

学位論文題名

## 3 次元的歯列弓形状の数値化

— 歯科用 CAD / CAM システムの応用にむけて —

### 学位論文内容の要旨

#### [目的]

近年、コンピュータ技術の飛躍的な進歩に伴い、技術研究が重ねられてきた歯冠補綴物作製の CAD/CAM(Computer Aided Designing/Computer Aided Manufacturing)システムは実用化され、臨床応用されてきている。しかしながら CAM 技術の発展により、さまざまな補綴物を加工することが可能となっている一方、CAD 上での変形操作には制約が多く、すべての症例において CAD/CAM システムを用いることが可能な段階ではなく、さらに欠損補綴においては、歯列データが存在しないため症例が限定される。そこで本研究は、多数歯欠損補綴に応用するため、個々の歯種に対応する独立した標準歯冠形状モデルのみでなく、歯列弓形態の情報を含んだ標準モデルの開発を目指し、表現が比較的簡単な三次元歯列弓形状を表す曲線式を求めることを目的とした。

#### [方法]

成人男女歯列石膏模型(86組)を非接触高速三次元形状計測装置「SURFLACER」VMS-150R-D(株式会社ユニスン)にて三次元座標計測を行い、三次元座標データを得た。切歯では切縁中央、犬歯では尖頭、小臼歯では頬側咬頭頂、大臼歯では近遠心頬側咬頭頂の midpoint の計 14 点を計測点(Edge-cusp point)として設定し、結んだ線分を歯列弓とした。同一基準での資料分析を行えるように基準座標系を設定し、三次元アフィン座標変換を行った後、それぞれ予想される歯列弓形状から咬合面観には四次、六次多項式、前頭面観には、四次、六次多項式、矢状面観には、二次、三次、四次多項式を最小二乗法により適合させ、適合度の定量的評価として  $R^2$  値を算出した。なお、咬合面観、前頭面観における四次、六次多項式間の  $R^2$  値の統計学的検定には、Wilcoxon 検定を用い、矢状面観における二次、三次、四次多項式間の  $R^2$  値の統計学的検定は、分散分析を行った後、Bonferroni の手法を用いた。さらに前頭面観、矢状面観の歯列弓においては、各歯の残差平方(理論値と実測値との差の平方)を用いて歯列弓の適合性の分析を行った。また、咬合面観においては四次、六次多項式曲線の変曲点の有無を数学的な判定方法を用いて客観的に判定した。

咬合面観、前頭面観ならびに矢状面観それぞれの歯列弓形状に適合させた多項式の係数の平均値から平均的歯列弓曲線を求めた。また各々の歯列弓曲線を用いて、平均的三次元歯列弓形状曲線を作成した。

#### [結果]

咬合面観における歯列弓に適合させた四次多項式および六次多項式の各  $R^2$  値の平均  $\pm$  SD は、上顎では  $0.984 \pm 0.018$ ,  $0.989 \pm 0.016$  であり、下顎では  $0.977 \pm 0.031$ ,  $0.984 \pm 0.024$  であった。すべての資料において四次に比較して六次多項式の  $R^2$  値が有意に増加していた ( $p < 0.01$ )。また上下顎 86 組計 172 歯列弓において、それぞれに適合させた曲線における変曲点の有無を個々に判定した結果、四次多項式および六次多項式のそれぞれにおいて 6.7%, 79.3% の曲線に変曲点が認められた。

前頭面観における歯列弓に適合させた四次多項式および六次多項式の各  $R^2$  値の平均±SD は、上顎では  $0.702 \pm 0.217$ ,  $0.855 \pm 0.122$  であり、下顎では  $0.462 \pm 0.244$ ,  $0.805 \pm 0.145$  であった。上下顎ともに  $R^2$  値は、六次多項式に比較して四次多項式で小さく、有意差が認められた ( $p < 0.01$ )。

矢状面観における歯列弓に適合させた二次、三次、ならびに四次多項式の各  $R^2$  値の平均±SD は、上顎では  $0.689 \pm 0.260$ ,  $0.758 \pm 0.198$ ,  $0.801 \pm 0.194$  であり、下顎では  $0.489 \pm 0.307$ ,  $0.736 \pm 0.176$ ,  $0.812 \pm 0.147$  であった。二次、三次ならびに四次多項式の  $R^2$  値について、上顎では三次多項式と四次多項式に比較して、二次多項式で小さく、有意差が認められた ( $p < 0.01$ )。また下顎で、二次、三次ならびに四次多項式間で有意差が認められた ( $p < 0.01$ )。

