

神奈川歯科大学大学院歯学研究科
2016年度 博士論文

歯列模型三次元デジタル画像を用いた
上顎急速拡大の評価

2017年3月3日

窪田 めぐみ

Megumi Kubota

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

歯列模型三次元デジタル画像を用いた
上顎急速拡大の評価

2017 年 3 月 3 日

窪田 めぐみ

Megumi Kubota

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

【緒言】

上顎歯列弓の狭窄は、多くの不正咬合に共通して認められる問題であり、口腔機能の発達障害や鼻腔通気障害との関りが指摘されている。歯列弓形態と叢生との関わりを検討した研究では、叢生には歯列弓の狭窄が関わりと報告された¹⁻³⁾。Ⅲ級不正咬合の歯列石膏模型を正常咬合のものと比較検討した研究では、Ⅲ級症例では歯列弓幅径と歯槽基底幅径ともに狭窄が認められ、急速拡大法の適用が推奨されている⁴⁾。特にⅡ級 1 類症例において上顎歯列弓の狭窄が認められるとの報告⁵⁻⁷⁾が多く、その原因が上顎骨歯槽基底部の狭窄によるとの報告⁸⁻¹²⁾が多いことより、上下歯列弓の調和を図るためには上顎骨を拡大することが重要な手法であると考えられる。

矯正臨床では上顎歯列の拡大装置として、拡大ねじを正中部に設置した可撤式の床タイプの緩徐拡大装置、大臼歯の帯環に 0.9 mm の矯正ワイヤーを蠟着したクワドヘリックス、および急速拡大 Rapid Maxillary Expansion (以下 RME) 装置が用いられる (図 1 a, b, c)。RME は、通常は 1 日に拡大ねじを 1/4～1/2 回転、0.2～0.4 mm 断続的な拡大を行う。週に 1 回程度 0.2 mm の拡大を行う緩徐拡大装置では断続的な歯槽性の拡大が、クワドヘリックスでは持続的な歯槽性の拡大が行われるのに対し、RME では急速な拡大を歯の移動で干渉することができず正中口蓋縫合と上顎骨周囲縫合部に応力が集中するため骨格性の拡大が達成される。

RME は 1860 年に Angell¹³⁾ によって報告されて以来数多くの臨床報告がある

¹⁴⁻¹⁹⁾。我が国においては Korkhaus ²⁰⁾によって紹介されて以来使用されている装置であり、装置を維持する金属製の帯環と太いワイヤー、拡大ねじから構成される ²¹⁾。主に正中口蓋縫合を拡大ねじで 4500～9000g の強い力で離開し広げることで、上顎骨および歯列弓の側方拡大を行う。また、正中口蓋縫合のみならず頬骨弓周辺縫合部や上顎骨周辺縫合部にも影響を及ぼすことが報告されている ^{17, 22, 23)}。正中口蓋縫合部に作られた空隙は初期では組織の浸出液と血液で満たされている。拡大終了後の保定期間の 3～4 か月間で新生骨が正中口蓋縫合部に満たされ、正中に生じた空隙は減少または消失するといわれている ²⁴⁾。RME による上顎歯列弓の拡大は、アーチレングスディスクレパンシーを改善し歯の配列スペースを獲得し臼歯部交叉咬合の改善に役立つ ²⁵⁾一方、機能的には舌房の容積を回復することで嚥下など口腔機能の改善に関わる ^{26, 27)}。上顎急速拡大は口腔の狭窄を改善するばかりでなく鼻腔容積の拡大効果が報告されており ^{28, 29)}、鼻腔通気障害の改善に役立つことがある ^{30, 31)}。また上顎骨の狭窄による鼻腔通気障害が、口呼吸を引き起こし低位舌の原因となる可能性が指摘されている ³²⁾。このように上顎歯列弓の狭窄を伴う不正咬合では、上顎骨の幅径を正常に回復させることが重要であると考えられている。

一般的に加齢に伴い正中口蓋縫合のみならず上顎骨周囲縫合部の化骨癒合が進行することより ³³⁾、およそ 17 歳以降は骨格性の拡大は困難となるとされており ³⁴⁾、成人症例に対しては Le-Fort I Corticotomy 等の手術併用による急速拡大 (Surgically Assisted RME) が適用される ³⁵⁾。適用年齢の限界は個体差

が大きく不正咬合のタイプによっても異なると考えられるが、近年加齢に伴い正中口蓋縫合はその嵌合状態など形態が複雑化してくるものの、化骨により閉鎖している部位は少ないとの新たな知見が報告された³⁶⁾。また従来の歯に支持を求めて拡大する様式ではなく、歯科矯正用アンカースクリューを利用した骨支持による RME が考案されており、その有用性と年齢の高い症例への適応が報告されている³⁷⁾。このように上顎骨周囲の縫合部に関する知見が蓄積され、拡大装置の様式も多様化する中、RME の効果を再検証する意義は大きいと考えられる。

急速拡大法の効果を知る目的で、歯列および顎骨の形態的变化に関し検討されてきた³⁸⁻⁴²⁾。二次元診断として行われてきた研究は側面、正面頭部エックス線規格写真を用い歯軸傾斜、拡大量の変化を拡大前後で重ね合わせて比較しているもの⁴³⁾や、拡大前後の歯列石膏模型上でランドマークを設定し、距離計測を行っているものが数多くみられた³⁸⁾。それらによると、側面、正面頭部エックス線規格写真を用いた研究では中切歯、臼歯の傾斜や拡大量が評価されている。三次元診断としては CT が用いられることが多いが⁴⁴⁾、放射線感受性の高い小児に短期間で頻回の撮影は問題がある。近年、歯列石膏模型の表面形状を短時間かつ高精度で記録する 3D スキャナーが普及してきており、様々な臨床応用が試みられている。

