補綴物設計のための CAD システムに関する研究

学位論文内容の要旨

現在の歯科治療における歯冠補綴処置の多くは、崩壊した歯冠形態をロストワックス鑄造法を用いた金属冠で補う方法で行なわれている。このロストワックス鑄造法は、種々の材料の物性に関する取り扱いが難しく、またほとんどが手作業であるため術者のもつ熟練度が歯冠補綴物の完成度を左右しやすい。しかし、現在のように工業技術の進歩した社会状況では、歯冠補綴物を作製するための熟練した手技をもつ歯科技工士の養成は頭打ちとなっているのが現状である。このような状況に対し、工業界で発達してきたコンピュータの支援による設計・生産 (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing; CAD/CAM) 技術を導入して補綴物作製の効率化をはかろうとする試みがなされつつあり、最新の工業技術を用いることで支台歯の計測から歯冠補綴物の機械加工までの一連の作業が、臨床上満足し得る精度で可能であることが報告されている。しかし、すでに歯冠崩壊した個々の症例に対して、蠟型形成と同様に細部の形態までも自由に取り扱い、設計するための方法論 (CAD) はまだ確立されてはいない。そこで、本研究では、歯冠補綴物設計用 CAD システムの試作・開発を通して、複雑な 3 次元自由曲面を有する歯冠形態をコンピュータを用いて設計する方法について検討を行なった。

I. V o x e l モデルによる簡易 CAD システムの作製

歯冠補綴物設計用 CAD システムの基本的な要件を探るため、簡

易システムの作製を行った。2倍大歯牙模型をレーザセンサを用いた非接触の5面計測法で計測し、1 Voxelが0.2mm四方の128×128×80のVoxelモデルに変換した。さらに2つおきに点を抽出して双3次B-スプライン補間を行なうための制御点とした。変形操作は、画面上のVoxelをマウスでクリックする方法で行い、双3次B-スプライン補間を用いて周囲も含めた9個のVoxelを変化させた。さらに、ワイヤフレームで3次元形態を確認すると共に、任意の断面形態と対合関係の確認を行なえるようにした。また、対合歯・隣接歯との接触を想定した干渉チェックを行い、その結果を画面上に表示させた。この簡易CADを用いて、歯冠形態の変形操作を試みると共に、変形前後での形状変化を比較するために、モデリングワックスを用いて3次元加工機による咬合面の切削加工を行なった。

II. Voxelモデル、スプライン曲面、有理ベジエ曲面による形状変形の比較

CAD上で実用的な歯冠補綴物の設計を行うためには、術者のイメージを忠実に反映する自由な形状変形操作が求められる。そこで、I. で用いたVoxelモデルの他に、双3次B-スプライン曲面および双3次有理ベジエ曲面も加えた3種類の曲面について、各々に形状操作を行った際の変形の程度を比較し、CADシステムへの応用を検討した。

III. MCCM (Multi-boundary representative Cell Constructed Model; 多層境界表現セル構造化モデル) を基本とした歯冠補綴物設計用CADの作製

形状変形の方法だけでなく、C A Dシステムの操作上の問題点や必要とされるハードウェアの性能なども含めた問題点を探り、実用的なC A Dシステムの構築が可能であるか否かを検証するために、新たにM C C Mを用いて、歯冠形態設計用C A Dシステムの作製を試みた。データには、新たに下顎第一大臼歯に全部鑄造冠の支台歯形成を施した模型を3次元座標測定機を用いて接触式の5面計測法で計測したものをを用いた。設計する歯冠補綴物の原型となる標準歯冠形状モデルは、あらかじめ別に5面計測しておいた歯冠形状データをもとにM C C Mでモデリングを行ない、咬合面の特徴的な点を考慮した38面(Cell)で構成した。C A Dシステムによる歯冠形態の設計は、この標準モデルを支台歯に合わせて変形させる方法で行った。

以上、I～IIIで検討した結果から、以下の結論を得た。

1. 複雑な3次元自由曲面を有する歯冠形態を設計するためには、コンピュータで術者のイメージした通り自由に形状が扱える必要がある。逆に、多少誤操作があっても術者の思ってもみない形状に変形してしまわぬように、ある程度の制限を加えることも重要であることがわかった。

2. 3次元を扱う方法としては、Voxelモデルは、医療の分野では既に3次元表示C Tなどで用いられ、データが単純で扱いやすいという特徴を持っている。しかし、形状変形に難があること、精度を追及するとデータ量が増加することなどが問題となった。

3. 双3次B-スプライン曲面は、制御点の移動による自由な形状変形が可能である。しかし、C A D上の操作として制御点を3次元的

に自由に移動させて複雑な形状を作っていくのは困難な作業である。したがって、種々の形状変形を行うためには、生成する形状に合せた制御点の移動方向をあらかじめパターン化しておく必要があるものと考えられた。