#### [考察]

咬合面観の歯列弓形状に最も適合する曲線式は、適合度のみを統計学的に分析すると四次よりも六次多項式のほうがより適合していると考えられるが、両者ともに高い適合性を示していた。また適合させた六次多項式には四次多項式に比べ、変曲点をもつものが多かった。これらの結果から、今後の歯科用 CAD への応用を考慮した場合、より簡便な表現が適しているという点、また変曲点が少なくより滑らかな曲線が適しているという 2 点から四次多項式による表現のほうが適していると考えられた。

前頭面観における  $R^2$  値より、上下顎ともに四次に比較して六次多項式で適合度が増していた。また、適合させた多項式における残差平方を比較した結果、六次多項式は四次多項式に比べ、各歯の残差平方が相対的に小さかった。これらの結果より、前頭面観の歯列弓形状に最も適合する曲線式は、六次多項式と考えられた。

矢状面観における  $R^2$  値の定量的評価から、二次、三次よりも四次多項式で高い適合度を示した。また、それぞれの多項式曲線において各歯の残差平方の比較では、上下顎ともに二次より、三次、四次多項式の残差平方が小さかった。これらから、矢状面観の曲線式は、上下顎ともに四次多項式が適していると考えられた。

咬合面観、前頭面観、ならびに矢状面観それぞれの歯列弓形状に適合させた多項式の係数の平均値から成人男女の平均歯列弓曲線を求め、咬合面の四次、前頭面の六次、矢状面の四次多項式曲線から平均的三次元歯列弓曲線を作成した。

現在、歯冠補綴物作製用 CAD/CAM システムの発展により、一歯のみの歯冠補綴物の作製は臨床応用されている一方、多数歯欠損補綴あるいは上下顎対合部位欠損の歯冠補綴物の作製は、CAD 上での術者の経験に頼るところが大きい。高品質な歯科医療を提供するためには、各歯の標準歯冠モデルを理想的な位置に自動的に排列する技術が不可欠であると思われる。本研究は、歯列弓を三次元的に曲線式で表現することが可能であることを示した。これを利用し、患者の残存歯の情報をもとに、欠損部分に対して標準歯冠モデルを適正に排列することが可能になる。歯列弓は楕円型、U字型、方型など数種類が存在し、また歯軸傾斜も多様性があることから、さらなるデータの蓄積が必要かと思われる。

#### [結論]

1. 非接触式三次元座標測定装置を用いて、成人男女 86 人の上下顎歯列石膏模型の三次元座標計測を行い、平均的歯列弓形状曲線の作成に用いる高密度な点群データを得た。
2. 咬合面観、前頭面観、ならびに矢状面観の歯列弓形状に対して Edge-cusp point を結んだ多項式曲線を適合させることで、歯列弓形状を数式で表現することができた。
3. 歯列弓形状の曲線式の適合に関しては、上下顎ともに咬合面観では四次多項式、前頭面観では六次多項式、矢状面観では四次多項式の曲線式がそれぞれ適していると思われた。
4. 作成した平均的三次元歯列弓形状曲線は、歯冠補綴物作製用 CAD/CAM システムの適応範囲を広げて行く上で有用である可能性が示唆された。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 大 畑 昇  
副 査 教 授 亘 理 理  
副 査 教 授 佐 野 英 英

学 位 論 文 題 名

## 3 次元の歯列弓形状の数値化

－歯科用 CAD / CAM システムの応用に向けて－

審査は、審査担当者全員の出席の下で行われた。学位申請者より本論文の概要について説明され、その後、申請者に対し提出論文とそれに関連した学科目について口頭試問が行われた。

### 【目的】

CAM 技術の発展により、さまざまな補綴物を加工することが可能となっている一方、CAD 上での変形操作には制約が多く、すべての症例において CAD/CAM システムを用いることが可能な段階ではない。さらに欠損補綴においては、歯列データが存在しないため症例が限定される。そこで本研究は、多数歯欠損補綴に応用するため、個々の歯種に対応する独立した標準歯冠形状モデルのみでなく、歯列弓形態の情報を含んだ標準モデルの開発を目指し、表現が比較的簡単な三次元歯列弓形状を表す曲線式を求めることを目的とした。

