

授与番号	甲第 366 号
------	----------

## 論文内容の要旨

Accuracy of a Method to Monitor Root Position Using

a 3D Digital Crown/Root Model during Orthodontic Treatments

- 3 次元的に歯根位置を推定する 3D デジタル歯冠/歯根モデルの精度評価 -

(Tomography 第 8 巻、第 2 号 550 頁～559 頁、令和 4 年 2 月)

のじり かほ  
野尻 夏歩

### I. 研究目的

矯正歯科治療の目標は、歯根を歯槽骨における理想的な位置に排列し、審美的および機能的に安定した咬合を確立することである。矯正歯科治療中における歯槽骨範囲外への歯根の逸脱は、付着歯肉の喪失をもたらす原因となるため、経時的な歯根位置の 3 次元的評価は極めて重要である。しかし歯根の位置の 3 次元的評価手段として有効なコーンビーム CT (CBCT) は、放射線被曝の観点から日常のかつ頻回な撮像は推奨されていない<sup>1,2)</sup>。そこで本研究では、初診時の歯列模型データから抽出した歯冠部と、CBCT データから抽出した歯根部を組み合わせ作成した 3D デジタル歯冠/歯根モデル(3DCRM)を用いて矯正治療による歯の排列後の歯冠位置から歯根の位置を推定する方法を考案し、その精度について検証を行なった。

1) Signorelli L, *et al.*: *J Orofac Orthop* 2016; **77**: 9-15., 2) Silva MA, *et al.*: *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; **133**: 640. e641-645.

### II. 研究方法

歯根位置の推定方法(シミュレーションモデル)として、初診時の歯列模型の 3D データより抽出した歯冠形態および CBCT (ボクセルサイズ 0.28 mm) 画像より抽出した歯根形態を組み合わせ、上顎中切歯、側切歯、犬歯の 3DCRM を作成した。矯正治療による歯の排列後の歯列模型の 3D データから歯冠形態を参照し、3DCRM と重ね合わせることで排列後の歯根位置を推定した。矯正治療による歯の排列後の実際の歯根位置を CBCT 画像から特定し(実測モデル)、シミュレーションモデルの歯根位置との差を 3 次元座標およびカラーマッピングを用いて算出した。3 歯種間の比較は一元配置分散分析および tukey による多重比較分析を行い、ボクセルサイズとの比較は t 検定を行なった。また推定した歯根位置と実際の歯根位置の差および歯根の移動距離の相関について検証を行なった。

### III. 研究成績

全ての歯種で、根尖側方向における差が唇・口蓋側方向、近遠心方向、歯冠側方向と比較して有意に大きく ( $p < 0.05$ )、その値は CBCT のボクセルサイズよりも有意に大きくなった

( $p < 0.01$ ). しかし、唇・口蓋側方向、近遠心方向、歯冠側方向での差と CBCT のボクセルサイズとの間に有意差は認められなかった。また、中切歯、側切歯、犬歯の 3 歯種間においても有意差は認められなかった。推定した歯根位置と実際の歯根位置の歯冠・根尖側方向における差と、歯根の移動距離の間に強い正の相関が認められた ( $r = 0.704$ )

#### IV. 考察及び結論

唇・口蓋側方向、近遠心方向、歯冠側方向において、推定した歯根位置と実際の歯根位置の差が CBCT のボクセルサイズと同程度であったことから、これらの方向においてシミュレーションモデルは十分な歯根の位置の推定精度を有していると考えられる。しかし、根尖側方向については 3 次元座標およびカラーマッピングによる分析のどちらにおいても大きな差を認めたことから、矯正歯科治療に付随する歯根吸収が根尖側方向の予測に影響していると考えられる。したがって、歯根形態や矯正歯科治療中における歯槽骨からの明らかな根尖の逸脱等の精査が必要となる場合は、本方法に加えて口腔内エックス線写真を併用する必要がある。

## 論文審査担当者

主査 武本 真治 教授 (医療工学講座)  
副査 田中 良一 教授 (口腔保健育成学講座 歯科矯正学分野)  
副査 佐藤 和朗 教授 (口腔顎顔面再建学講座 歯科放射線学分野)

## 論文審査の結果の要旨

### 主論文要約

矯正歯科治療では、歯根を歯槽骨の理想的な位置に排列し、口腔内での審美的および機能的に安定した咬合を確立することである。しかし、治療中のトラブルの一つとして、歯根が歯槽骨を逸脱し、付着歯肉の喪失することがある。したがって、経時的な歯根位置の三次元的評価は極めて重要である。歯根位置の三次元的評価手法としてコーンビーム CT (CBCT) が有効であることが知られている。この CBCT による評価は放射線被曝の観点から日常的かつ頻回な撮像は推奨されていない。一方で、デジタル技術の発展から近年歯科領域でもコンピューター支援による設計や加工が盛んに行われている。矯正歯科でも口腔内スキャナや初診時の歯列模型からデジタルデータを抽出し、治療方針の一助としている。そこで本研究では初診時に作製する歯列模型から歯冠部のデジタルデータを、また、CBCT データから歯根部のデジタルデータを抽出し、それらを組み合わせることで作成する 3D デジタル歯冠/歯根モデル (3DCRM) を用いて、矯正歯科終了時の歯根位置を推定する方法を考案し、その精度を検証した。

歯根位置のシミュレーションモデルとして、5 症例の矯正歯科治療前後の歯列模型より取得したデジタルデータと CBCT より抽出した歯根のデータを組み合わせて 3DCRM を作成した。関心領域は上顎中切歯、側切歯および犬歯とした。得られたモデルと治療後の CBCT (実測) データとの歯根位置との差分を 3 次元座標として算出した。

すべての歯種において、矯正歯科治療前と比較して根尖側方向での計測—推定値との差が大きく、唇側・口蓋側方向、近遠心方向、歯冠側方向との間に有意差を認めた。また、中切歯、側切歯、犬歯の歯種間では有意差は認められなかった。推定した歯根位置 (モデル) と実際の歯根位置 (治療終了時の CBCT 測定値) との差分は、根尖側での差分を除いて CBCT のボクセルサイズと同程度であった。したがって、3DCRM での歯根位置の推定には有用であると考えられる。一方で、根尖側方向では推定したデータとは差を認めたことから、矯正歯科治療に付随する歯根吸収等の影響が危惧された。

以上の結果より、初診時の歯列模型から歯冠部のデジタルデータを、CBCT から得られる歯根部のデジタルデータを組み合わせることで作成する 3DCRM は歯根位置を推定するのに有効であることが示唆された。さらに口腔内エックス線写真の撮影などの方法を併用することで歯槽骨からの歯根根尖部の逸脱等を精査することができると考えられる。したがっ

て、本研究の成果は矯正歯科医が治療中のトラブルの一つである歯槽骨からの歯根の逸脱を防止することができるとともに、歯冠位置から歯根位置を推測することで安全な治療を提供できる可能性があり、歯科医療に対する貢献度が高いものと考え、学位論文に値すると評価した。

## 試験・試問結果の要旨

主査および副査から多くの質問があり、下記のような質疑が行われた。

田中副査

- (1) 犬歯まで6本に絞った理由はありますか。  
⇒被抜歯での症例が少なく、また、臼歯部では金属製修復物または補綴装置がありコーンビームCTでのアーチファクトが大きかったので、犬歯までに絞りました。
- (2) 矯正歯科で歯を移動させる場合、前歯部と臼歯部でどちらの取扱い（移動量および歯根吸収など）は多いですか。  
⇒歯列全体で歯列矯正（移動）しますので、歯列として審美性を追求するのであれば前歯部のデータが重要と考えます。
- (3) イントロダクションのところで、タイポドントではすでにこの手法がなされているとのことですが、タイポドントとはなにですか。  
⇒矯正歯科学の実習で使用している模型で、そちらについては有効である可能性が示唆されています。本研究では実症例でモデルを作成して行いました。
- (4) 症例および対象歯はどれくらいの数でしょうか。  
⇒5症例で、左右の中切歯、側切歯、犬歯の合計30本です。
- (5) プレゼンテーションの中でカラーマッピングでの赤は0.5mmでしょうか。  
⇒失礼しました。黄色です。赤は1.5mmで大きい移動量でした。
- (6) 3次元座標分析での読み取り方とデータの解釈で、相関があることは何を意味するのでしょうか。  
⇒縦軸の差は最終のCBCTと推測位置との差で、横軸は実際の歯の移動量との相関を示したデータです。その実際の移動量と推定位置との差が大きくなっているのはZ軸（歯軸方法）でしたが、移動量との間に相関がありました。

(7) 実際の症例では終わってからではないのでどの時点で確認していきますか。

⇒このシミュレーションモデルでは、最も良いのは治療途中での確認ができることであると考えます。ですので、治療中に印象採得してモデルを作製して診断していくことが大切だと思います。ただ、本研究での“治療終了時”は矯正治療の途中で顎変形症手術前までのデータです。被爆の関係から治療後にCBCTを撮像することはないので、術前で終了としてデータとしています。治療途中での模型等があれば、実際にはもっと精度を上げることができ、治療終了時を予測し、修正することができると考えます。

(8) 歯科用CBCTで一回の撮像での被曝量はどれくらいですか？

一回では0.1mSV程度です。

#### 武本主査

(1) CBCTと模型用スキャナの精度の違いは構築するモデルに影響しませんか？DICOMデータは0.28mmのスライスサイズでモデルを構築されていますが、模型用スキャナでは、印象材と模型材の寸法変化の影響も考えるべきかと思いますが、いかがでしょうか。

⇒本研究で用いた口腔外スキャナ(MDS500 Dental Scanner)の精度は0.05mm以下まで補償されています。印象材にはアルジエース、模型材にはニュープラストンIIを用いて、印象材は0.2% (本研究では約0.14mm程度)と模型材は0.08% (本研究では0.06mm程度)と考えます。したがって、CBCTでのモデルの方が大きい誤差を生じていると考えています。

(2) 歯科矯正のモデルを考える際にどれくらいの移動量であれば許容できるのでしょうか。(骨の厚みが重要なのか?)

⇒本研究では歯槽骨から逸脱しない治療を行うための診断を想定しています。骨の厚み等は患者によって異なることが推測できますので、その中で許容できる移動量が異なると考えます。

(3) 本研究では正確度(Accuracy)の測定となっていますが、装置自体の正確度と精度(Precision:バラツキ)の計測はされましたか？されているのであれば、その影響はないとの判断でよろしいでしょうか。

⇒本研究では装置自体の正確度と精度は測定していません。スタディモデルと実測モデルとの差ですが、先ほどのスライスモデルでの0.28mmが上限であると考えています。

(4) 測定の基点がありますか？

⇒口蓋のヒダを基点として測定をしています。ヒトを対象としていますので基点の決定は難しいです。

(5) Fig. 5 で、1本の歯であれば、Labial と Palatal、Mesial と Distal、Apical と Incisal は相対しているの、一元分散分析では解析できないのではではないでしょうか。また、これに付随した Table2 のデータですが、D が標準偏差であるならば、n=2 では SD 標準偏差は算出できないと思いますがいかがでしょうか。

⇒ご指摘の点は本論文をまとめる上でも議論になりました。矯正歯科治療で基点（ゼロ）から、唇側口蓋側、近遠心、歯冠根尖側での移動量が大切との考えから、本研究では本手法を用いました。SD に関してはご指摘の通りで、計算上の値を記載していますが、記載すべきではありませんでした。

(6) 歯に対して、骨吸収により Apical が沈んでいる（？）との考察は理解できるのですが、唇側一口蓋側および近遠心に移動が小さいのは、歯が揃っているからでしょうか。実際に、歯が一部欠損している場合には異なると考えられるのでしょうか。

⇒ご指摘のように、骨吸収もしくは歯根吸収等も考えられ、Z 軸方向でのデータは歯槽骨から飛び出ないように治療する上で大切です。歯の移動に関する歯根吸収を考慮した上で、歯に負荷する力を考える必要があると考えます。また、本研究モデルでは全額の歯が揃っている症例でおこなっていますので、一部欠損や抜歯による移動については分かりませんが、本データとは移動量は異なるかと推測されます。本手法を用いて推測できるかは今後の検討課題としたいと思います。

(7) 本方法で歯の移動と骨内の歯根の位置を推測する方法は有用であると考えます。推測と移動量との間に差が大きかった Z 方向での推測との差を考慮すると、その他の手法（検査）ではどのようなことをすれば良いでしょうか。

⇒口腔内でのエックス線撮影は有効な手段であると考えます。ただ、被爆の観点からはそこまで多く撮影はできないと考えます。

近年のデジタル技術の発展から口腔内スキャナ（IOS）も口腔内を撮影して位置を考えることができると思います。今後の研究に活かしたいと思います。