今回我々は 3D スキャナーによる歯列石膏模型の形態評価が、臨床上で有用性の高い三次元情報を提供すると考え、急速拡大法の治療評価への適用を試み

た。本研究の目的は、歯列石膏模型の三次元デジタル画像を用い急速拡大法に伴う上顎歯列及び口蓋と歯槽基底部の形態変化を三次元的に評価する新たな手法の確立とその応用にある。

【研究資料および方法】

1. 研究資料

神奈川歯科大学附属横浜クリニック矯正科の外来患者において、矯正診断により上顎骨の狭窄が認められ、上顎歯列弓拡大のために RME (Hyrax type) の適用が必要と判断された症例を抽出し、診断目的で採得された拡大前後の歯列石膏模型を研究対象とした。資料の内訳として初診時平均年齢 8 歳 3 ヶ月 (6 歳 9 か月～13 歳 5 か月) の 24 名 (女児：14 名、男児：10 名) であった。また、本資料は以下の選択基準を満たすものとした。

- 1) 第一大臼歯、中切歯が萌出を完了していること。
- 2) 顎発育や歯列不正と関わる口唇口蓋裂等の疾患を有していないこと。
- 3) 将来の外科矯正治療を計画するような、強い顎変形を認めないこと。
- 4) 全身的既往歴がないこと。

(図 2a, b) に急速拡大装置適用前後の口腔内写真の一例を、(図 2 c, d) にオクルーザルエックス線写真を示す。第一大臼歯に帯環を装着し、側方歯部全体をワイヤーで取り囲みボンディング固定し、これら維持部に拡大ねじをその中央離開部が正中口蓋縫線と一致するようロウ着固定した。拡大は、拡大ねじを 1 日 1 回、1/4 回転し (90 度 ; 0.2 mm)、上顎歯列弓の狭窄が改善されるまで行った。資料は初診時 (T1)、拡大終了時 (T2) に採得した歯列石膏模型で、補足資料として口腔内写真、オクルーザルエックス線写真を採得した。

なお本研究は、神奈川歯科大学研究倫理審査委員会による承認を受け行った

(承認番号：第 338 号)。

2. 研究方法

採得した上顎歯列石膏模型を 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) (図 3a) で三次元計測し、歯列表面形状三次元 STL モデル (以下 STL モデル、図 3b) を得た。

RME 適応前後の歯列石膏模型を観察すると、口蓋と歯列弓全体が正中口蓋縫線を中心に対称的に側方拡大し伸展されており、口蓋皺壁などの構造は前後的に大きな変化が認められなかった。そこで今回の急速拡大の治療評価は、上顎歯列弓、歯槽基底部および口蓋部の拡大は口蓋軟組織の正中口蓋縫線を中心として対称に行われていることを前提とした。STL モデルの計測に先立ち、RME のねじ拡大量 (RME-W) を計測した。

-拡大前後の STL モデルの重ね合わせ-(図 4)

急速拡大の治療評価のため、拡大前後の STL モデルを以下の手法により重ね合わせた。

咬合面観において、両側第三口蓋皺壁の内側点から正中口蓋縫線に引いた垂線の中点相当で、正中口蓋縫線上の点を正中前方点とした。

同様に、両側第一大臼歯舌側咬頭頂から正中口蓋縫線に引いた垂線の前後的中点相当で、正中口蓋縫線上の点を正中後方点とした。また、正中前方点と正中

後方点を結ぶ直線を、正中基準線とし設定した。さらに、硬口蓋深部の水平領域において正中口蓋縫線の両側約 3 mm の位置で、正中基準線に対し前後的に一致する第一大臼歯近心相当の口蓋側方点を設定し、左右を結んだ直線を水平基準線とした。

STL モデルを拡大前 STL モデル(以下、STL-T1)と拡大後 STL モデル(以下、STL-T2)とする。STL-T1 と STL-T2 を正中基準線が重なるよう、前後的には正中前方点が一致するよう、また正中基準線を軸に拡大前後の水平基準線が平行となるよう重ね合わせた。

-分析座標系の設定-(図 5)

次いで拡大評価のための分析座標系を、以下の手法により決定した。

拡大前の上顎両側中切歯近心隅角点の中点を原点とし、上顎両側第一大臼歯中央窩と原点を通る平面を咬合平面とし設定した。両側第一大臼歯中央窩の中点を求め原点と結んだ直線を Y 軸、咬合平面上で原点を通り Y 軸に垂直な直線を X 軸、原点を通り咬合平面に垂直な直線を Z 軸とし、咬合平面基準分析座標系を設定した。

-計測点- (図 6a)

1) 歯列の計測

STL-T1 モデル上で、以下の歯の計測点の座標値を計測した。

上顎両側中切歯の近心隅角点および遠心隅角点、唇側および舌側の歯頸部最下点。

上顎両側第一小臼歯もしくは第一乳臼歯の辺縁隆線近心・遠心点、頬舌側の歯頸部最下点。

上顎両側第一大臼歯の辺縁隆線近心・遠心点、頬舌側の歯頸部最下点。

歯槽基底部と口蓋軟組織に関して、STL-T1 および STL-T2 のモデル上で、以下の計測点の座標値を計測した。

2) 歯槽基底の計測 (図 6b)