### 【方法】

成人男女歯列石膏模型 (86 組) を非接触高速三次元形状計測装置「SURFLACER」VMS-150R-D (株式会社ユニスン) にて三次元座標計測を行い、三次元座標データを得た。切歯では切縁中央、犬歯では尖頭、小臼歯では頬側咬頭頂、大臼歯では近遠心頬側咬頭頂の midpoint の計 14 点を計測点として設定し、結んだ線分を歯列弓とした。同一基準での分析を行えるように基準座標系を設定し、三次元アフィン座標変換を行った後、それぞれ予想される歯列弓形状から咬合面観には四次、六次多項式、前頭面観には、四次、六次多項式、矢状面観には、二次、三次、四次多項式を最小二乗法により適合させ、適合度の定量的評価として  $R^2$  値を算出した。さらに前頭面観、矢状面観の歯列弓においては、各歯の残差平方を用いて各歯の適合性の分析を行った。また、咬合面観においては曲線上の変曲点の有無を数学的な判定方法を用いて客観的に判定した。それぞれの歯列弓形状に適合させた多項式の係数の平均値から平均的歯列弓曲線を求めた。また各々の歯列弓曲線を用いて、平均的三次元歯列弓形状曲線を作成した。

## 【結果】

咬合面観における歯列弓に対して、すべての資料において四次に比較して六次多項式の  $R^2$  値が有意に増加していた ( $p<0.01$ )。また上下顎 86 組計 172 歯列弓において、それぞれに適合させた曲線における変曲点の有無を個々に判定した結果、四次および六次多項式のそれぞれにおいて 6.7%、79.3%の曲線に変曲点が認められた。

前頭面観における歯列弓に適合させた  $R^2$  値は、上下顎ともに六次に比較して四次多項式で小さく、有意差が認められた ( $p<0.01$ )。

矢状面観における歯列弓に対しての二次、三次ならびに四次多項式の  $R^2$  値について、上顎では三次と四次多項式に比較して、二次多項式で小さく、有意差が認められた ( $p<0.01$ )。また下顎で、二次、三次ならびに四次多項式間で有意差が認められた ( $p<0.01$ )。

咬合面観、前頭面観、ならびに矢状面観それぞれの歯列弓形状に適合させた多項式の係数の平均値から成人男女の平均歯列弓曲線を求め、咬合面の四次、前頭面の六次、矢状面の四次多項式曲線から平均的三次元歯列弓曲線を作成した。

## 【考察】

咬合面観の歯列弓形状に最も適合する曲線式は、適合度のみを統計学的に分析すると四次よりも六次多項式のほうがより適合していると考えられるが、両者ともに高い適合性を示していた。また適合させた六次多項式には四次多項式に比べ、変曲点をもつものが多かった。これらの結果から、今後の歯科用 CAD への応用を考慮した場合、より簡便な表現が適しているという点、また変曲点が少なくより滑らかな曲線が適しているという点から四次多項式による表現が適していると考えられた。

前頭面観では、上下顎ともに四次に比較して六次多項式で適合度が増していた。また、適合させた多項式における残差平方を比較した結果、六次多項式は四次に比べ、各歯の残差平方が相対的に小さかった。これらの結果より、前頭面観の歯列弓形状に最も適合する曲線式は、六次多項式と考えられた。

矢状面観における  $R^2$  値の定量的評価から、二次、三次よりも四次多項式で高い適合度を示した。また、それぞれの多項式曲線において各歯の残差平方の比較では、上下顎ともに二次より、三次、四次多項式の残差平方が小さかった。これらから、矢状面観の曲線式は、上下顎ともに四次多項式が適していると考えられた。

本研究は、歯列弓を三次元的に曲線式で表現することが可能であることを示した。これを利用し、患者の残存歯の情報をもとに、欠損部分に対して標準歯冠モデルを適正に排列することが可能になる。

各審査委員が行った主な質問事項は以下の通りである。

- 1) 各面間の歯列弓に対し、表現方法として多項式曲線を選んだ理由
- 2) 適合度の定量的評価として  $R^2$  値の統計処理について
- 3) CAD/CAM への応用に適した曲線について

- 4) 現在の CAD/CAM システムの情勢について
- 5) 今回作成した歯列弓曲線の今後の CAD/CAM への応用は
- 6) 標準モデルの意義について

これらの質問に対して、論文申請者から明快な回答ならびに説明が得られ、更に今後の研究についても明確な方向性をもっていると判定した。審査委員は全員、本研究が学位論文として充分値し、申請者が博士(歯学)の学位を授与される資格を有するものと認めた。