

神奈川歯科大学大学院歯学研究科  
2016年度 博士論文

成人矯正治療における臨床的歯冠長の変化と  
歯の三次元的移動様相の関連性

The relationship between change of the clinical crown height  
and three-dimensional movement pattern of teeth in adult  
orthodontic treatment

2017年3月3日

尾関 佑美

Yumi Ozeki

神奈川歯科大学大学院歯学研究科

高度先進口腔医学講座

神奈川歯科大学大学院歯学研究科  
2016年度 博士論文

成人矯正治療における臨床的歯冠長の変化と  
歯の三次元的移動様相の関連性

The relationship between change of the clinical crown height  
and three-dimensional movement pattern of teeth in adult  
orthodontic treatment

2017年3月3日

尾関 佑美

Yumi Ozeki

神奈川歯科大学大学院歯学研究科

高度先進口腔医学講座

不島健持教授 指導

## 論文内容要旨

成人矯正治療が歯周組織に及ぼす影響を知ることがを目的に、臨床的歯冠長（CCH）を高精度で定量的に計測する方法を確立し、矯正治療前後の変化との関わりを検討した。また、個々の歯の三次元的移動様相の分析法を確立し、臨床的歯冠長の変化との関わりを検討した。

研究対象は、初診時年齢 18 歳～35 歳の成人女性の上下顎左右の第一小臼歯を抜歯し、マルチブラケット装置により矯正治療を行った不正咬合症例 21 名の歯列石膏模型を用いた。初診時と動的治療終了時の歯列石膏模型を 3D スキャナーで計測し、三次元歯列モデルを再構築した。治療前後それぞれのモデルより中切歯から第一大臼歯の歯冠を抽出し、ICP 法を用い両者の重ね合わせを行った。歯冠の唇頬側および舌側の歯肉縁点を計測し、治療による歯軸方向への変化量を臨床的歯冠長の変化として検討した。

上顎歯列の CCH は治療前後で、中切歯の唇舌側（ $P < 0.001$ ）、第二小臼歯の舌側（ $P < 0.01$ ）で有意な減少が示され、歯肉縁点が歯冠側に移動したことが示された。一方、側切歯の唇側（ $P < 0.001$ ）において CCH が有意に増加し、歯肉縁点が根尖側に移動したことが示された。下顎歯列の CCH を治療前後で比較検討した結果、側切歯の舌側（ $P < 0.01$ ）、犬歯の舌側と第二小臼歯の頬舌側と第一大臼歯の舌側（ $P < 0.001$ ）で有意に増加し、歯肉縁点が根尖側に移動したことが示された。また唇頬舌側の歯肉縁点の垂直的变化と三次元的な歯の移動や回転との間に有意な相関関係が示された。

三次元画像工学技術を応用して、臨床的歯冠長を指標とすることで、歯周組織の変化を高精度に定量的な計測することが可能となり、各歯の三次元 6 自由度の移動様相を評価するシステムが確立された。また歯周組織の変化と、歯の移動様相との関わりを評価することが可能となり、両者の関係が示されることが示唆された。

## 論文審査要旨

学位論文である「成人矯正治療における臨床的歯冠長の変化と歯の三次元的移動様相の関連性」は、成人歯科矯正治療（：矯正治療）が歯周組織に及ぼす影響を知ることが目的に、臨床的歯冠長（：CCH）を高精度で計測する方法を確立し、矯正治療前後の CCH の変化との関わりを検討した。その結果、CCH を指標とすることで、歯周組織の形態的变化を高精度に計測することが可能となり、CCH と歯の 3 次元的移動様相との間に相関関係があることを示した論文である。

補綴前処置や歯周病患者に対する包括的咬合治療における矯正治療の果たす役割が重要視されてきている。しかしながら、矯正治療が歯周組織に及ぼす影響に関する報告は少なく、また、その妥当性が客観的に評価されていないことから、本論文における矯正治療による歯周組織の変化を高精度で客観的に評価する方法の確立と、それを実証しようとする研究目的は高く評価できる。

研究方法は以下の通りである。対象資料は、初診時年齢 18～35 才の不正咬合を有する成人女性 21 名の全顎的矯正治療前後の歯列石膏模型（：模型）を用いた。資料の使用に際しては、本学研究倫理審査委員会の承認を受けて実施している。治療前後の模型を 3 D スキャナーで計測して 3 次元歯列モデルを再構築し、Iterative Closest Point (ICP) 法により両者の重ね合わせを行うとともに計測誤差を評価した。治療前後の CCH の計測と変化量の評価および歯の 3 次元的移動様式との関わりを Wilcoxon の順位和検定法と Spearman の順位相関法にて検定した。これらの方法は、論理的であり適切な解析法により実験が行われている。結果として、3 次元計測モデルにより矯正治療前後の CCH の変化を高精度に定量評価できることが明らかとなった。また、CCH の変化と歯の 3 次元的移動様式との間に相関性が認められた。

近年、咬合や歯周組織に配慮したより精度の高い包括的歯科治療システムの必要性が求められているが、矯正治療の歯周組織に及ぼす影響を検討した臨床報告は少なく、矯正治療後の歯肉退縮などの歯周組織の変化の客観的評価法は確立されていない。本論文において、3 次元的画像工学手法を応用した高精度の測定能を有し、且つ、歯科石膏模型を用いた安価で非侵襲的な歯周組織の 3 次元的形態計測システムを確立したことは、下顎歯の移動評価法には改善の余地があるものの先駆的で高く評価できる。今後、症例数を増やして矯正治療後の歯肉退縮のリスクの予測等に本システムを応用できる可能性があることから本論文は発展性が期待できる。

本審査委員会は、論文内容および関連事項に関して口頭試問を行ったところ十分な回答が得られたことを確認した。さらに本論文で得られた新しい知見は客観的評価診断に基づく成人歯科矯正治療指

針の確立に貢献が期待できるとの結論に至った。そこで、本審査委員会は申請者の博士論文が博士（臨床歯学）の学位に十分に値するものと認めた。

本審査委員会は申請者が博士（臨床歯学）の学位に十分値するものと認めた。

2017年3月3日

主 査 三 辺 正 人 教 授

副 査 松 尾 雅 斗 教 授

副 査 猿 田 樹 里 准 教 授

## 【 諸 言 】

矯正治療は叢生の解消や外傷性の咬合を除去することで口腔の清掃性や機能を改善し、結果として歯周組織の健康の改善や維持に繋がる。一方、時として矯正力そのものが、歯肉退縮など歯周組織に対し為害作用を及ぼすことも事実である。これまでの矯正治療は若年者を対象とすることが多かったが、近年は成人矯正治療が一般的となってきた。補綴前処置としての矯正治療や歯周病患者の矯正治療など、成人の包括的咬合治療における歯科矯正の果たす役割は重要と考えられる。

歯周病を伴う不正咬合症例の成人矯正治療は、以前は歯周病を進行させる恐れがあるとして危険視されてきた。しかしながら近年は、歯周病進行症例でも歯周病専門医の協力のもとで矯正治療前および治療中に歯周組織の細菌性の炎症が十分にコントロールされ、歯を歯槽骨の適正な位置に移動し配列し、歯冠／歯根比が悪化した歯の移動に対してメカニクスの配慮をする行い、更に歯周組織を傷害する繰り返される過大な矯正力を避けることなどの基本原則を守ることによって、歯周組織を傷害することなく矯正治療を進めることができ<sup>1-4)</sup>、矯正治療前よりも改善することも少なくないと考えられる<sup>5, 6)</sup>。一方、矯正治療中の口腔清掃状態が良好で歯周疾患を認めない場合でも、歯肉退縮等の歯周組織の破壊を招く恐れがある<sup>7)</sup>。このよう

に成人矯正治療においては、細菌性炎症のコントロールが重要であり、それとともに歯周組織に対する矯正力や咬合性外傷などによる外力の影響を理解する必要がある<sup>9-14)</sup>。

矯正治療の歯周組織への影響を知る目的で、歯肉退縮を指標に評価した臨床研究が報告されている。歯肉退縮は歯肉辺縁の位置がセメント-エナメル境より根尖側に移動し、歯根表面が露出した状態と定義される<sup>15)</sup>。Renkemaら(2013)<sup>16)</sup>は矯正治療患者と未治療対象者における歯肉退縮を、唇頬側のセメント-エナメル境の露出の有無により評価した。その結果、成長期から成人にかけ歯肉退縮の発現が増加し、矯正治療患者は未治療対象者と比べ歯肉退縮が起こり易くオッズ比が4.48であったことを報告した。Slutzkeyら(2008)<sup>17)</sup>は若年成人を対象にセメント-エナメル境から遊離歯肉縁までの距離をmm単位で計測し歯肉退縮を評価した結果、対象者の14.6%および、対象歯の1.6%に歯肉退縮の進行が認められ、矯正治療経験との関わりが認められたと報告した。Melsenら(2005)<sup>18)</sup>は中間歯非抜歯にて固定式矯正装置で下顎前歯を唇側傾斜させて治療をした150名の成人症例を対象に、口腔内写真を投影拡大することで歯肉退縮を計測評価した。その結果、矯正治療により歯肉退縮が有意に進行し、歯肉退縮が2mmを超えて進行した症例は2.8%、それに対して歯肉退縮が改善した症例が5.0%だったと報告した。

成人矯正治療の対象が増えているにもかかわらず、矯正治療が歯周組織に及ぼす影響に関する報告は少なく、未だ統一見解、明確なエビデンスが得られていない<sup>19)</sup>。また歯肉退縮など臨床的評価に関し、客観的で高精度の定量的計測法が確立されておらず、今後さらなる検討が必要と考えられる。

今回我々は、これまで行われてきた成人矯正治療の妥当性を検証し今後の治療指針の一助とするため以下のことを目的に研究を行った。

- 1) 歯列石膏模型の三次元デジタル情報を利用し臨床的歯冠長を客観的に高精度で定量的に計測する方法を確立する。
- 2) 成人矯正治療による臨床的歯冠長の変化を評価する。
- 3) 臨床的歯冠長の変化と歯の三次元的移動との関わりを検討する。

## 【研究材料および方法】

### 1. 研究資料

神奈川歯科大学附属横浜クリニック矯正歯科を受診した初診時平均年齢 24 歳（18～35 歳）の歯周組織が臨床的に健康な成人女性の矯正治療患者であり、Angle の咬合分類はⅠ級が 7 名、Ⅱ級が 2 名、Ⅲ級が 3 名、Ⅰ級Ⅱ級が 6 名、Ⅰ級Ⅲ級が 3 名の計 21 名である。



上下顎左右の第一小白歯を抜歯しマルチブラケット装置により矯正治療を行ったものを研究対象とした。

また症例の選択に当たり、以下の基準を満たすものは除外した。

- 1) 歯列不正と関わる口唇口蓋裂等の疾患を有しているもの。
- 2) 顎変形症による外科矯正治療を行ったもの。
- 3) 全身所見に異常を認めるもの。
- 4) 先天性欠如歯、過剰歯を有しているもの。

なお、資料を使用するにあたっては、神奈川歯科大学研究倫理審査委員会による承認を受け、計測を実施した。(承認番号 342 番)

## 2. 研究方法

研究対象より診断目的で採得した初診時(T1)と動的治療後(T2)の上下顎の歯列石膏模型を研究資料とし、3D スキャナー(C-Pro デンタルシステム D800-3SP、パナソニック株式会社：大阪)で三次元計測し、STL データとして保存した。プログラミングランゲージ Visual C++により独自に開発した三次元包括システム ManMoS<sup>20-22)</sup>を用い、歯列表面形状三次元 STL モデル(以下 STL)を再構築した。ManMoS は外科矯正治療の三次元診断および手術シミュレーションのため開発したシステムであり、三次元 6 自由度の下顎運動解析にも応用されている。本システムは、CT より構築した顎顔面骨格モデ


ル、3D スキャナーより得た歯列表面形状モデル、顎運動データおよび三次元 6 自由度のデータを統合することで包括的な三次元診断を可能とする。今回は、その一部の機能を利用して歯列模型の三次元的評価を行った。