前歯部から臼歯部にかけての、唇側または頬側の歯槽基底部根尖相当点

3) 口蓋軟組織の計測

切歯乳頭最大豊隆点。両側第一、第三口蓋皺壁の外側点および内側点。

-仮想歯軸の設定と仮想根尖点の算出- (図 7)

STL-T1 を用い、以下の手法により仮想歯軸および仮想根尖点の設定を行った。

中切歯に関し、切縁の近心・遠心隅角点の中点、唇側と舌側歯頸部最下点の中点を求め、両中点を通る直線を仮想歯軸と設定した。同様に第一大臼歯に関し、辺縁隆線近心・遠心点の中点、頬側と舌側歯頸部最下点の中点を求め、両

中点を通る直線を仮想歯軸とした。

仮想歯軸上に上顎の中切歯および第一大臼歯の平均的歯牙長を代入し⁴⁵⁾ 仮想根尖点を算出した。

-歯の移動解析- (図 8)

拡大前後の歯の移動を評価するため、STL-T1 上で対象歯の歯冠部を切り出し、ICP 法⁴⁶⁻⁴⁸⁾を用いて STL-T2 上の同側同名歯の歯冠部に重ね合わせた。歯の移動マトリックスを取得したのち、STL-T1 上で計測した拡大前 (T1) の各計測点座標を三次元アフィン変換し⁴⁹⁾、STL-T2 上に拡大移動後 (T2) の対応点の座標を決定した。STL-T1 で行った前述と同様の手法で STL-T2 上に仮想歯軸および仮想根尖点を算出し移動評価を行った。

中切歯と第一大臼歯の仮想歯軸を前頭面 (XZ 平面) に投影し、矢状面 (YZ 平面) との成す角度を求め、拡大に伴う変化を検討した。

- 1) 中切歯仮想歯軸の傾斜角 (IA_x-I)
- 2) 大臼歯仮想歯軸の傾斜角 (MA_x-I)

第一大臼歯の仮想根尖点の拡大に伴う移動変化を検討した。

- 1) 中切歯の仮想根尖点間距離 ($I_{Ap}-W$)
- 2) 大臼歯の仮想根尖点間距離 ($MA_{Ap}-W$)

-計測項目-

急速拡大に伴う治療変化を評価する目的で、計測点を咬合平面分析座標へ座標変換し、以下の計測を行った。

1) 歯列弓幅径 (X 値) (図 9a)

中切歯間距離 (ID-W) : 中切歯の近心・遠心隅角点の midpoint の左右間距離

小臼歯間距離 (PD-W) : 第一小臼歯 (第一乳臼歯) の辺縁隆線近心・遠心の midpoint の左右間距離

大臼歯間距離 (MD-W) : 第一大臼歯の辺縁隆線近心・遠心の midpoint の左右間距離

2) 歯槽基底幅径 (X 値) (図 9b)

小臼歯歯槽基底幅径 (PAB-W) : 第一乳臼歯または第一小臼歯部の歯槽基底幅径

大臼歯歯槽基底幅径 (MAB-W) : 第一大臼歯部の歯槽基底幅径

3) 口蓋皺壁間距離 (X 値) (図 9c)

第一口蓋皺壁の内側点間距離 (1stRI-W) および外側点間距離 (1stRO-W)

第三口蓋皺壁の内側点間距離 (3rdRI-W) および外側点間距離 (3rdRO-W)

STL-T1 と STL-T2 上で 1)2)3)の計測を行い、拡大に伴う変化量を算出した。

4) 垂直的变化 (Z 値) (図 10a)

拡大に伴う以下の計測点の垂直的移动を評価した。

- (1) 中切歯の近心・遠心隅角の中点 (ID-Z) および第一大臼歯の辺縁隆線近心・遠心の中点 (MD-Z)
- (2) 切歯乳頭最大豊隆点 (IP-Z)

5) 前後的变化 (Y 値) (図 10b)

拡大に伴う以下の計測点の前後的移动を評価した。

- (1) 中切歯の近心・遠心隅角の中点 (ID-Y) および第一大臼歯の辺縁隆線近心・遠心の中点 (MD-Y)
- (2) 中切歯部の歯槽基底根尖相当点 (IAB-Y)
- (3) 切歯乳頭最大豊隆点 (IP-Y)

-計測誤差-

本研究における三次元スキャナー計測、三次元分析ソフトによる計算、PC 画面上での計測、測定精度と機差の全てを含む計測誤差を以下の方法により求めた。

今回の研究対象のうち、無作為に抽出した 20 症例の上顎歯列石膏模型を対

象に、ノギス KANON(株式会社中村製作所、東京)による実体石膏模型上での幅径の計測、STL モデル上での同一幅径の計測を行った。計測は術者間の誤差をなくするため、同一術者によって同一症例の各項目を1回目の計測から1週間後にもう一度、計2回行った。誤差検定の対象は、歯列弓幅径として ID-W と両側第一大臼歯辺縁隆線近心・遠心の midpoint 間距離の拡大変化量 (ICP 法による歯冠部の重ね合わせ誤差を反映)、および歯槽基底および口蓋軟組織の距離として MAB-W と 3rdRO-W (拡大前後の計測点取得の再現性を反映) であった。STL モデルの計算値とノギス計測による実測値の1回目と2回目の誤差(表1)、STL モデルの計算値とノギス計測の繰り返し精度(表2)、STL モデルの拡大量とノギス計測による拡大量の1回目と2回目の誤差(表3)をそれぞれ求めた。