4. 双3次有理ベジエ曲面/MCCMでは、スプライン曲面の様な制御点の移動による変形の他に、ウェイトパラメータの変更により制御点を動かさないままでの形状変形が可能である。今回新たに、 x , y , z に異なったウェイトパラメータを与えることによりさらに様々な形状変形が可能であることが確かめられた。

5. MCCMを用いたCADシステムにおいて、変形を行いたい曲面の領域をあらかじめ指定することにより、様々な範囲の領域の変形を同じ操作で行えるようになった。

6. このようなシステムの性質上、一度入力したデータは回線を通して他の場所に転送したり、磁気ディスクや磁気テープに保存したりすることが容易である。したがって、後日他の近接部位の治療の際に、対合歯の入力が省略できる。また、保存データそのものが作業の履歴となり、合せて作業の効率化が期待される。

7. より実用的なものへと改善していくためには、ソフトウェアの改良と共にコンピュータの進歩に期待される部分も多いものと考えられる。

8. CADシステムで設計したデータをもとに実際の補綴物を作るための加工方法については、材料との兼ね合いもあり、種々のものが検討されているが未だ十分実用的なものは現れていない。そこで、今後はこのようなCADデータを活かすCAMシステムに関しても研究を進めて行きたいと考えている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 内 山 洋 一

副 査 教 授 下 河 辺 宏 功

副 査 教 授 川 崎 貴 生

副 査 教 授 岸 浪 建 史

学 位 論 文 題 名

歯冠補綴物設計のためのC A Dシステムに関する研究

本研究は、歯冠補綴物設計のためのC A Dシステムの試作・開発を通して、複雑な3次元自由曲面を有する歯冠形態をコンピュータを用いていかにして設計するかという点について検討を行なったものである。研究は以下の内容から成り立っている。

1. V o x e lモデルによる簡易C A Dシステムの作製

ここでは、歯冠形態設計用C A Dシステムの基本的な要件を探るため、既に医療分野でC T (Computer Tomography) やM R I (Magnetic Resonance Imaging) などのデータ処理に用いられている3次元モデルであるV o x e lモデルを用いて、簡易C A Dシステムの作製を試みている。

2. V o x e lモデル、スプライン曲面、有理ベジエ曲面による形状変形の比較

ここでは、V o x e lモデルと、補間曲面として比較的よく用いられるスプライン曲面、および同様な補間曲面の一種であるベジエ曲面に、ウェイトパラメータを導入して拡張された有理ベジエ曲面

の 3 種類の形状の表現方法を用いて、その形状変形の度合いを比較し、C A D への応用を検討している。

3. M C C M (Multi-boundary representative Cell Constructed Model ; 多層境界表現セル構造化モデル) を基本とした歯冠補綴物設計用 C A D の作製

ここでは、M C C M を用いた歯冠形態設計用 C A D システムの作製を試みている、。

その結果、歯冠形態設計用 C A D システムについて、以下の結論を得ている。

1. 複雑な 3 次元自由曲面を有する歯冠形態を、自由に、かつ術者のイメージした通りに計算機上で扱える必要がある。

2. V o x e l モデルは、医療の分野では既に 3 次元表示 C T など で用いられ、データが扱いやすい反面、形状変形に難があること、データ量が増加する事などが問題となった。これに対し、M C C M では期待するような形状変形操作が可能であることが確かめられた。

3. M C C M を用いた歯冠形状の変形操作の一つの手法として、制御点を移動させず、ウェイトパラメータの変更によって変形を行なう方法を考案した。

4. 曲面の領域をあらかじめ指定してから変形を行なう方法により、様々な範囲の変形を同じ操作で行なえるようにした。

5. このようなシステムの性質上、一度入力したデータは回線を通じて他の場所へ転送したり、磁気ディスクや磁気テープに保存したりすることが容易である。したがって、後日他の近接部位の治療の

際に、対合歯の入力が省略できる。また、保存データそのものが作業の履歴となり、合せて作業の効率化が期待される。

6. より実用的なものへと改善していくためには、ソフトウェアの改良と共に、ハードウェアの進歩に期待される部分も多いものと考えられる。

7. CADで設計したデータをもとに実際の補綴物を作るための加工方法については、現在種々のものが検討されているが未だ十分実用的なものは現れていない。したがって、今後、CAMシステムに関しても研究を進めて行きたいと考えている。

上記の内容について、主査、副査全員で口頭により試問を試みたところ、研究の目的、手法、結論の導き方などについて適切で十分な解答がなされ、本研究が明確な目的意識と周到な準備の下で行なわれたことが判った。特に歯冠形態のような複雑な3次元の自由曲面を扱う上でMCCMで曲面の制御点を移動させて変形させる方法の他に、制御点を動かさずに座標値の x , y , z に異なったウェイトパラメータを与えることによって様々な形状変形を可能にする方法を開発したことは、歯冠形態のCADをより現実との対応に近付けたことで大きな価値がある。よって全員が本論文を博士(歯学)の学位を授与するに値するものと認めた。