#### 1) 臨床的歯冠長の計測


本研究の目的は単にセメント-エナメル境の露出の有無で歯肉退縮の有無を評価することではなく、成人矯正治療による遊離歯肉縁点の垂直的变化を評価することであった。(以降、本文中の歯肉退縮は遊離歯肉縁点の根尖側方向への移動を意味する。)以下の手法により臨床的歯冠長 (CCH: clinical crown height) の計測を試み (図 1)、矯正治療前後の比較検討を行った。

##### (1) 仮想歯軸の設定と臨床的歯冠長の計測法

STL-T1 上で、前歯では切縁近心点①と遠心点②を、次いで唇側④および舌側⑤の歯頸部歯肉縁点を計測した。同様に臼歯では、近心と遠心の辺縁隆線の延長した点を、頬側および舌側の中央歯肉縁点を計測した。そして近遠心の midpoint ③と唇頬舌側の midpoint ⑥を結ぶ直線を、仮想歯軸として設定し (図 1a)、唇頬舌側 midpoint を通り、仮想歯軸に垂直な平面を歯冠平面として設定した。唇頬舌側の歯肉縁点から歯冠平面に降ろした垂線の足までの距離を計測し、初診時の臨床

的齒冠長（CCH-T1）とした（ 1b）。

## (2) STL 齒冠部の重ね合わせ法

治療後の臨床的齒冠長の計測のため、先ず STL-T1 より個々の齒冠部を切り取り抽出し、齒頸部と隣接齒との接触領域を取り除いた。抽出した STL-T1 の齒冠部を STL-T2 の対応齒の齒冠部に移動し、Iterative Closest Point (ICP) 法<sup>23-25)</sup>により特徴点を用いない局所的重ね合わせを行った（ 2）。

## (3) 臨床的齒冠長の治療変化の算出

三次元空間における平行移動や回転移動といった物体の移動を三行三列の変換行列で表現し、三次元アフィン変換と呼ぶ。ICP 法による重ね合わせ後、変換行列を取得し、STL-T1 上の計測点の座標値を三次元アフィン変換し、STL-T2 上に仮想齒軸を再構築した。STL-T2 上で、唇頬舌側の齒肉縁点を計測し、前述の手法により治療後の臨床的齒冠長（CCH-T2）を計測した。CCH-T2 から CCH-T1 を引き算した数値を求め、臨床的齒冠長の治療変化とした（-：齒肉縁点の齒冠側移動、+：齒肉縁点の根尖側移動）。

## 2) 齒の三次元移動解析

矯正治療に伴う臨床的歯冠長の変化と歯の移動との関わりを知る目的で、個々の歯の三次元的な移動様相（歯体移動量、傾斜移動量、回転）を解析し、歯肉縁点の垂直的变化との関わりを検討した。

-口蓋関心領域を利用した歯の移動評価-

先行研究<sup>26)</sup>より、第三横口蓋ヒダより後方の硬口蓋水平領域が経年的に非常に安定していることが示されたことより、治療前後のSTLの同領域を口蓋関心領域（PRI: palatal region of interest）とし重ね合わせ、以下の歯の移動評価に利用した。

#### (1)口蓋関心領域を用いた重ね合わせ法

STL-T2よりPRIを切り取り抽出し、STL-T1の対応領域に手動で移動し可及的に重ね合わせたのち、ICP法により走査閾値を0.03 mm以下に設定し特徴点を用いない局所的重ね合わせを行った（図3）。本研究対象の治療期間、PRIが経年的に安定していたことより同領域を歯の移動評価の重ね合わせ領域として、以下の歯の三次元移動解析に利用した。

#### (2)分析座標系の設定

STL-T1の各歯の近心点と遠心点を結んだ直線をX軸（+：近心方向）、両者の中点を原点とし、X軸と仮想歯軸を含む平面をXY平面

となるよう Y 軸（+：根尖側方向）を設定し、XY 平面の垂線を Z 軸（+：唇頬側）とした。（図 4）。

### (3) 歯の移動量と回転角の計測

PRI を参照し STL-T1 と STL-T2 を重ね合わせたのち、分析座標系に座標変換し、以下の歯の三次元移動解析を行った。

臨床的歯冠長の計測法で示した“STL 歯冠部の重ね合わせ法”および“臨床的歯冠長の治療変化の算出”と同様の手法で、各歯の移動マトリックスを取得し、STL-T1 上の計測点の座標値を三次元アフィン変換した。

各歯の STL-T1 上の唇頬舌側の歯肉縁点の唇頬舌側、垂直的、近遠心的移動、を算出した（図 5a）。前述と同様に仮想歯軸を設定し、治療に伴う唇頬舌側傾斜、近遠心傾斜を求めた（図 5a）。歯冠部の回転を XZ 平面に投影し、その角度変化を算出した（図 5b）。

以上より求めた歯の三次元移動解析値と、歯肉縁点の垂直的移動変化との相関関係を分析した。

### 3) 計測誤差

本研究における三次元分析ソフト、PC 画面上での計測、歯の移動重ね合わせ法、による計測誤差を以下の方法により求めた。

今回の研究対象 21 症例の STL-T1 の上顎左側中切歯を対象に、CCH の計測を行い、唇側および舌側の歯肉辺縁点の垂直的移動量を求めた。一回目の計測から一週間後にもう一度同一術者により同じ計測を繰り返し、一回目と二回目の計測値の誤差を求めた。

計測誤差は次に示す Dahlberg の公式 (1940)<sup>27)</sup> を用いた。

$$\text{Standard Error (SE)} = \sqrt{\sum d^2 / 2n} \quad (\text{d: 計測値の差、n: 症例数})$$

信頼度係数は Houston の公式 (1983)<sup>28)</sup> を用い計算した。

#### -統計解析-

CCH の治療前後の差の検定には、Wilcoxon の符号付順位和検定を用いた。CCH と歯の移動の計測項目間の回帰分析を行い、相関係数の有意性 ( $p < 0.01$ ) を検討した。

統計には、統計解析ソフトウェア (SPSS21.0、SPSS Inc.、USA) を使用した。

## 【結果】

### 1. 計測誤差

成人矯正治療による CCH の変化量を繰り返し計測した結果、唇側および舌側とも一回目と二回目の計測に有意な差を認めず (表 1)、Standard Error がそれぞれ 0.043mm と 0.114mm、信頼度係数がそれ

ぞれ 99.0%と 96.4%であった。本研究の臨床的歯冠長の計測は、十分な精度を有していると判断された。

## 2. 臨床的歯冠長の治療変化

### 1) 上顎歯列の CCH の変化

上顎歯列の CCH を治療前後で比較検討した結果、中切歯の唇舌側 ( $P < 0.001$ )、第二小臼歯の舌側 ( $P < 0.01$ ) で有意な減少が示され、歯肉縁点が歯冠側に移動したことが示された。一方、側切歯の唇側 ( $P < 0.001$ ) において CCH が有意に増加し、歯肉縁点が根尖側に移動したことが示された (表 2)。表 2 を図式化したものを図 7 に表した (図 6)。

### 2) 下顎歯列の CCH の変化

下顎歯列の CCH を治療前後で比較検討した結果、側切歯の舌側 ( $P < 0.01$ )、犬歯の舌側と第二小臼歯の頬舌側と第一大臼歯の舌側 ( $P < 0.001$ ) で有意に増加し、歯肉縁点が根尖側に移動したことが示された (表 3)。表 3 を図式化したものを図 8 に表した (図 7)。

## 3. 歯の移動と臨床的歯冠長の関わり

CCH と咬合平面基準系における歯の移動の変化量との関わりを検

討した。

#### 1) 上顎歯列 CCH

上顎歯列では、CCH と歯の移動分析結果との間に以下の相関関係が示された。

中切歯、側切歯、第二小臼歯の舌側の CCH は、舌側歯頸部の垂直的移動と有意な負の相関関係を認め、それぞれの相関係数は  $-0.44$  ( $P < 0.01$ )、 $-0.52$  ( $P < 0.001$ )、 $-0.37$  ( $P < 0.01$ ) であった (表 4)。すなわち中切歯では  $4.0$  mm 以上の、側切歯と第二小臼歯では  $1.0$  mm 以上の圧下が起きたほとんどの症例において、舌側の歯頸部が圧下するほど舌側歯肉縁点の歯冠側移動が起きていた (図 8)。

中切歯、側切歯、第二小臼歯、第一大臼歯の舌側の CCH は、歯軸の唇頬舌側傾斜と有意な正の相関を認め、それぞれの相関係数は  $0.45$  ( $P < 0.01$ )、 $0.56$  ( $P < 0.001$ )、 $0.44$  ( $P < 0.01$ )、 $0.44$  ( $P < 0.01$ ) であった (表 4)。中切歯では多くの症例で治療により舌側傾斜が認められ (図 9)、舌側傾斜が大きいほど舌側歯肉縁点の歯冠側移動が認められた。側切歯、第二小臼歯、第一大臼歯では、歯軸が頬側傾斜すると歯肉縁は根尖側へ、舌側傾斜すると歯冠側へ移動するとの結果が示された (図 9)。

側切歯の唇側の CCH は、歯軸の唇舌側傾斜と有意な正の相関を示



した、相関係数は 0.52 ( $P < 0.001$ ) であった (表 4)。側切歯唇側の歯肉縁点は、ほとんどの症例で根尖側移動しており、唇側傾斜が強いほど歯肉退縮が進行するとの関係が示された (図 10)。

犬歯では頬側の CCH に有意な変化は示されなかったが、頬側歯頸部の垂直的移動と有意な負の相関関係を認め、相関係数は -0.39 ( $P < 0.01$ ) であった (表 4)。すなわち頬側の歯頸部の圧下や挺出に伴い、頬側歯肉縁点がそれぞれ歯冠側または根尖側へ移動すると示された (図 11a)。

第一大臼歯の頬側の CCH は治療により有意な変化を示さなかったが、頬側歯頸部の垂直的移動と有意な正の相関関係を認め、相関係数は 0.48 ( $P < 0.01$ ) であった (表 4)。すなわち第一大臼歯頬側の歯頸部が圧下するほど、頬側歯肉縁点が根尖側移動するとの結果が示された (図 11b)。

## 2) 下顎歯列 CCH

下顎歯列では、CCH と歯の移動分析結果との間に以下の相関関係が示された。

下顎中切歯の CCH は唇舌側とも有意な治療変化を示さなかったが、歯の垂直的移動と有意な負の相関を認めた。それぞれの相関係数は -0.43 ( $P < 0.01$ )、-0.62 ( $P < 0.001$ ) と高い相関を認め (表 5)、3 mm 以

上圧下移動した症例では歯肉退縮を認めなかった一方、圧下が 3 mm 以下の症例の多くは歯肉退縮の進行を認めた (図 12)。

下顎側切歯の CCH は舌側の歯肉退縮の進行を示したが、歯の近遠心傾斜との間に有意な相関を認めた。それぞれ相関係数は、0.42 ( $P < 0.01$ ) であった (表 5)。一方、唇側では有意な歯肉縁点の変化を認めていなかったが、同様に歯の垂直的变化および近遠心傾斜と有意な負の相関を、水平面の回転と有意な正の相関を認めた。

下顎第二小臼歯は頬舌側とも有意な歯肉退縮の進行を示し、頬側では歯の近遠心傾斜、頬舌側傾斜および回転と有意な相関を示しそれぞれの相関係数は 0.57 ( $P < 0.001$ )、-0.45 ( $P < 0.001$ )、0.48 ( $P < 0.01$ ) であった。すなわち近心傾斜と舌側傾斜および近心回転が大きい症例の全てで歯肉退縮の進行が認められた (図 13a、b)。

## 【考察】

本研究の動機は、まず成人矯正治療の結果として歯周組織に起きている変化を調査することが重要と考え、そのための客観的評価法を確立し、歯周組織の変化と歯の三次元的移動の関わりを知ることには歯の移動計画あるいは矯正力適応の選択に重要な示唆を与えると考えられることであった。