計測誤差は次に示す Dahlberg の公式 (1940) ⁵⁰⁾ を用いた。

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

信頼度係数は Houston の公式 (1983) ⁵¹⁾ を用い計算した。

-統計解析-

各計測項目の計測部位の差、拡大前後および計測項目間の差の検定には、Wilcoxon の符号順位検定を用いた。

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】

急速拡大法により全ての症例において、オクルーザルエックス線により正中口蓋縫合の離開、開大が認められた。肉眼的観察からは、正中口蓋縫合の離開度は後方より前方で大きく明瞭であった。(図 2a, b)

-計測誤差-

石膏模型の実測値と STL モデルの計算値の計測誤差 (S.E.) と信頼度係数 (C.R.) を検討した。第一大臼歯部分で S.E. が 0.3 mm、C.R. が 99.4% であった。MAB-W では S.E. が 0.5 mm、C.R. が 98.1% であり、ID-W では S.E. が 0.2 mm、C.R. が 98.1%、3rdRO-W では S.E. が 0.5 mm で C.R. が 99.0% であった (表 1)。

STL モデルの幅径 1 回目の計測と 2 回目の計測の差の検討も行った。第一大臼歯部分の計測 1 回目と 2 回目の差は平均 0.1 mm (0.0~0.4 mm) で、S.D. が 0.1 mm であった。MAB-W では平均 0.1 mm (0.0~0.2 mm) で、S.D. が 0.1 mm であった。ID-W では平均 0.2 mm (0.0 mm~0.6 mm) で、S.D. が 0.2 mm であった。3rdRO-W は平均 0.1 mm (0.0~0.3 mm) で、S.D. が 0.1 mm であった (表 2)。

STL 計測とノギス計測による拡大量計測の精度も検討した。STL 計測において拡大量計測 1 回目と 2 回目の差は左右第一大臼歯間距離で平均 0.0 mm (0.0~0.0 mm) であり、S.D. も 0.0 mm であった。左右中切歯間距離においては、平均 0.0 mm (0.0~0.1 mm) で、S.D. は 0.0 mm であった (表 3)。

-歯列弓幅径と歯槽基底部幅径の拡大変化-(表 4)

RME-W は拡大ねじの拡大量であり、実際の拡大量となる。RME-W は平均 7.0 mm (4.6~10.0 mm) 拡大し、PD-W と MD-W の変化はそれぞれ平均 6.9 mm (5.1~9.7 mm) と 7.1 mm (4.3~10.4 mm) であり、拡大前後で有意に拡大されていた ($P<0.001$)。一方、ID-W は平均 -0.1 mm (-2.4~1.3 mm) で、中切歯の歯冠部が拡大されておらず、拡大前後で有意差は認められなかった。また、PAB-W と MAB-W の変化はそれぞれ平均 4.9 mm (2.8~7.7 mm) と 5.3 mm (2.8~9.0 mm) で、歯槽基底部も有意に拡大されていた ($P<0.001$)。

-垂直的变化と前後的变化-(表 5)

中切歯の拡大前後の変化に関して、ID-Z では平均 0.5 mm (-1.4~1.8 mm) であり、ID-Y では平均 -0.2 mm (-1.4~2.1 mm) で、舌側に移動および挺出しているものが多くみられた。IAB-Y の唇舌的な変化を見ると、平均で -1.0 mm (-3.9~1.3 mm) であり、口蓋側に移動していた。

第一大臼歯の拡大前後の変化は MD-Z では平均 0.0 mm (-1.0~1.0 mm) 挺出していた。また、MD-Y は平均 -0.3 mm (-2.1~1.0 mm) であった。第一大臼歯の移動変化に関し、垂直・近遠心移動に有意差は認められなかった。

切歯乳頭の拡大前後の変化に関し、IP-Z は平均 -0.3 mm (-1.2~0.7 mm) であり、根尖側へ移動していた ($p<0.001$)。IP-Y は平均 -0.2 mm (-1.5~1.4 mm) であり遠心側へ移動していたが、拡大前後で有意差は見られなかった。

-仮想歯軸と仮想根尖点の拡大変化-(表 6)

IAx-I の左右側合わせた傾斜角は平均-6.0 度 (-14.3~2.7 度) で、1 症例の右側を除いて拡大後すべて近心傾斜していた ($p<0.001$)。MAx-I の左右側合わせた傾斜角は平均 3.9 度 (-1.1~15.1 度) で、一症例を除いてすべて頬側傾斜していた ($p<0.001$)。

仮想根尖点の変化は、IAp-W は有意に拡大されており ($p<0.001$)、平均 3.8 mm (0.4~5.6 mm) であった。Map-W も有意に拡大されており ($p<0.001$)、平均 4.2 mm (0.9~8.9 mm) であった。

-第一大臼歯の拡大前後の変化比較-(図 11)

RME-W と MD-W には有意差がなく、MAp-W の拡大量は RME-W、MD-W と比較し有意に小さく ($p<0.01$)、仮想根尖部の拡大量が歯冠部の半分程度であった。MAB-W も同様に RME-W、MD-W と比較し拡大量は有意に小さく ($p<0.01$)、歯槽基底部の拡大量は歯冠部の 7 割程度であった。

-中切歯の拡大前後の変化比較-(図 12)

ID-W はほぼ拡大前後で拡大量に変化がなく、IAp-W も拡大量が RME-W の 6 割程度であった。両者を比較すると、IAp-W で拡大量が多くみられた ($p<0.01$)。

-口蓋軟組織の変化-(図 13)

1stRI-W、1stRO-W、3rdRI-W、3rdRO-W の全て拡大前後で有意に拡大していた ($p<0.001$)。1stRI-W と 3rdRI-W の変化は平均 1.1 mm (0.1~2.2 mm) と 1.7 mm (0.0~5.3 mm)、1stRO-W と 3rdRO-W の変化は平均 4.0 mm (1.0~5.7 mm) と 4.4 mm (1.8~8.5 mm) であった。1stRO-W と 3rdRO-W の拡大量に、有意差はみられなかったが、1stRI-W と 3rdRI-W の拡大量で有意差が見られた ($p<0.05$)。しかし、RME-W と比較すると拡大量は全て有意に小さかった ($p<0.01$)。

【考察】

-研究資料について-

上顎の急速拡大の評価のため、頭部エックス線規格写真や CT を研究資料として用い拡大治療効果を検討した研究が報告されている。CT では上顎骨周囲の縫合部、頬骨弓など RME による顎顔面骨格や歯列の三次元的な変化が詳細に評価できるが、RME 使用期間は平均 3 か月ほどであり、エックス線感受性の高い小児に対し短期間で頻回の撮影は放射線被曝の問題がある⁵²⁾。今回研究資料とした歯列石膏模型は、放射線被曝などのリスクが無く比較的患者にする負担が小さく、診査診断のため日常的に採得する資料のため利用価値が高く、後ろ向き研究に有用であると考えられる。

-計測誤差について-

計測誤差に関し、今回はノギスによる歯列石膏模型の実計測と STL モデル上の計測値を比較することで正確性 (Accuracy) を、STL モデル上での繰り返し計測により再現性 (Precision) を検証した。歯槽基底と口蓋軟組織の幅径に関し STL モデルと歯列石膏模型の誤差は平均 0.6 mm (0.0~2.3mm) と、平均 0.4 mm (0.0~2.7 mm) であり、信頼度係数はどちらも 98% 以上であった (表 1)。両計測間に有意差が認められなかったことより、STL モデル上での計測は、実測値との誤差が小さく正確性を有していると考えられる。

歯列の計測（ID-W、第一大臼歯頬側歯頸点間距離）の拡大変化量に関し、実測と STL 計測それぞれについて 2 回計測することで、繰り返し精度を求めた。STL の計測誤差は実測の誤差よりも小さく、再現性に優れ高精度な計測法であると考えられる(表 3)。佐倉らの研究⁵³⁾によると、計測者内誤差は各計測点の定義があいまいか、実際定義上の点を計測するのが困難である場合に起こり、計測者間誤差は各計測点の定義の不完全性によるものであると述べている。しかし、今回の歯列弓幅径の変化量は、STL-T1 上での歯の計測、ICP 法による歯冠の重ね合わせにより求められたことより、計測誤差は ICP 法による歯冠重ね合わせの精度によるところが大きいと考えられる。よって計測を同一計測者でなくとも、今回の計測法では変化量は誤差が少ないと考えられる。歯冠の重ね合わせに際し、歯冠隣接部など気泡や変形が表れやすい部位を対象外とし、拡大前後で形状が安定しており容易に認識可能な領域を選択している。3D スキャナーの精度に依存し、本法の重ね合わせはかなりの高精度で行われたと考えられる。

-RME 適用時期について-

RME の対象年齢は、正中口蓋縫合等の化骨癒合を考慮し第一大臼歯萌出～17 歳で利用されることが一般的である³⁴⁾。Persson ら³³⁾は、正中口蓋縫合部は年齢により Interdigitation、化骨癒合が進行し、顎整形力が適用しにくくなること、そして正中口蓋縫合の閉鎖は前方よりも後方部で早期進行し 20 歳台か

ら始まり個体差が大きいと報告している。Angelieri ら⁵⁴⁾は、11 歳でも正中口蓋縫合の認められた症例があったことを報告している。一方、Kokich⁵⁵⁾は前頭頬骨縫合の加齢に伴う癒合の進行を検討し、同縫合が 70 歳台まで認められ、95 歳でも完全に癒合することは無かったと報告している。Wehrbein H らの比較的新しい研究³⁶⁾では、切歯孔より 5～10 mm 後方部で正中口蓋縫合の閉鎖を検討し、エックス線診査で縫合閉鎖と判断された症例でも、組織学的所見で閉鎖しているものはかなり少なかったと報告している。

このように、RME の効果に抵抗する正中口蓋縫合および上顎骨周囲の縫合部の化骨癒合の化骨癒合時期については、いまだ統一見解が得られていない。しかしながら、臨床的経験からは成人症例で RME が奏功することはまれで、成人症例に対しては手術併用の RME (SARME) の適用³⁶⁾が検討される。近年、歯科矯正用アンカースクリューを利用した骨支持による RME が考案されており、成人のより高い年齢の症例において RME が奏功し、正中口蓋縫合の離開を伴う上顎骨の拡大変化が報告されている³⁷⁾。

上顎骨周囲の各縫合部に関する知見が蓄積し、RME の力系が多様化する中、本研究ではまず、縫合部の化骨閉鎖が開始していないと考えられる混合歯列期の個体を対象に、上顎の拡大変化を検討した。今回の結果を基礎データとし、縫合部の化骨閉鎖が進行し始めていると考えられる若年成人 (17 歳以降) や、SARME を適用した成人症例などとの比較検討が今後の課題である。

-RME 評価のための口蓋重ね合わせ法について-

治療前後の上顎の比較のため、口蓋形態を参照した重ね合わせを行った。先行研究により、口蓋の第三口蓋皺壁より後方の水平領域が経年的に安定しており、歯の移動評価のための重ね合わせ領域として利用価値があることを報告している⁵⁶⁾。しかしながら RME により口蓋の形態が拡大前後で変化するため⁵⁷⁻⁵⁹⁾、重ね合わせ法の設定が容易ではなく、今回は拡大が正中口蓋縫線を中心として対称に行われていることを前提とした。Choi ら⁶⁰⁾の報告によると、口蓋関心領域における重ね合わせ精度は、頭部エックス線規格写真のよる重ね合わせと同等であったことを報告している。本研究では設定した参照点を用い重ね合わせを行った後、肉眼的に詳細な観察を行い、口蓋が正中口蓋縫線を基準とし良好に重なっていること、対称性の拡大が達成されていること、口蓋皺壁は側方へ伸展されており前後的移動が認められないこと、を確認した。以上より今回の重ね合わせ法は、RME の拡大評価のため臨床的に十分な精度を有していると判断した。

-歯の移動解析に関し-

歯の移動解析は口蓋の重ね合わせ後、1) STL-T1 の対象歯歯冠の一部を切り出す、2) ICP 法にて STL-T2 の同側同名歯歯冠に重ね合わせる、3) 歯の三次元移動マトリックスを取得する、4) 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、5) 各歯の STL-T1 で設定した咬合平面座

標系で歯頸点と仮想歯軸の移動を評価する、という手順で行った。したがって本手法の利点は、1) 歯冠部の計測は STL-T1 上のみで行うこと、2) 精度検定で示されたように、ICP 法による歯冠の重ね合わせ法が高精度であること、3) 計測点、仮想歯軸、根尖点は取得した歯の移動マトリックスにより STL-T2 上の正確にアフィン変換されることで、これまで模型計測では不可能であったモデル上には表れない仮想根尖点の移動を予測できる、ことと考えられる。このような本手法の特徴から、STL 計測の繰り返し精度と比べ拡大変化量の繰り返し精度が高かったことは、納得いく結果であったと考えられる。

これまで歯軸や根尖点の確認は、頭部エックス線規格写真や CT により行われてきたが、歯列石膏模型でも確認できるという事は、拡大の評価のみならず様々な症例の治療評価にも有効活用できると考えられる。

-拡大評価の結果について-

歯槽性の変化をまとめると、実際の拡大量である RME-W と比較して PD-W と MD-W は同程度であり、有意差は認められなかった。一方歯槽基底部の PAB-W と MAB-W に関し、拡大量は PD-W と MD-W に比べ有意に小さく約 6～7 割程度であった。第一大臼歯について仮想歯軸の頬舌的傾斜度の変化量を見ると、拡大に伴い平均 3.9 度頬側傾斜しており、仮想根尖点の拡大量は歯槽基底部よりも小さかった。歯冠部の一点に側方力を適用すると、歯は根尖側の 1/3 付近を抵抗中心として傾斜移動する。急速拡大装置は、傾斜移動をなるべく避け顎整形力が

顎骨に効率よく伝搬するよう、主に側方歯に設定する装置の維持部を強固に固定するとともに、拡大ねじも剛性の高い構造となっている。Korkhaus らの報告²⁰⁾で、RME の利点として上顎骨の拡大が個々の歯の移動を伴わずに行われたとしたが、現在では側方歯は頬側傾斜を伴うとの認識が一般的であり^{17, 61, 62)}、本研究結果からも同様な結果が示された。ストレインゲージを用い急速拡大直後の頭蓋顔面複合体の歪み分布を検討した報告では、RME により上顎歯列側方歯は上顎骨の外上方への回転と歯槽骨の外側への変形を伴い頬側傾斜することが示されている⁴¹⁾。したがって RME を行った場合、上顎骨と各縫合部の抵抗により、副作用として側方歯の頬側傾斜が起きていることが示された。同時に起こる副作用として、維持歯の挺出が挙げられる¹⁹⁾。しかしながら今回の結果より、大臼歯の垂直的变化としての MD-Z に有意な変化は示されなかった。今回は混合歯列期の患者が対象であることより、加齢による縫合部の癒合があまり進行していないと考えられる。成人症例では歯の支持による RME により骨格性の拡大は困難とされており、その解決策として手術併用による RME (SARME) や、近年では歯科矯正用アンカースクリューを利用した骨支持による RME が行われている。今後は、維持歯の頬側傾斜や挺出といった副作用に関し、年齢との関わりや、SARME や骨支持との違いを検討していきたいと考えている。

側方歯の拡大量が拡大ねじと同等であった一方、中切歯は全く拡大されていなかった。仮想根尖点はねじ拡大量の半分強拡大されており、仮想歯軸の近心傾斜が認められた。RME 適用により、正中口蓋縫合の離開に伴い中切歯間も離

開してくる（図 2d）。通常は 2～3 週間で拡大の大部分は終了し、中切歯間の離開は 1～2 カ月で閉鎖してくる。RME の構造上、臼歯は装置の維持歯となっているが中切歯は装置による固定がなく、近心傾斜しやすい環境であると考えられる。また歯頸部にある歯槽頂上線維、特に歯間水平線維が拡大により強く進展され、その内部応力を開放するよう歯冠部の近心移動が起こったと考えられる⁶³⁾。歯槽基底部での拡大の変化に関し、側方拡大において第一大臼歯に次ぎ第一小臼歯部分での拡大量が大きかったのは拡大が V 字型に前方部で大きく拡大される⁶⁴⁾からではないかと考える。このことは歯槽骨が歯の移動に合わせてその形態を変えろと言う報告⁶⁵⁾より推測される。第一大臼歯は頰側移動と頰側傾斜しているため拡大量が最も大きいと思われる。

軟組織の変化で見てみると口蓋皺壁も拡大していることが確認できる。歯槽基底部の拡大により口蓋の軟組織も伸展されており、拡大量は第一皺壁より第三皺壁、内側よりも外側で大きくみられた。これは Peavy ら^{66, 67)}の報告で、矯正治療によっても口蓋皺壁の正中に近い部分は、変化が少ないというものと同様である。本研究は上顎骨全体の拡大を伴う為、内側部分でも拡大はされていたが外側よりも変化量が小さいという事が反映されているのではないかと考えられる。

今回の研究では混合歯列を対象としたが、今後は上顎骨周囲縫合部での化骨化が進んでいる場合での移動様相等さらなる検討も今後の臨床で応用できるの

ではないかと考える。

また、急速拡大装置は後戻りの問題もあるため^{21, 68)} 拡大直後の他に長期の保定期間での比較を検討したいと考えている。

【結論】

中切歯切縁点間距離と第一大臼歯仮想根尖点間距離以外は例外を除き拡大しており、歯列・骨格・軟組織すべてが拡大されていた。このように石膏模型上では実際の根尖点や歯軸の設定が困難だが、三次元モデルを使用することで拡大様相を詳細に評価する手法を確立することができた。拡大の評価も STL-T1 上での計測と ICP 法による歯冠部の重ね合わせで行ったため、ノギスで拡大前後の幅径を計測するよりも非常に高精度な結果を得られた。また CT を撮影せずに三次元評価できるため、被曝の観点からも低年齢の患者にとって有用であることが示唆される。

著者利益相反なし

【参考文献】

- 1) Tsai H. Dental crowding in primary dentition and its relationship to arch and crown dimensions. J Dent Child (Chic) 70:164-9, 2003.
- 2) Radnizic D. Dental crowding and its relationship to mesiodistal crown diameters and arch dimensions. Am J Orthod Dentofacial Orthop 94:50-6, 1988.
- 3) Howe R, McNamara J, O'Connor K. An examination of dental crowding and its relationship to tooth size and arch dimension. Am J Orthod 83:363-73, 1983.
- 4) Uysal T, Usumez S, Memili B, Sari Z. Dental and alveolar arch widths in normal occlusion and Class III malocclusion. Angle Orthod 75:809-813, 2005.
- 5) Qiong N, Jiuxiang L. A comparison of dental arch forms between Class II Division 1 and normal occlusion assessed by euclidean distance matrix analysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop 129:528-535, 2006.
- 6) Isabella T, Tiziano B, Lorenzo F, Camelia T. Role of posterior transverse interarch discrepancy in Class II, Division 1 malocclusion during the mixed dentition phase. Am J Orthod Dentofacial Orthop 110:417-422, 1996.

- 7) Al-Khateeb S, Abu E. Tooth size discrepancies and arch parameters among different malocclusions in a Jordanian sample. Angle Orthod 3:459-65,2006.
- 8) Uysal T, Memili B, Usumez S, Sari Z. Dental and alveolar arch widths in normal occlusion, class II division 1 and class II division 2. Angle Orthod75:941-7,2005.
- 9) Staley R, Stuntz W, Peterson L. A comparison of arch widths in adults with normal occlusion and adults with Class II, division 1 malocclusion. Am J Orthod 88: 163-169,1985.
- 1 0) Alarashi M, Franchi L, Marinelli A, Defraia E. Morphometric analysis of the transverse dentoskeletal features of class II malocclusion in the mixed dentition. Angle Orthod 73:21-25,2003.
- 1 1) Lux C, Conradt C, Burden D, Komposch G. Dental arch widths and mandibular-maxillary base widths in Class II malocclusions between early mixed and permanent dentitions. Angle Orthod 73:674-685,2003.
- 1 2) Huth J, Staley R, Jacobs R, Bigelow H, Jakobsen J. Arch widths in class II-2 adults compared to adults with class II-1 and normal occlusion. Angle Orthod 77:837-44,2007.
- 1 3) Angell E. Treatment of irregularity of the permanent or adult

teeth. J Am Dent Assoc 1:540-544, 1860.

- 1 4) Haas A. The treatment of maxillary deficiency by opening the mid-palatal suture. Angle Orthod 35:200-217, 1965.
- 1 5) Wertz R, Dreskin M. Midpalatal suture opening: a normative study. Am J Orthod 71:367-381, 1977.
- 1 6) Thomas G, Robert V. Orthodontics :Current Principles and Technique 3rd Edition, Mosby Inc, St. Louis, 521-555, 2000.
- 1 7) Cleall J, Bayne D, Posen J, Subtelny J. Expansion of the Midpalatal Suture in the Monkey. Angle Orthod 35: 23-35, 1965.
- 1 8) Thomas G, Robert V. Orthodontics :Current Principles and Technique 3rd Edition, Mosby Inc, St. Louis, 117-191, 2000.
- 1 9) Baydas B, Yavuz I, Uslu H, Dagsuy I, Ceylan I. Nonsurgical rapid maxillary expansion effects on craniofacial structures in young adult females. A bone scintigraphy study. Angle Orthod 76: 759-767, 2006.
- 2 0) Korkhaus G. Present orthodontic thought in Germany. Am J orthod 46:187-206, 1959.
- 2 1) Henry W. Fields Jr., David S, William P. Contemporary Orthodontics 4th Edition, Mosby Inc, St. Louis, 285-286, 2007.
- 2 2) Howard S, Douglas B, John C, Daniel. Facioskeletal And Dental

Changes Resulting From Rapid Maxillary Expansion. Angle Orthod
36: 152-164, 1966.

2 3) Murray J, Cleall J. Early tissue response to rapid maxillary expansion in the midpalatal suture of the rhesus monkey. J Dent Res 50:1654-1660, 1971.

2 4) Henry W. Fields Jr., David S, William P. Contemporary Orthodontics 4th Edition, Mosby Inc, St. Louis, 352-355, 560, 2007.

2 5) McNamara JA. Maxillary transverse deficiency. Am J Orthod Dentofacial Orthop 117:567-570, 2000.

2 6) Navya A, Sapna N, Ajith V, Namitha R. Dentofacial Effects of Rapid Maxillary Expansion. Amrita J Med 10:15-22, 2014.

2 7) James M, Roberta L, Lorenzo F, Fernanda A, Lucia M. Ali D, Paola C. The role of rapid maxillary expansion in the promotion of oral and general health. Prog Orthod 4:16-33, 2015.

2 8) Smith T, Ghoneima A, Stewart K, Liu S, Eckert G, Halum S, Kula K. Three-dimensional computed tomography analysis of airway volume changes after rapid maxillary expansion. Am J Orthod Dentofacial Orthop 141:618-26, 2012.

2 9) Garrett B, Caruso J, Rungcharassaeng K, Farrage J, Kim J, Taylor G. Skeletal effects to the maxilla after rapid maxillary

expansion assessed with cone-beam computed tomography. Am J Orthod Dentofacial Orthop 134:8-9,2008.

3 0) Doruk C, Sökücü O, Sezer H, Canbay E. Evaluation of nasal airway resistance during rapid maxillary expansion using acoustic rhinometry. Eur J Orthod 26:397-401,2004.

3 1) Enoki C, Valera F, Lessa F, Elias A, Matsumoto M, Anselmo-Lima W. Effect of rapid maxillary expansion on the dimension of the nasal cavity and on nasal air resistance. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 70:1225-30,2006.

3 2) 岩崎智憲. 小児期の上気道通気障害がもたらす顎顔面歯列咬合形態への影響と小児歯科からの睡眠医療への貢献. 小児歯誌 54:1-8, 2016.

3 3) Persson M, Thilander B. Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. Am J Orthod 72:42-52,1977.

3 4) Davis W, Kronman J. Anatomical changes induces by splitting of midpalatal suture. Angle Orthod 39:126-32,1969.

3 5) Henry W. Fields Jr., David S, William P. Contemporary Orthodontics 4th Edition, Mosby Inc, St. Louis, 698-701, 560, 2007

3 6) Wehrbein H, Faruk Yildizhan. The mid - palatal suture in young adults. A radiological - histological investigation. The Eur J Orthod 23:105-114,2001.

- 37) Seong Cheon Lee, Jae Hyun Park, Mohamed Bayome, Ki Beom Kim, Eustaquio A. Araujo, Yoon-Ah Kook. Effect of bone-borne rapid maxillary expanders with and without surgical assistance on the craniofacial structures using finite element analysis. Am J Orthod Dentofacial Orthop 145:638-648,2014.
- 38) Grassia V, d'Apuzzo F, Jamilian A, Femiano F, Favero L, Perillo L. Comparison between rapid and mixed maxillary expansion through an assessment of arch changes on dental casts. Prog Orthod 16-20,2015.
- 39) Hirate R, Negishi S, Saitoh K, Kasai K. Effects of Palatal Morphology on Rapid Maxillary Expansion during the Rapid Expansion Stage. Int J Oral-Medical Sci 12 : 161-170,2013.
- 40) Lagravere M, Major P, Flores-Mir C. Long-Term Dental Arch Changes After Rapid Maxillary Expansion Treatment: A Systematic Review. Angle Orthod 75:155-161,2005.
- 41) 加藤敬三, 川本達雄. 上顎急速拡大装置による頭蓋顔面複合体への生力学的影響について, 歯科医 58: 359-370, 1995.
- 42) Conroy-Piskai C, Galang-Boquiren M, Obrez A, Viana M, Oppermann N, Sanchez F, Edgren B, