

## 統計的形狀モデルを用いた非侵襲かつ高精度な歯根形状予測

Non-invasive and high accuracy root shape prediction with statistical shape model

草間亮介<sup>1)</sup>

指導教員 須賀一博<sup>2)</sup>, 研究協力者 石田雄之<sup>3)</sup>

1) 工学院大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 固体力学研究室

2) 工学院大学 工学部 機械工学科 固体力学研究室

3) 東京科学大学 大学院医学総合研究科 咬合機能矯正学分野

歯根形状を非侵襲かつ高精度に予測し、把握することは安全かつ正確な歯科矯正治療を可能にする。本研究では、最適化された歯牙の統計的形狀モデルを用いて歯根形状を非侵襲で予測する。精度評価を行い、先行研究と比較して精度が向上したことを確認した。

歯根形状把握, 歯根, 非侵襲予測, 統計的形狀モデル

### 1. 緒言

歯根形状を把握することは、矯正歯科治療を成功させる上で必要不可欠である<sup>1)2)</sup>。現在一般的に用いられる歯根把握手法として、パノラマエックス線撮影とコーンビームCT(CBCT)がある。パノラマエックス線撮影は実効線量が少ないため低侵襲である。しかし、歯根形状が2次元でしか把握できない。また、把握精度が低い。一方CBCTは3次元的に高精度で歯根形状を把握できる。しかし、実効線量が多いため侵襲度が高い。そこで、低侵襲かつ高精度に歯根の3次元形状を把握する手法の開発が期待されている。

先行研究では統計的形狀モデル(SSM)による、3次元歯根形状を非侵襲で予測する手法が提案されている<sup>3)</sup>。しかし、精度は不十分である。

本研究では、非侵襲的に計測できる歯冠形状から歯根形状を高精度に予測する手法を提案する。まず、汎化性能の高い歯牙形状のSSMを作成する。作成したSSMを用いて、歯冠形状から歯根形状を予測する。歯根形状を予測する数値実験を行い、歯根予測精度を検証する。

### 2. 歯牙の統計的形狀モデル

#### 2-1. 統計的形狀モデルの構築

統計的形狀モデル(SSM: Statistical shape model)

は、形状を表す形状ベクトル $\mathbf{z}$ を式(1)のように表現する。ただし、 $\boldsymbol{\mu}$ は平均形状ベクトル、 $w\mathbf{U}$ は平均形状からのばらつきを表すばらつきベクトルである。

$$\mathbf{z} = \boldsymbol{\mu} + w\mathbf{U} \quad (1)$$

$N$ 個の参照形状から、平均形状ベクトル $\boldsymbol{\mu}$ と、ばらつきの方向を表すベクトル $\mathbf{U}$ を求める方法を述べる。まず、形状を表現するために、対象とする $n$ 番目の歯の表面に $M$ 個の点(以下、形状表現点と呼ぶ)を配置する。この $M$ 個の形状表現点の集合を、 $3M$ 次元のベクトル $\mathbf{x}_n \in \mathbb{R}^{3M}$ で表す。次に、 $\mathbf{x}_n$ を形状空間と呼ばれる $3M$ 次元空間の1点 $\mathbf{z}_n \in \mathbb{R}^{3M}$ に射影する。以上の操作を、 $N$ 個の形状に対して実施すると $N$ 個の $3M$ 次元ベクトル $\mathbf{z}_n$ が得られる。 $\mathbf{z}_n$ の平均をとることで平均形状ベクトル $\boldsymbol{\mu} \in \mathbb{R}^{3M}$ を得る。また、 $\mathbf{z}_n$ の共分散行列から、最も分散の大きい方向を表すベクトル $\mathbf{U} \in \mathbb{R}^{3M}$ を得る。 $w$ は、平均形状からの離れ具合を表すスカラー値である。

#### 2-2. 汎化性能の向上

SSMの汎化性能を向上させるためには、形状表現点を等間隔に配置することが望ましい。一方、形状空間で多くの $\mathbf{z}_n$ が主成分ベクトル方向に沿って配置されていることが望ましい。これらを同時に

実現するために、形状表現点の数と位置を最適化する必要がある。式(2)で与えられる目的関数を最小化することでSSMの汎化性能を上げる。

$$Q(x_1, \dots, x_N) = \alpha H_z(x_1, \dots, x_N) - \sum_{n=1}^N H_x(x_n) \quad (2)$$

ここで $H_z(\cdot)$ は、 $x_n$ を射影した $z_n$ の共分散行列から計算されるエントロピーを表す。 $H_z(\cdot)$ が小さいほど、 $z_n$ が特定の主成分ベクトル方向に沿って配置される。 $H_x(\cdot)$ は、 $x_n$ から計算されるエントロピーを表す。 $H_x(\cdot)$ が大きいほど、形状表現点が等間隔に配置される。重み $\alpha$ は、どちらのエントロピーをどの程度重視するかを決めるパラメータである。

### 3. 歯根形状予測

#### 3-1. 3次元歯牙形状SSM

49人分のCBCTから歯牙の三次元形状モデルを作成した。形状モデルを訓練用40本、テスト用9本に分割した。訓練用モデルでSSMを構築した。

#### 3-2. 予測精度評価

テスト用モデルを用いて、歯根形状の予測精度を評価した。まず、テスト用モデルを歯冠部と歯根部に分割した。テスト用歯冠形状を再現するようにSSMの重み $w$ を決定した。決定した $w$ を代入してSSMで与えられる歯根形状を予測形状とした。

予測精度を評価した箇所を図1に示す。咬頭部と根尖部の垂直長さ(TL)、歯根中央1/3における上側(UMT)及び下側(LMT)の近遠心(MD)径、頬舌(BL)径、近遠心的傾斜角度(Angulation)、頬舌的傾斜角度(Inclination)の計7か所である。

図2は、7つの測定箇所における平均絶対誤差(MAE)と標準偏差(SD)及び測定箇所を示している。赤色で提案手法の結果、青色で先行研究の結果を示す。先行研究に対して、近遠心的傾斜角度(Angulation)及び頬舌的傾斜角度(Inclination)のMAEはそれぞれ61.0%、37.2%減少した。全長(TL)及び歯根中央1/3における上側(UMT)近遠心径

(MD)のMAEは、それぞれ17.7%、30.6%増加した。

### 4. 結言

汎化性能の高いSSMを用いて、非侵襲に歯根形状を予測する手法を提案した。先行研究と比較して、傾斜角度の予測精度が30%以上向上した。

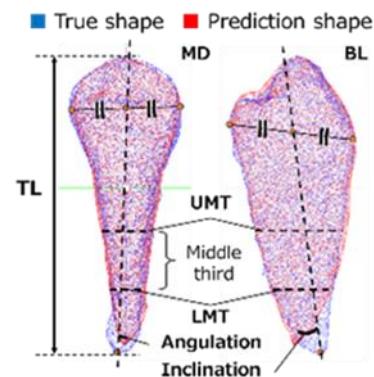


図1 測定箇所

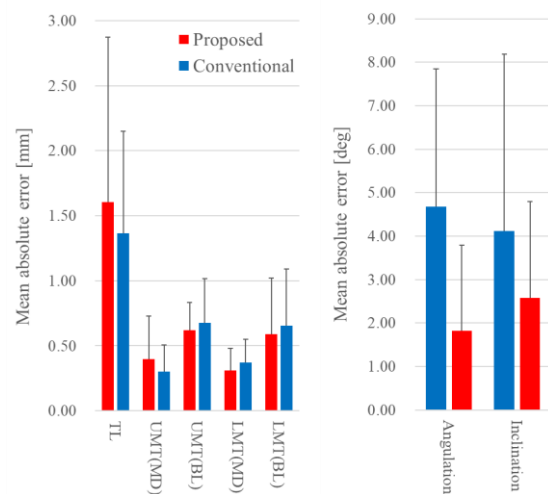


図2 長さ(a)と角度(b)のMAE

### 5. 参考文献

- (1) Bhavna Shroff, Root correction during orthodontic therapy, *Seminars in Orthodontics*, Volume 7, Issue 1, 2001, pp. 50-58.
- (2) Choy K, Pae EK, Park Y, Kim KH, Burstone CJ, Effect of root and bone morphology on the stress distribution in the periodontal ligament, *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, Volume 117, Issue 1, pp. 98-105.
- (3) Durschlag, Matthew E., Prediction of Root Form Using Crown Data: Mandibular Left First Premolar, Loma Linda University Electronic Theses, Dissertations & Projects, 2017.
- (4) Joshua Cates, Shape Modeling and Analysis with Entropy-Based Particle Systems, University of Utah, USA, 2010.