従来、矯正治療の対象は学童期から若年成人までが主であったが、

最近では成人矯正治療がごく一般的となっている。包括診療の意義も高まっており、咬合や歯周組織に配慮したより精度の高い治療システムの構築が求められている。しかしながら成人矯正治療が増えているにもかかわらず、矯正治療の歯周組織に対する影響を検討した臨床研究は少なく<sup>19)</sup>、歯肉退縮など歯周組織の臨床的評価に関しても客観的で定量的な評価法が確立されていない<sup>16-18)</sup>。これまで行われてきた矯正治療の妥当性を評価し今後の矯正治療の指針を確立するために、本研究で行う後ろ向き研究は重要な意義を有すると考えられる。

## 1. 研究対象について

今回の研究対象は、上下顎左右の第一小臼歯を抜歯しマルチブラケット装置により治療を行った成人矯正症例とした。歯の配列のため中間歯の抜歯が必要と診断されたことより、前歯部の叢生や前突によりアーチレングスディスクレパンシーが強い症例が多いと考えられる。このような症例ではアーチレングスディスクレパンシーの解消や抜歯空隙閉鎖のため、前歯の舌側傾斜、犬歯の遠心移動、臼歯の近心移動、などの三次元的歯の移動が必要になる。また、非抜歯症例と比較し、個々の歯の移動量が大きいと考えられる。抜歯空隙の閉鎖に際しては、空隙に隣接した歯の過剰な傾斜により特徴的な

歯列の乱れとしてたわみ効果 (bowing effect) が起きることが知られている。bowing effect により発現する一部の歯の挺出は、矯正治療中にジグリング型の咬合干渉を引き起こし、歯肉退縮など歯周組織の破壊を招く危険性がある<sup>7)</sup>。

この様に中間歯抜歯による矯正治療症例は、三次元的に複雑な歯の移動が起きており、その移動量は大きく、また成人矯正における標準治療である。本研究は成人矯正治療が歯周組織に及ぼす影響を知ることを目的としたプロジェクトの最初の研究と位置付けたことより、研究対象を中間歯抜歯による成人矯正治療例と絞ることは妥当な選択基準であったと考えられる。

## 2. 臨床的歯冠長の計測法について

研究資料として用いた歯列石膏模型は、矯正歯科専門医では長期間保管されている資料であり、後ろ向き研究に適した研究資料と考えられる。

また矯正治療に伴う歯周組織の変化の指標として、臨床的歯冠長の変化は歯列模型上で計測可能で、今回治療前後の比較のため開発した特徴点を用いない局所的重ね合わせ法は、より客観的で高精度の定量的な計測を可能とする。矯正治療の歯周組織への影響を知る目的で、歯肉退縮を指標に評価した臨床研究が報告されている<sup>16-18)</sup>。

しかしながら歯肉退縮の評価法は、単にセメント-エナメル境の露出の有無による評価や<sup>16)</sup>、歯周短針を用いたmm単位の精度での評価<sup>17)</sup>、口腔内写真をプロジェクターで拡大し補正計測した評価<sup>17)</sup>、等であった。今回行った治療前後の歯冠部の重ね合わせは、隣接面コンタクト領域や歯頸部歯肉縁など治療前後で形態変化が生じやすい部位、気泡などにより表面形状が損なわれている部位は参照領域から排除し行ったことより、臨床的で高精度の定量的な方法と考えられ、計測誤差も十分小さいと判断された。また操作は常にモニターで実際の3Dモデルを確認しながらの作業となるので、誤認が少ない方法と考えられる。

CCHの計測は、STL-T1上で設定した仮想歯軸の方向に沿った変化量として求めた。仮想歯軸は、歯冠上で計測した切縁点や歯頸点の計測により設定されることより、その再現性に若干の問題がある。本法では、歯冠上の計測は初診時のSTL-T1でのみ行い、前述のICP法による高精度の重ね合わせにより、STL-T1の計測座標を治療後のSTL-T2上にアフィン変換し治療後の仮想歯軸を設定した。治療前後の歯冠を高精度で重ね合わせ、治療前後の歯肉縁点からSTL-T1の仮想歯軸に降ろした垂線の足の差、すなわち単一の仮想歯軸に沿った変化量として算出した。したがって、計測の誤差はもっぱら歯肉縁点の計測誤差によるもので、仮想歯軸傾斜の若干の誤差はCCHの変

化量にほとんど影響しないと考えられる。

### 3. 歯の移動解析について

歯科矯正臨床において歯の移動の評価は、主に側面頭部エックス規格写真を用いた二次元分析により行われてきた。3D-CTの普及に伴い三次元分析も可能となってきたが、エックス線被爆が避けられないことより、CTが三次元分析の標準診断機器となるには今しばらく時間を要すると考えられる。一方、近年の三次元画像工学の進歩には目覚ましいものがあり、歯科矯正分野における Digital Dentistry の今後の発展に期待が寄せられている。今回このような現状を鑑み、矯正臨床の標準診断機器として普及し始めている三次元レーザースキャナーを用い、歯列の STL モデルを構築し歯の移動解析を試みた。

歯の三次元移動解析にあたり、治療前後の STL モデルの重ね合わせが重要となる。先行研究において、初診時と動的治療終了後で初診より5年以上経過時の歯列模型を比較し、口蓋形態の経年的安定性を検討した<sup>26)</sup>。第三横口蓋ヒダより後方の硬口蓋水平領域は経年的に非常に安定しており、治療前後の STL の同領域を口蓋関心領域 (PRI: palatal region of interest) とし重ね合わせた結果、両者の差分は平均約 0.25 mm (標準偏差 0.12 mm) と非常に良好に適合し

ていた。本研究でも同様に、矯正動的治療前後の STL モデルを PRI で重ね合わせることで、歯の移動解析に利用した。

口蓋領域を参照した STL モデルの重ね合わせ法に関し、矯正用インプラントを参照した研究でもその有用性が報告されており<sup>89)</sup>、側面頭部エックス線規格写真における移動評価と比較検討した研究では口蓋が信頼度の高い重ね合わせの参照領域であるとした<sup>30)</sup>。

歯の移動解析は PRI を参照した重ね合わせ後、1. 臨床的歯冠長の計測と同様の方法で治療前の歯冠の一部を切り出し ICP 法にて治療後の歯冠に重ね合わせて変換行列を取得、2. STL-T1 上で計測した計測点と求めた仮想歯軸を STL-T2 上に三次元アフィン変換する、3. 各歯の STL-T1 で設定した分析座標系で歯頸点と仮想歯軸の移動を評価する、という手順で解析し、解析結果と CCH の変化との相関関係を検討した。したがって CCH の計測と同様、計測点と仮想歯軸の移動は高精度で達成される 1. の変換行列を反映したもので、PRI を参照した重ね合わせの誤差を除いては極めて高精度の解析と考えられる。

一方、下顎歯列においても PRI を参照した重ね合わせにより、歯の移動評価を行った。今回の対象が成人矯正症例であることより、顎骨の成長変化はないと考えてよいものの、矯正治療においては臼歯の挺出や圧下などにより、下顎骨の時計回りや反時計回りの回転

が起こり得る。下顎歯列の移動評価はこのような下顎位の変化が無いことが前提として成立するものであり、本研究では考慮されていない。下顎位の変化をも組み込んだ移動評価法、あるいは下顎の STL モデルに参照を求めた重ね合わせによる移動評価法、等を確立することが求められると考えられ、今後の検討課題である

#### 4. 臨床的歯冠長の変化について

成人矯正治療前後の CCH を計測し比較することで、矯正治療により唇頬側および舌側の歯肉縁点が歯冠側に移動したのか、あるいは根尖側に移動（歯肉退縮）したのかを検討した。

上顎歯列に関し、中切歯の唇舌側と第二小臼歯の舌側において、矯正治療により CCH が減少し歯肉縁点の歯冠側移動が認められた。歯肉縁点が根尖側移動し歯肉退縮が進行した部位は、側切歯の唇側のみであった。

一方、下顎に関しては、CCH の治療変化に有意差を認めた部位は全て歯肉縁点の根尖側移動であり、側切歯と犬歯と第二小臼歯と第一大臼歯の舌側、第二小臼歯の頬側に認められた。矯正治療と歯肉退縮の関わりを検討した Renkema ら<sup>16)</sup>の報告では、歯肉退縮の進行は下顎中切歯と上下顎第一小臼歯に多く認められた。研究方法がセメントエナメル境の露出の有無で検討していること、研究対象が



成長期の個体も含むなど、本研究と異なることより単純に比較することはできないと考えられる。

歯肉縁点の根尖側移動が、上顎歯列では側切歯の唇側以外で認められず、下顎の多くの部位で認められたという事実は、矯正治療では下顎歯列に対し歯周組織へより注意深い配慮が必要なことを示唆しているのかもしれない。実際の臨床を想定した場合、下顎歯列の舌側は唇頬側や上顎歯列と比較し、矯正治療期間の歯周組織の変化を視診で確認しにくいと考えられ、プラークコントロールを含め歯周組織への配慮が不足しがちであると考えられる。

CCH のこのような変化に歯の移動が深く関わっているとの結果が示された。上顎前歯舌側の歯肉縁点の歯冠側移動には、舌側歯頸点の圧下、歯軸の舌側傾斜が深く関わっていた。上顎中切歯の唇舌側傾斜の治療変化を見ると、ほとんどの症例が治療により舌側傾斜していることが示され、5.38度から-35.41度（-：舌側傾斜）に分布していた。このことは本研究の研究対象の多くが初診時に上顎前歯の唇側傾斜を認め、治療により舌側傾斜させることで改善したことを示唆している。歯の傾斜移動は歯軸の根尖1/3相当に存在すると考えられる抵抗中心 center of resistance を回転中心として発現することより、唇側傾斜した前歯咬合平面に沿って舌側傾斜させる移動様相は、常に圧下移動を伴う。本研究結果からも、一症例以外全

症例において上顎中切歯は圧下しており、このことが歯肉縁点の歯冠側移動と関わっていたのではないかと考えられた。歯の圧下と歯肉縁の変化に関し、実験動物による研究が報告されている。Murakamiら<sup>31)</sup>はサルの上顎前歯にブラケットを装着し、口腔清掃管理下において約100gの圧下力を加えた結果、歯の圧下に伴い臨床歯冠長の減少を認め、歯肉唇側面の位置は歯の圧下量の約60%追随し移動したと報告した。Melsenら<sup>32)</sup>は、サルの歯に実験的歯周炎を起こし、フラップ手術による歯周外科治療に引き続き歯の圧下を行った結果、口腔衛生の良い状態で圧下した場合、平均1.2mm以上の新付着を生じ、新生セメント質の形成が認められたと報告した。今回研究対象とした症例は、いわゆる歯周矯正治療例ではなく、専門医によるプラークコントロール指導の下行われたことより、矯正治療による歯の圧下が歯肉縁の歯冠側移動を招いたことは十分に考えられる。

下顎第二小臼歯では頬舌側とも歯肉退縮が進行し、頬側では歯の近心傾斜、舌側傾斜、近心回転との関わりが示された。小臼歯抜歯症例では抜歯後、抜歯窩の歯槽骨壁が特に頬側において吸収し陥凹すると考えられる。今回の研究対象の多くが第二小臼歯の近心移動を示し、これは幅径および高径が減少した歯槽部への歯の移動を意味する。口腔清掃管理下において歯槽骨量が少ない領域へ歯の移動

を行った場合、クリニカルアタッチメントレベルなど歯周組織の状態に大きな変化を起こすことがなく、正常な歯槽形態が回復する。一方、過度な矯正力や移動時の対合歯との接触による咬合性外傷、不良な口腔清掃状態、などの条件で歯槽部の高さや幅径が減少した部位へ歯を移動すると、歯槽部の形態的回復を認めず歯肉退縮などの歯周組織の問題を招く可能性があると考えられる<sup>8)</sup>。抜歯部位への歯の移動は歯肉退縮を進行させる危険性があり、プラークコントロールや咬合の管理など歯周組織に対する一層の配慮が必要と考えられる。

## 【結論】

三次元画像工学の技術を矯正臨床に応用することにより、以下のことが結論付けられた。

1. 臨床的歯冠長を指標とすることで、歯周組織の変化を高精度に定量的な計測することが可能となった。
2. 口蓋関心領域を参照することで、各歯の三次元6自由度の移動様相を評価するシステムが確立された。
3. 歯周組織の変化と、歯の移動様相との関わりを評価することが可能となり、両者の密接な関係が示された。

## 【参考文献】

1. Boyd RL, Leggott PJ, Quinn RS, et al. Periodontal implications of orthodontic treatment in adults with reduced or normal periodontal tissues versus those of adolescents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989;96:191-198.
2. Ong MM, Wang HL. Periodontic and orthodontic treatment in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2002;122:420-428.
3. Re S, Corrente G, Abundo R, Cardaropoli D. Orthodontic treatment in periodontally compromised patients: 12-year report. *Int J Periodontics Restorative Dent* 2000;20:31-39.
4. Sanders NL. Evidence-based care in orthodontics and periodontics: a review of the literature. *J Am Dent Assoc* 1999;130:521-527.
5. Corrente G, Abundo R, Re S, et al. Orthodontic movement into infrabony defects in patients with advanced periodontal disease: a clinical and radiological study. *J Periodontol* 2003;74:1104-1109.
6. 不島健持, 児玉利朗. OBMを考慮した成人矯正治療—1 矯正治療に関わる歯周病学的背景—歯周矯正治療. *矯正臨床ジャーナル* 2012;28:41-57.

7. 不島健持, 児玉利朗. OBM を考慮した成人矯正治療—2 矯正治療に関わる歯周病学的背景—歯周組織管理の重要性を認識した成人矯正治療. 矯正臨床ジャーナル 2012;28:19-25.
8. 不島健持, 不島千智. OBM を考慮した成人矯正治療—7 機械的外力に対する歯周組織の応答—動物実験モデルによる論文的考察— . 矯正臨床ジャーナル 2015;31:39-50.
9. Ericsson I, Lindhe J. Effect of longstanding jiggling on experimental marginal periodontitis in the beagle dog. J Clin Periodontol 1982;9:497-503.
10. Polson AM, Zander HA. Effect of periodontal trauma upon intrabony pockets. J Periodontol 1983;54:586-591.
11. 松尾雅斗. 歯の移動時における歯根膜血管網および歯槽骨の変化について. 神奈川歯学 1986;21:419-420.
12. 住井浩剛. 咬合性外傷がサルの実験的歯周炎の炎症波及におよぼす影響に関する研究. 日歯周誌 1997;39:31-45.
13. Kundapur PP, Bhat KM, Bhat GS. Association of trauma from occlusion with localized gingival recession in mandibular anterior teeth. Dent Res J 2009;6:71-74.
14. Motohira H, Hayashi J, Tatsumi J, et al. Hypoxia and reoxygenation augment bone-resorbing factor production from

human periodontal ligament cells. J Periodontol 2007;78 :  
1803-1809.

15. 特定非営利活動法人日本歯周病学会編：歯周病学用語集 第2版．東京：医歯薬出版，2013：48.
16. Renkema AM, Fudalej PS, Renkema A, et al. Development of labial gingival recessions in orthodontically treated patients. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2013;143:206-212.
17. Slutzkey S, Levin L. Gingival recession in young adults: occurrence, severity, and relationship to past orthodontic treatment and oral piercing. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2008;134:652-656.
18. Melsen B, Allais D. Factors of importance for the development of dehiscences during labial movement of mandibular incisors: a retrospective study of adult orthodontic patients. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2005; 127:552-561.
19. Johal A, Katsaros C, Kiliaridis S, et al. State of the science on controversial topics: orthodontic therapy and gingival recession (a report of the Angle Society of Europe 2013 meeting). Prog Orthod 2013; doi:10.1186/2196-1042-14-16.

20. 不島 健持. 外科矯正術後予測システムの臨床的意義. 画像応用技術専門委員会研究報告 2003;18:8-18.
21. Fushima K, Kobayashi M, Konishi H, et al. Real-time orthognathic surgical simulation using a mandibular motion tracking system. *Comput Aided Surg* 2007;12:91-104.
22. Fushima K, Kobayashi M. Mixed-reality simulation for orthognathic surgery. *Maxillofacial Plastic and Reconstructive Surgery* 2016;doi: 10.1186/s40902-016-0059-z.
23. 真川純. Free-form Deformation と局所的 位置合わせを用いた三次元形状解析. 東京大学博士論文 2007.
24. Besl P, Mckay N. A method for reegistration of 3-D shapes. *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 1992;14:239-256.
25. Makadia A, Patterson A, Daniilidis K. Fully Automatic Registration of 3D Point Clouds. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* 2006;1, 1297-1304.
26. 不島健持、小林優、井野智. 大規模災害時における歯列実体模型三次元情報のバックアップ管理体制の構築および口蓋形態に

よる個人識別の検討. 神奈川歯学 2015;50:179-184.

27. Dahlberg G. Statistical methods for medical and biological students. *Br Med J* 1940;2:358-359.
28. Houston WJ. The analysis of errors in orthodontic measurements. *Am J Orthod* 1983;83:382-390.
29. Jang I, Tanaka M, Koga Y, et al. A novel method for the assessment of three-dimensional tooth movement during orthodontic treatment. *Angle Orthod* 2009; 79: 447-453.
30. Choi JI, Cha BK, Jost-Brinkmann PG, et al. Validity of palatal superimposition of 3-dimensional digital models in cases treated with rapid maxillary expansion and maxillary protraction headgear. *Korean J Orthod* 2012;42:235-41.
31. Murakami T, Yokota S, Takahama Y. Periodontal changes after experimentally induced intrusion of the upper incisors in *Macaca fuscata* monkeys. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1989 ; 95 : 115-126.
32. Melsen B, Agerbaek N, Erikson J, Terp S. New attachment through periodontal treatment and orthodontic intrusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1988 ; 94 : 104-116.



【付図説明】

(表 1) 計測誤差

唇側および舌側の Standard Error がそれぞれ 0.043mm と 0.114mm、信頼度係数がそれぞれ 99.0% と 96.4% であった。

(表 2) 上顎歯列の CCH の変化

上顎中切歯の唇舌側で有意に減少し ( $P < 0.001$ )、歯肉縁点が歯冠側に移動したことが示された。上顎側切歯の唇側は CCH が有意に増加し ( $P < 0.001$ )、歯肉縁点が根尖側に移動したことが示された。

(表 3) 下顎歯列の CCH の変化

下顎では犬歯の舌側、第二小臼歯の頬舌側と第一大臼歯の舌側において CCH が有意に増加し ( $P < 0.001$ )、歯肉縁点が根尖側に移動したことが示された

(表 4、5) 歯の移動と臨床的歯冠長の関わり

(図 1) 臨床的歯冠長 (CCH:clinical crown height) の計測

- a: STL-T1 上で、切縁近心点①と遠心点②を、次いで唇側および頬側歯頸部歯肉縁点④と舌側歯頸部歯肉縁点⑤を計測した。そして近遠心の中点③と唇頬舌側の中点⑥を結ぶ直線を、仮想歯軸として設定した。
- b: 近遠心点の中点③から、唇頬舌側の歯肉縁点④⑤から仮想歯軸に降ろした垂線の足までの距離を計測し、初診時の臨床的歯冠長 (CCH-T1) とした。

(図 2) STL 歯冠部の重ね合わせ法 (上顎右側中切歯の例)

- a: STL-T1 の上顎右側中切歯の歯冠部と STL-T2 の上顎歯列
- b: 抽出した STL-T1 の上顎右側中切歯の歯冠部を STL-T2 の対応歯の歯冠部に移動し、ICP 法により特徴点を用いない局所的重ね合わせを行った描画

(図 3) 口蓋関心領域を用いた重ね合わせ法による上顎歯列の変化  
治療前後の第三横口蓋ヒダより後方の硬口蓋水平領域を口蓋関心領域 (PRI: palatal region of interest) とし、重ね合わせを行った。

- a: STL-T2

- b : STL-T2 より切り出し抽出を行った PRI
- c : STL-T1 の対応領域と ICP 法により特徴点を用いない局所的重ね合わせを行った描画
- d、e : STL-T1 と STL-T2 の適合状況をカラーマッピングにより描画

(図 4) 分析座標系の設定

STL-T1 の各歯の近心点と遠心点を結んだ直線を X 軸（+ : 近心方向）、両者の中点を原点とし、X 軸と仮想歯軸を含む平面を XY 平面となるよう Y 軸（+ : 根尖側方向）を設定し、XY 平面の垂線を Z 軸（+ : 唇頬側）とした。

(図 5) 歯の三次元移動解析

- a : 各歯の STL-T1 上の唇頬舌側の歯肉縁点の唇頬舌側、垂直的、近遠心的移動を算出した。同様に仮想歯軸を設定し唇頬舌側傾斜、近遠心傾斜を求めた。
- b : 歯冠部の回転を XZ 平面に投影し、その角度変化を算出した。

(図 6) 上顎歯列の CCH の変化

(図 7) 下顎歯列の CCH の変化

(図 8) 上顎中切歯、側切歯、第二小臼歯舌側の CCH と垂直的移動量の相関

- a : 上顎中切歯舌側の CCH と垂直的移動量の相関
- b : 上顎側切歯舌側の CCH と垂直的移動量の相関
- c : 上顎第二小臼歯舌側の CCH と垂直的移動量の相関

(図 9) 上顎中切歯、側切歯、第二小臼歯、第一大臼歯舌側の CCH と唇頬舌側傾斜量の相関

(図 10) 上顎側切歯唇側の CCH と唇舌側傾斜量の相関

(図 11) 上顎犬歯、第一大臼歯頬側の CCH と垂直的移動量の相関

- a : 上顎犬歯頬側の CCH と垂直的移動量の相関
- b : 上顎第一大臼歯頬側の CCH と垂直的移動量の相関

(図 12) 下顎中切歯舌側の CCH と垂直的移動量の相関

- (図 13) 下顎第二小白歯頬舌側の CCH と歯の移動の相関
- a : 下顎第二小白歯頬側の CCH と近遠心傾斜量の相関
  - b : 下顎第二小白歯頬側の CCH と水平面回転量の相関

(表 1)

CCHの変化量（上顎左側中切歯）

(n=21)	唇側変化量(mm)			舌側変化量(mm)		
	1回目	2回目	1回目-2回目	1回目	2回目	1回目-2回目
<b>Average</b>	-0.31	-0.32	0.01	-0.21	-0.21	0
<b>SD</b>	0.45	0.44	0.06	0.62	0.55	0.17
<b>Minimum</b>	-1.36	-1.44	-0.09	-1.43	-1.43	-0.44
<b>Maximum</b>	0.41	0.29	0.12	0.92	0.78	0.22
<b>Wilcoxon</b>			N.S			N.S

(表 2)

		Upper CCH							
		唇頰側				舌側			
(n=42)		T1	T2	Wilcoxon		T1	T2	Wilcoxon	
				T2-T1	signed-rank test			T2-T1	signed-rank test
I1	Mean	9.07	8.76	-0.28	**	7.76	7.42	-0.34	**
	SD	1.51	1.43	0.49		1.04	1.07	0.57	
	Minimum	6.51	5.88	-1.72		5.37	5.11	-1.43	
	Maximum	12.77	12.10	0.85		9.96	10.28	0.92	
I2	Mean	6.36	7.11	0.75	**	6.59	6.43	-0.16	
	SD	1.45	1.46	0.79		1.04	1.01	0.48	
	Minimum	3.73	4.83	-0.66		4.46	4.39	-1.24	
	Maximum	9.90	11.01	2.66		9.20	8.61	1.04	
C	Mean	6.77	6.83	0.06		4.47	4.64	0.16	
	SD	1.19	1.35	0.59		1.12	0.89	0.63	
	Minimum	4.17	3.74	-1.43		1.44	2.84	-1.63	
	Maximum	9.61	10.24	1.36		7.40	6.43	1.44	
P2	Mean	5.34	5.34	0.00		3.79	3.60	-0.20	*
	SD	0.85	0.86	0.51		0.92	0.97	0.36	
	Minimum	3.58	3.54	-1.27		1.70	1.58	-1.22	
	Maximum	7.39	7.71	0.71		6.34	5.96	0.39	
M1	Mean	5.21	5.26	0.06		4.18	4.08	-0.10	
	SD	0.99	0.92	0.55		0.88	0.91	0.45	
	Minimum	3.13	3.64	-1.19		2.35	2.57	-1.25	
	Maximum	7.67	6.93	1.12		5.87	6.22	0.74	

\*: P&lt;0.01 \*\* : P&lt;0.001

(表 3)

		Lower CCH						
(n=42)		唇類側			舌側			
		T1	T2	T2-T1	Wilcoxon signed-rank test	T1	T2	T2-T1 Wilcoxon signed-rank test
I1	Mean	7.50	7.53	0.03		7.65	7.85	0.19
	SD	1.19	1.19	0.50		1.07	0.82	0.56
	Minimum	4.92	4.42	-0.96		5.34	5.77	-0.81
	Maximum	9.20	9.19	1.59		10.09	9.28	1.47
I2	Mean	6.71	6.89	0.18		7.46	7.77	0.32 *
	SD	1.32	1.28	0.68		0.98	0.72	0.65
	Minimum	4.54	4.86	-0.84		5.45	6.58	-0.50
	Maximum	9.25	9.45	3.50		9.58	9.28	3.14
C	Mean	7.05	7.17	0.12		5.23	5.64	0.41 **
	SD	1.26	1.24	0.51		1.48	1.27	0.60
	Minimum	4.28	4.57	-0.71		1.27	2.79	-0.46
	Maximum	9.20	9.43	1.46		7.74	8.98	1.85
P2	Mean	5.49	6.10	0.61	**	2.69	3.14	0.45 **
	SD	1.18	1.18	0.81		0.58	0.80	0.54
	Minimum	2.95	3.53	-0.94		1.62	1.84	-0.47
	Maximum	7.56	9.02	2.87		4.24	5.04	1.86
M1	Mean	6.40	6.43	0.03		3.25	3.75	0.50 **
	SD	1.00	1.05	0.38		0.93	1.08	0.57
	Minimum	3.06	3.05	-0.76		1.54	2.03	-0.40
	Maximum	8.39	9.03	1.11		5.35	6.36	2.21

\*: P&lt;0.01 \*\* : P&lt;0.001

(表 4)

上顎 CCHの治療変化(n=42)		歯頸点の移動			歯軸傾斜と回転		
		近遠心	垂直	唇頬舌	近遠心傾斜	唇頬舌側傾斜	回転
中切歯	唇側	0.003	-0.118	-0	0.153	-0.01	-0.1
	舌側	-0.02	-0.437	0.262	-0.2	0.453	0.052
			*			*	
側切歯	唇側	0.428	0.174	-0.01	0.135	0.515	0.118
	舌側	0.089	-0.515	-0.06	-0.04	0.559	0.05
		*	**			**	
犬歯	頬側	0.27	-0.39	-0.28	-0.1	-0.16	0.21
	舌側	-0.05	0.118	-0.31	-0.13	-0.19	0.208
			*				
第二小臼歯	頬側	0.364	0.091	-0.15	0.204	0.066	-0.2
	舌側	-0.23	-0.374	-0.06	-0.17	0.44	-0.11
						*	
第一大臼歯	頬側	0.249	0.482	-0.09	0.173	-0.04	-0.03
	舌側	0.216	0.261	0.01	-0.14	0.441	-0.18
			*			*	

\*: P<0.01    \*\*: P<0.001

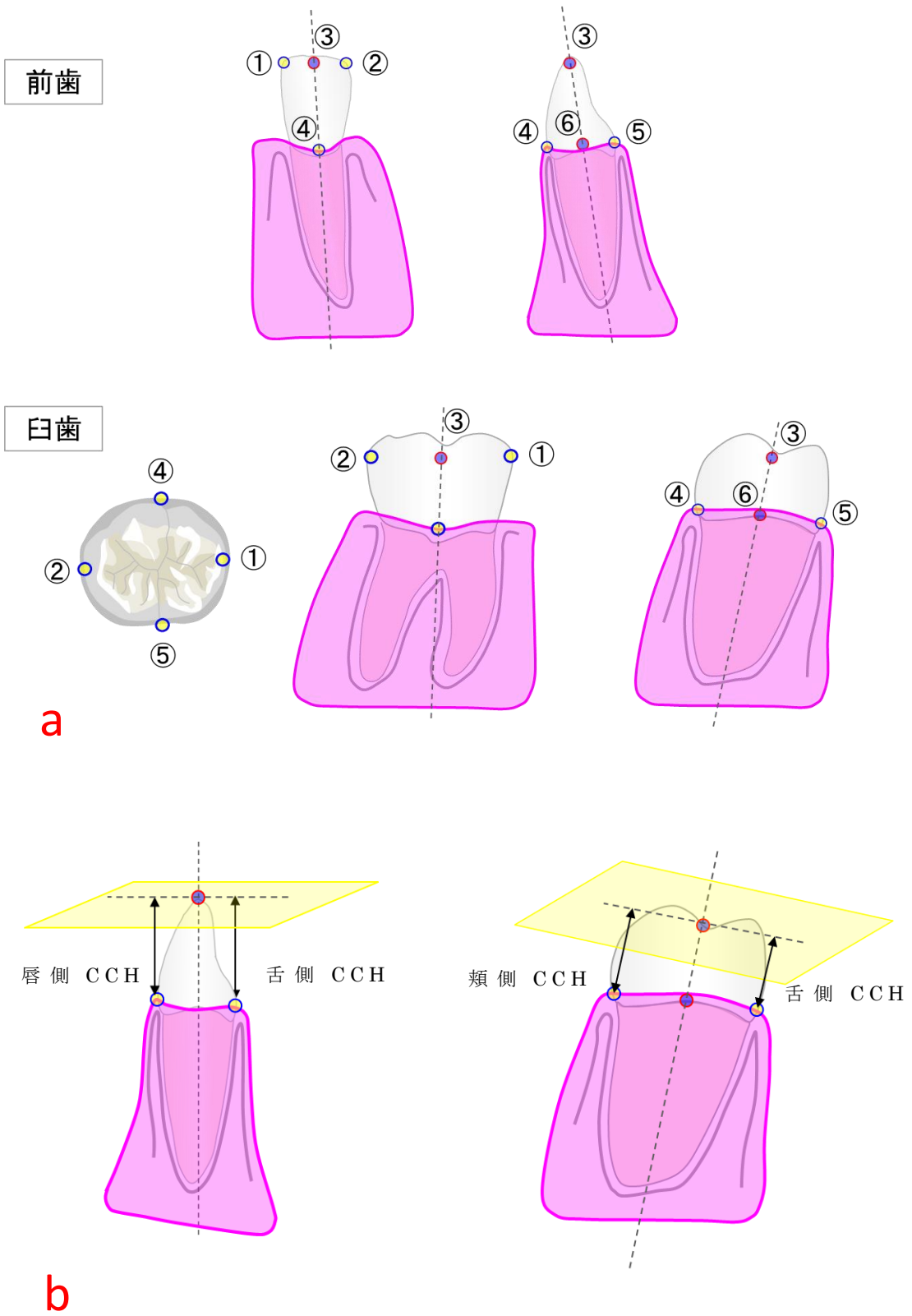
(表 5)

下顎 CCHの治療変化(n=42)		歯頸点の移動			歯軸傾斜と回転		
		近遠心	垂直	唇頬舌	近遠心傾斜	唇頬舌側傾斜	回転
中切歯	唇側	0.083	-0.43	0.129	0.009	0.217	0.028
			*				
	舌側	0.071	-0.62	0.064	-0.02	0.245	-0.21
			**				
側切歯	唇側	0.271	-0.33	0.034	-0.35	0.296	0.516
							**
	舌側	-0.12	0.02	0.055	0.419	-0.14	0.373
					*		
犬歯	頬側	0.117	-0.17	0.076	0.173	0.133	0.052
	舌側	-0.16	-0.31	-0	-0.24	0.221	-0.36
第二小臼歯	頬側	-0.23	-0.39	-0.09	0.574	-0.45	0.483
					**	*	*
	舌側	0.324	-0.18	0.196	0.12	-0.18	0.268
第一大臼歯	頬側	0.242	-0.22	0.135	-0.25	-0.12	0.085
	舌側	0.192	-0.05	-0.18	-0.33	0.48	0.245

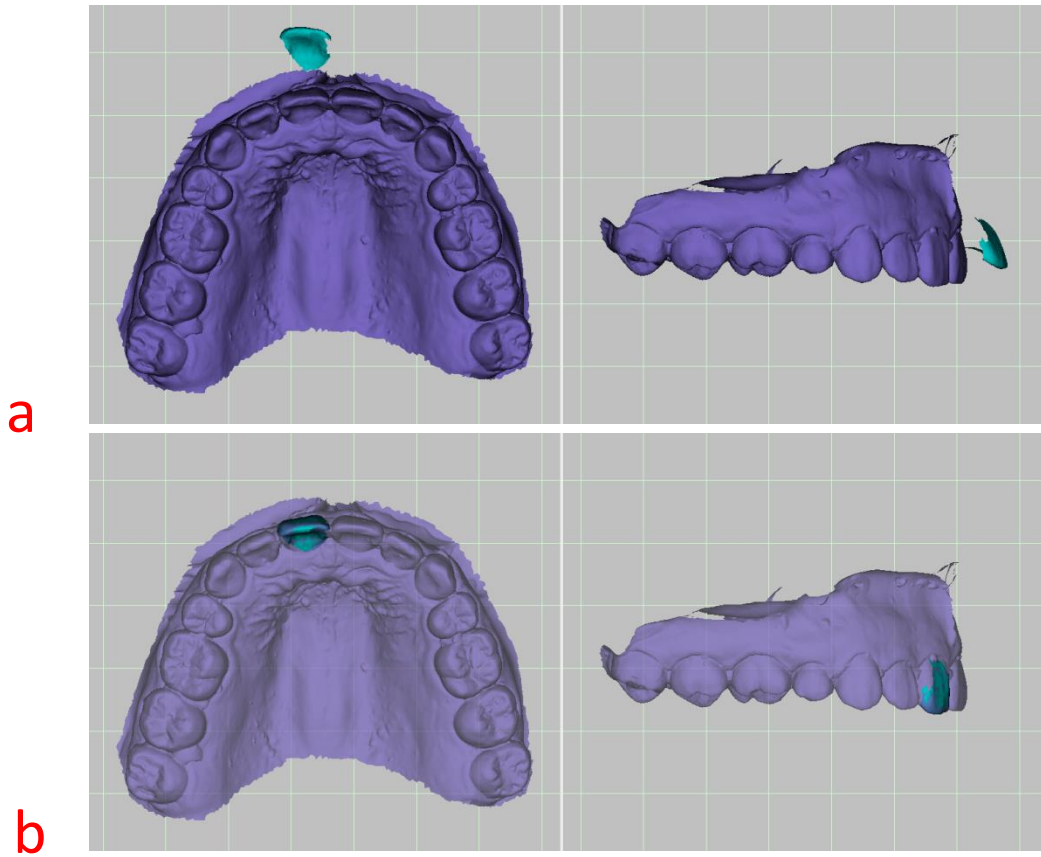
\*: P&lt;0.01 \*\* : P&lt;0.001



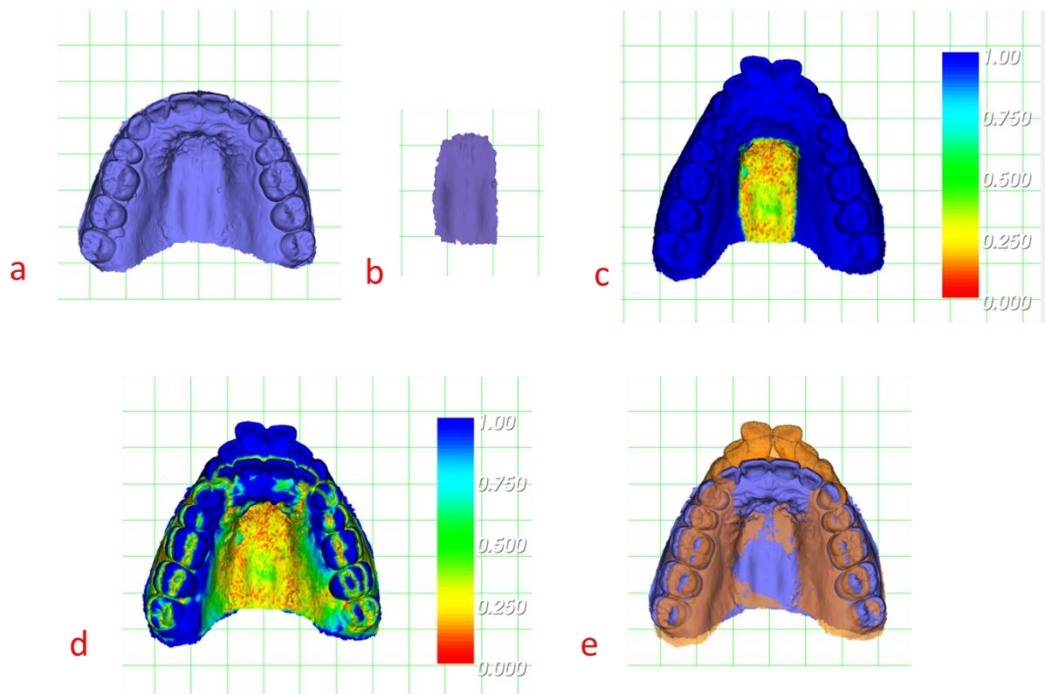
( 図 1 )



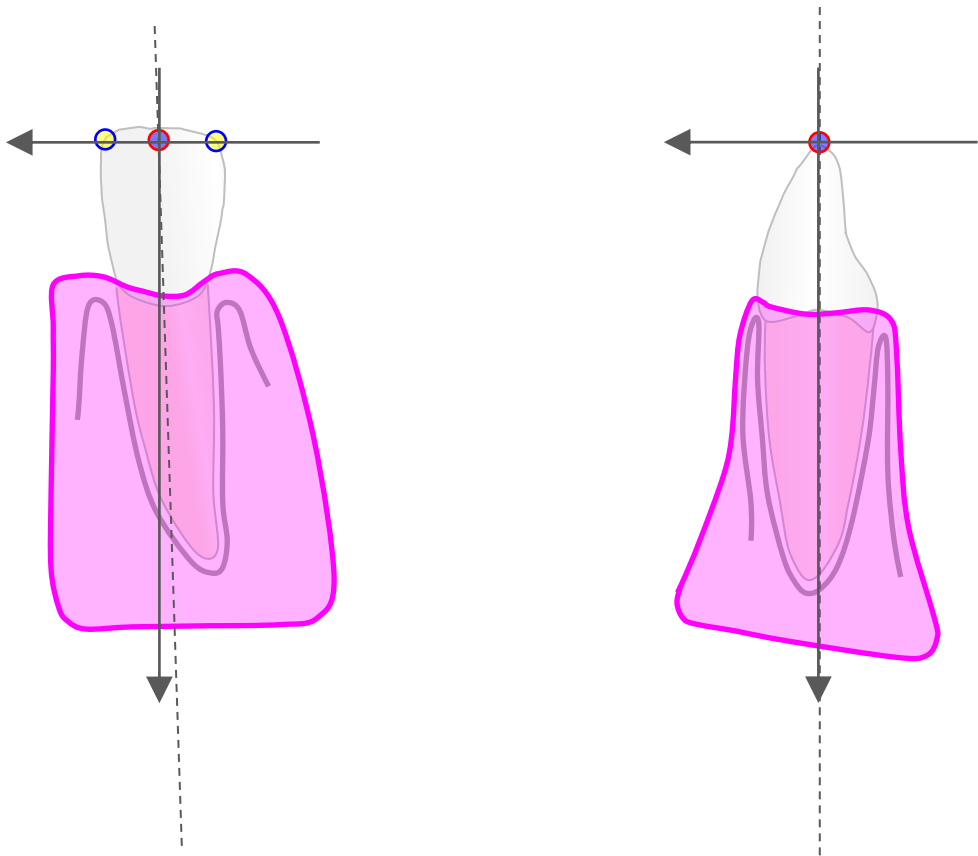
( 图 2 )



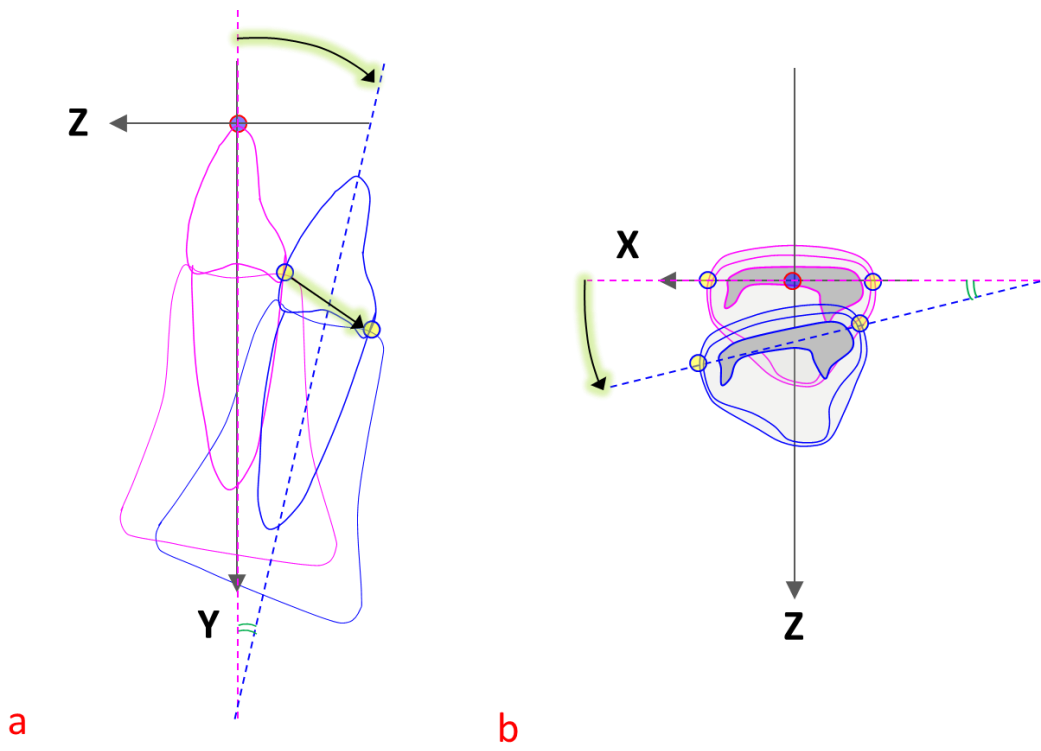
( 图 3 )



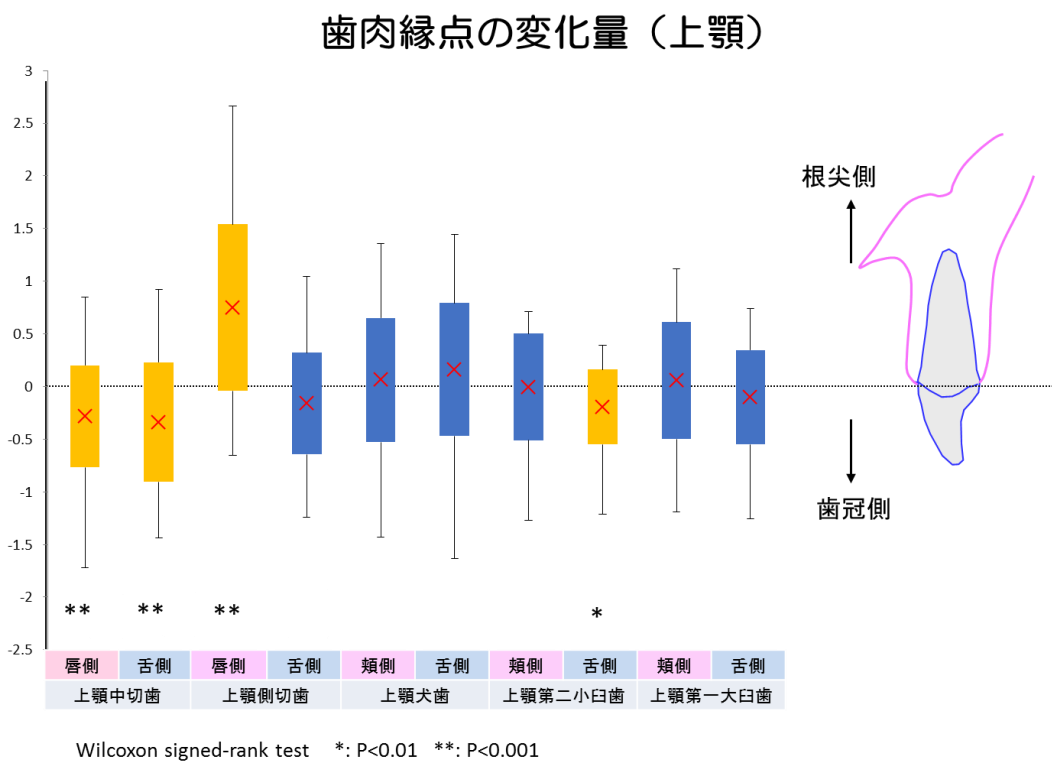
(图 4)



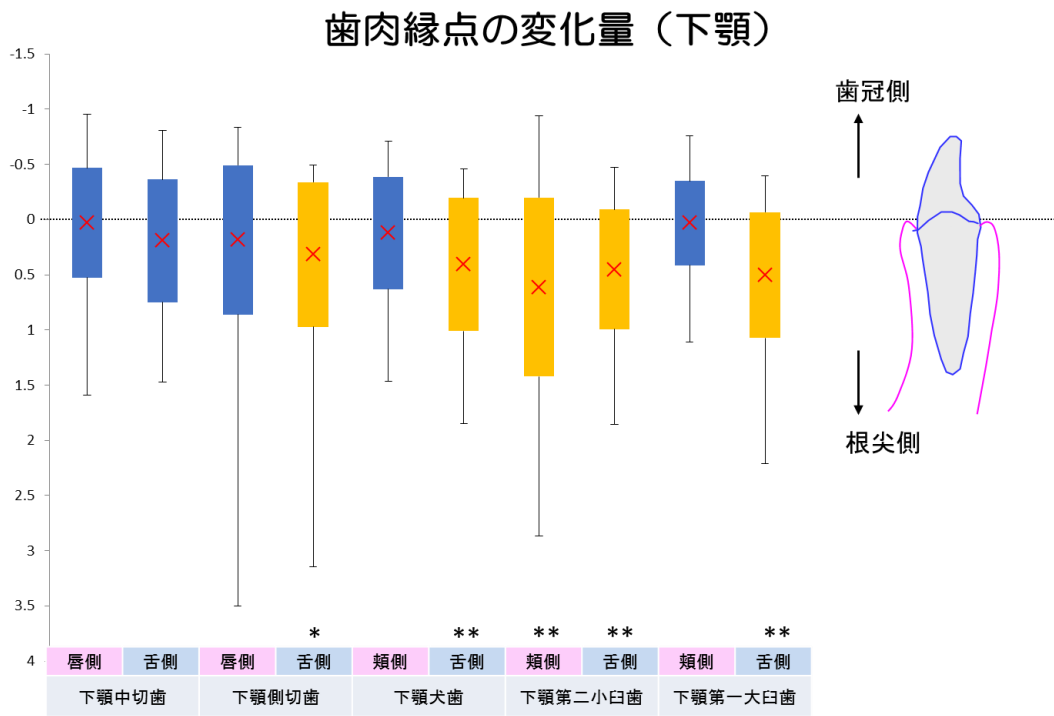
(图 5)



( 図 6 )

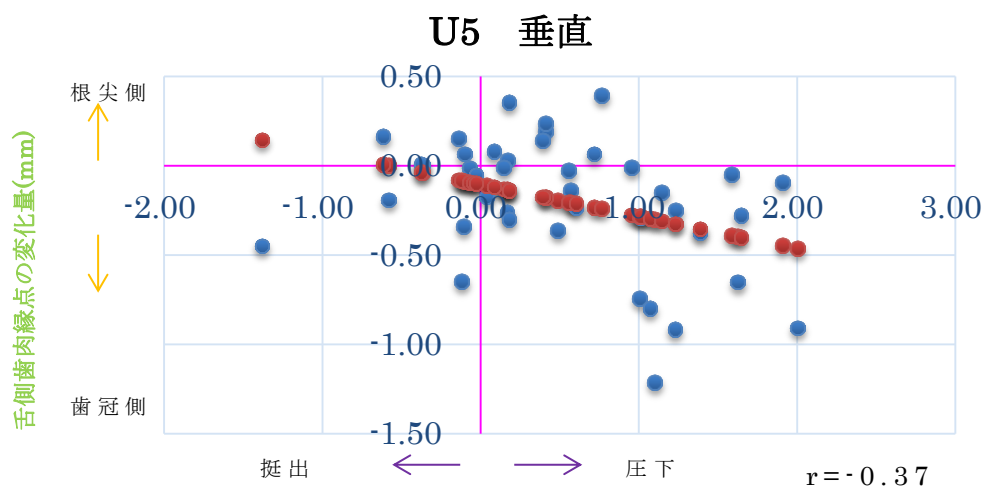
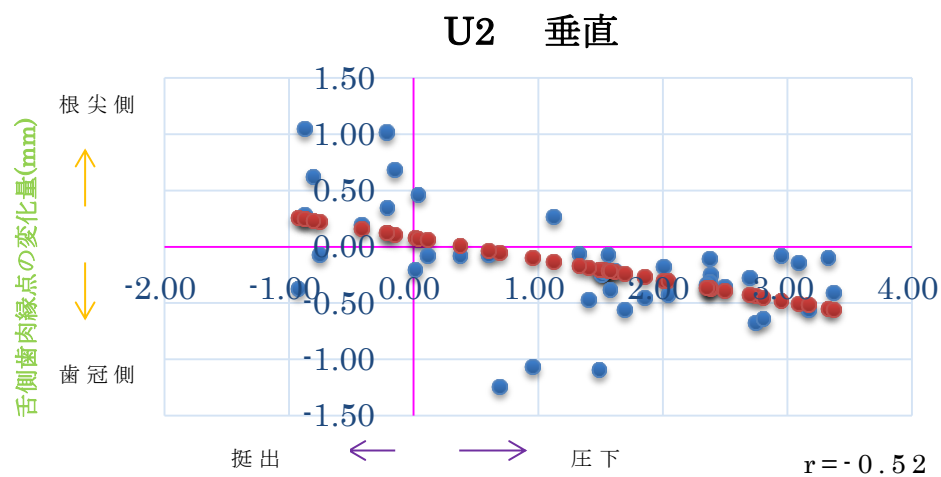
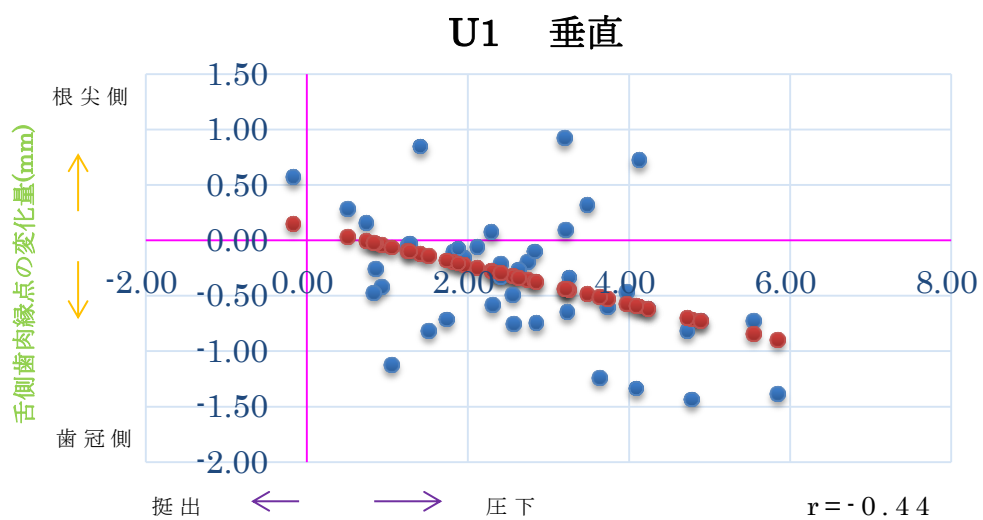


( 図 7 )



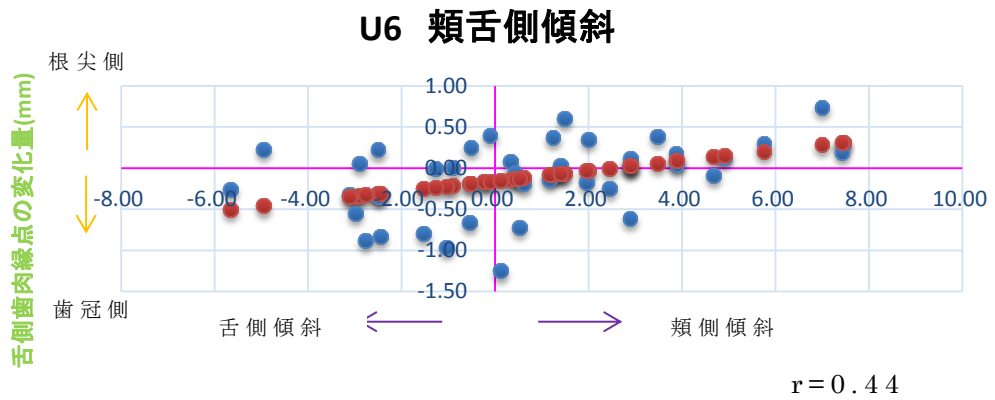
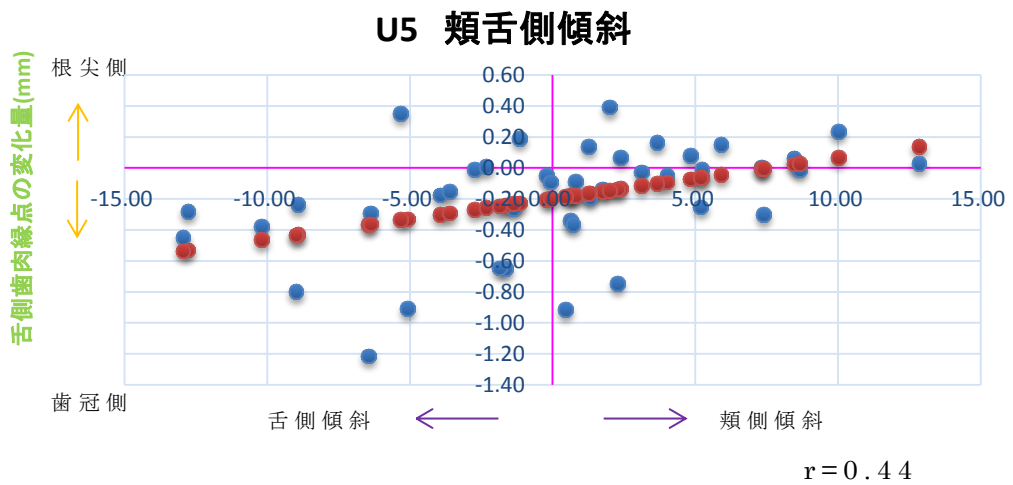
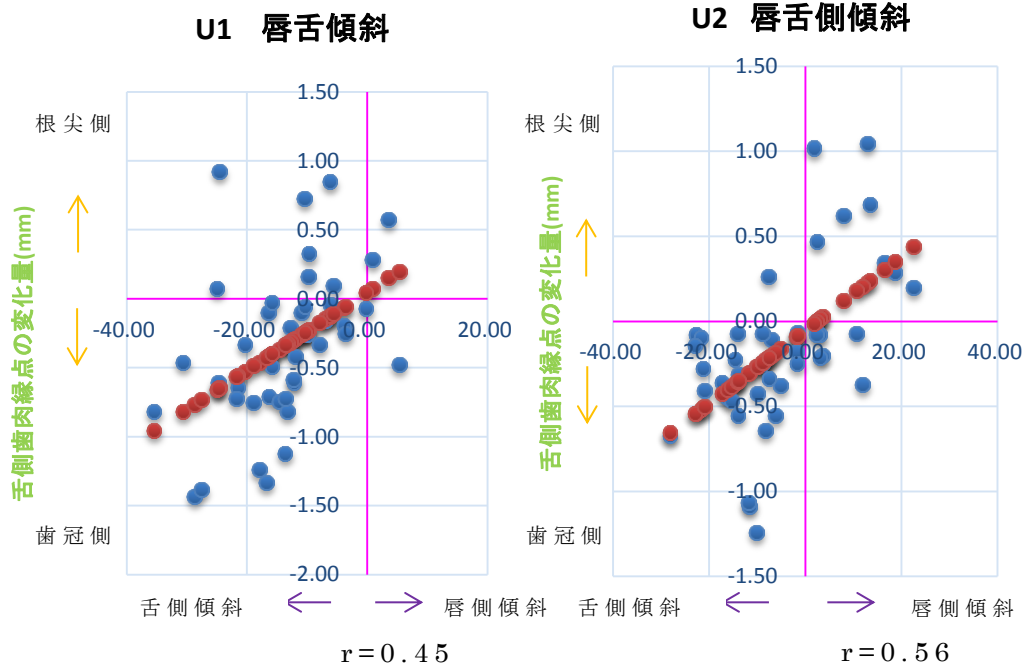
Wilcoxon signed-rank test    \*: P<0.01    \*\*: P<0.001

( 図 8 )



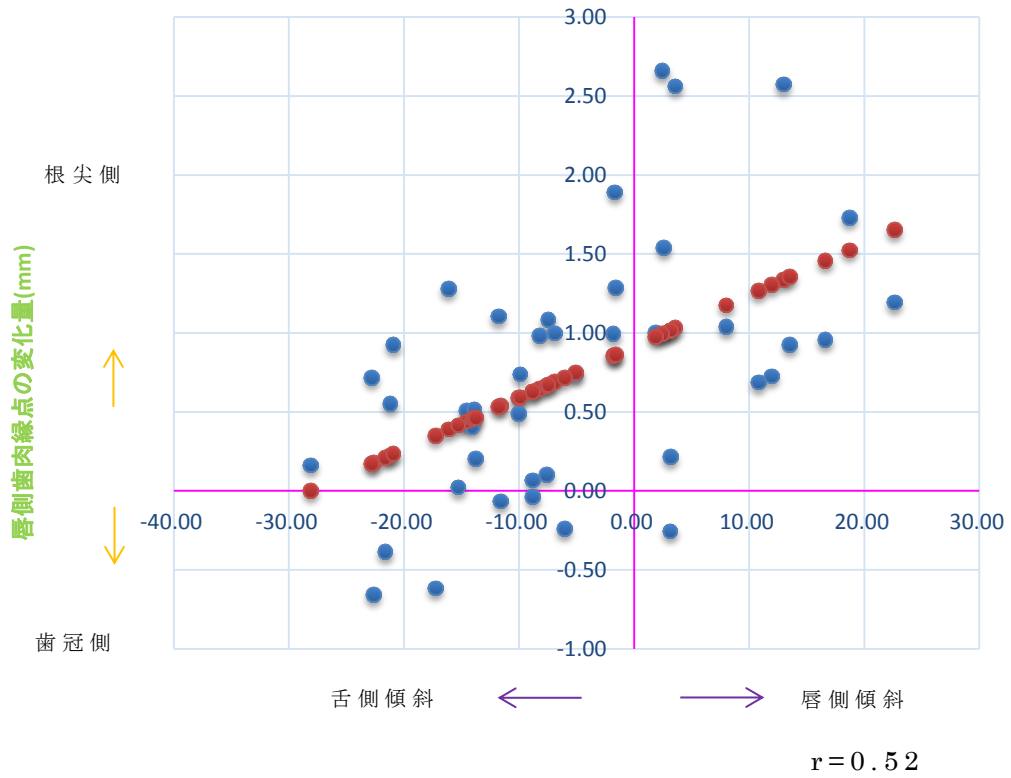


( 図 9 )

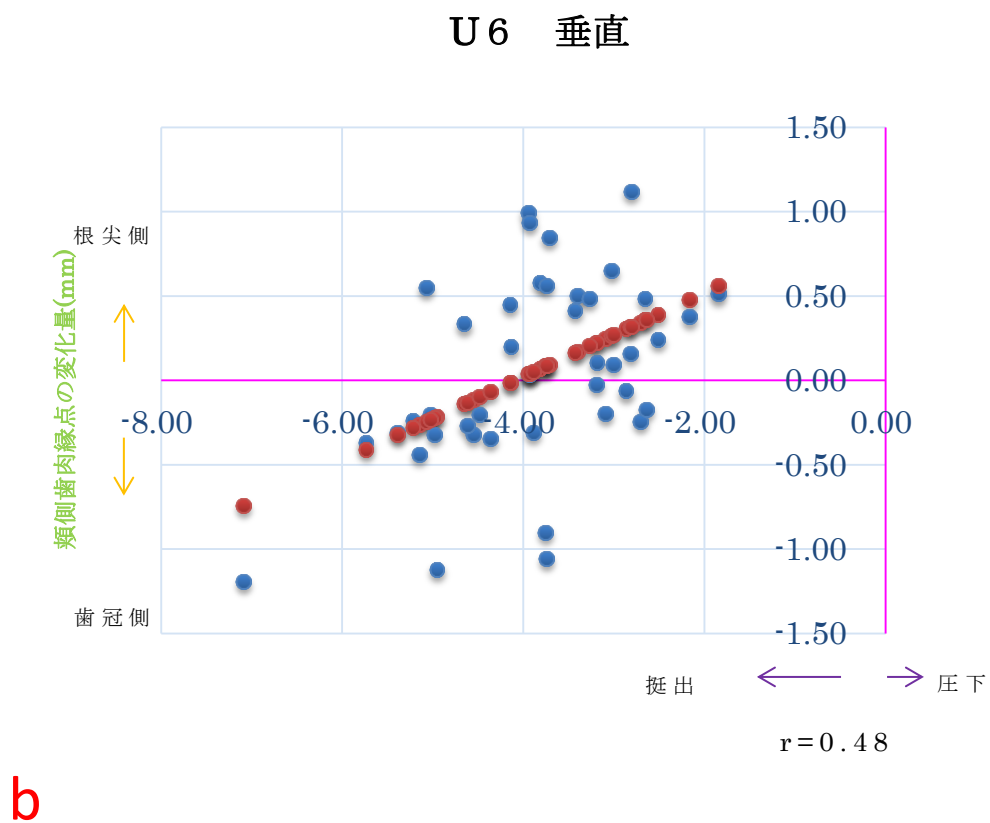
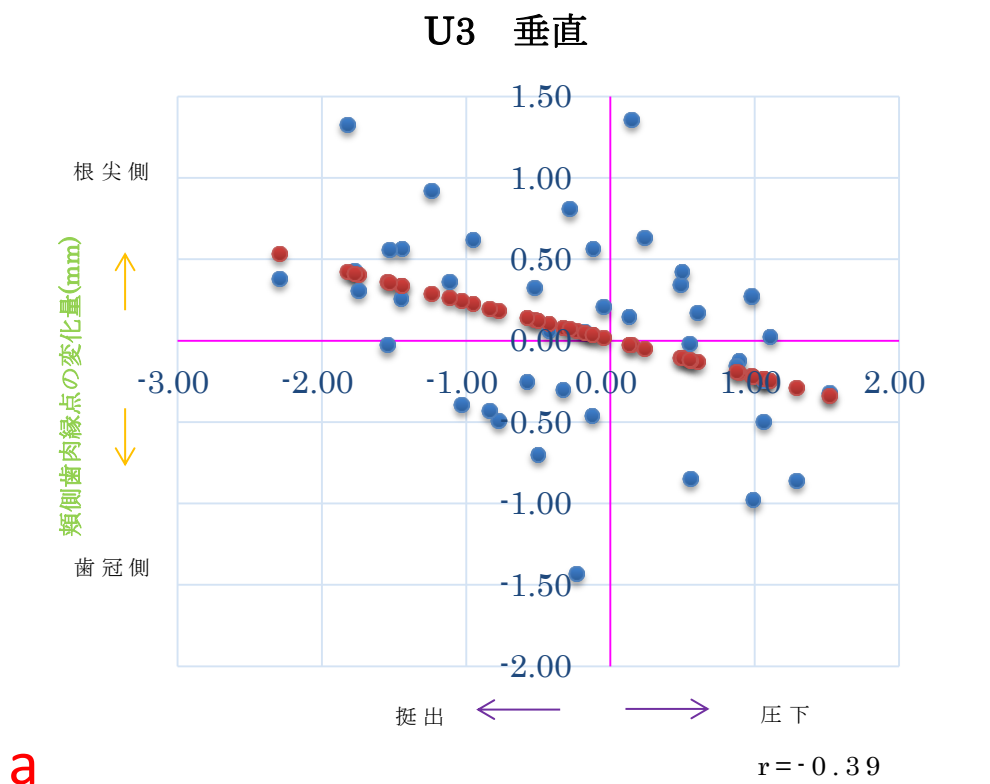


( 図 10 )

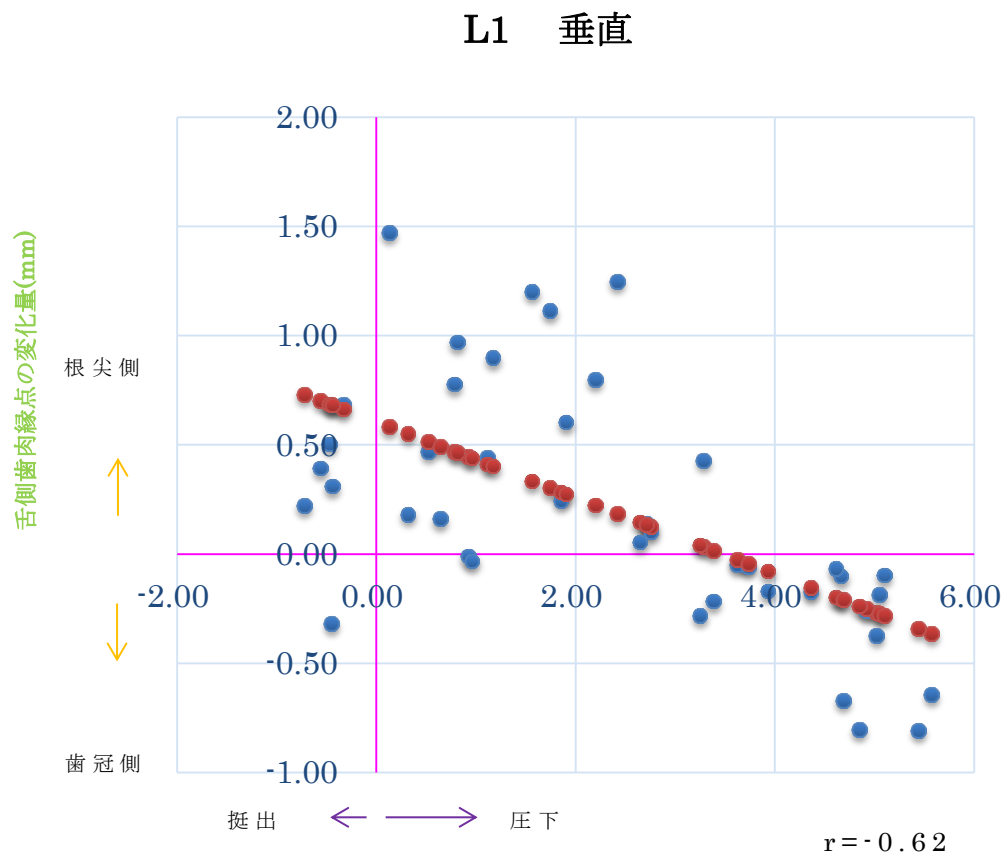
### U2 唇舌側傾斜



( 図 11 )

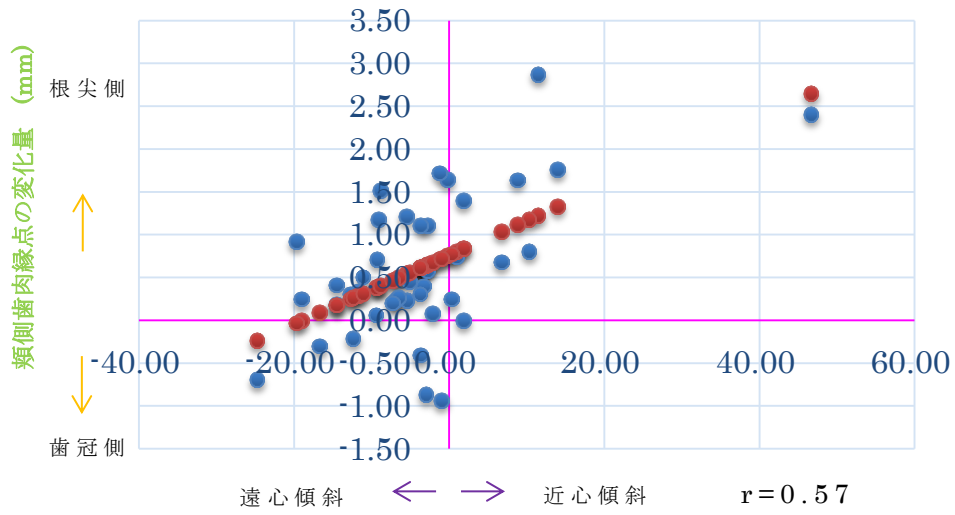


( 図 12 )



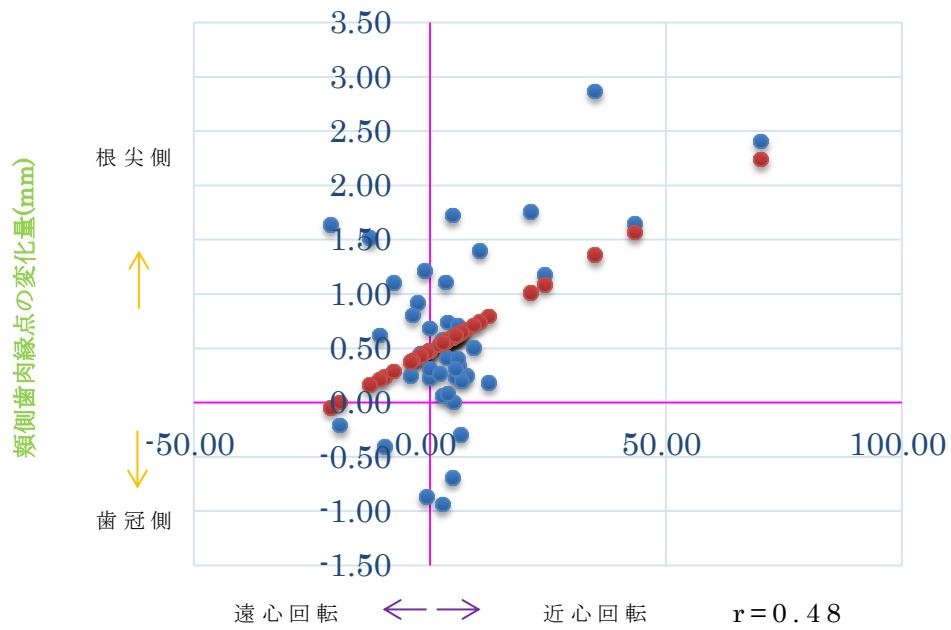
( 図 13 )

### L5 近遠心傾斜



**a**

### L5 水平面回転角



**b**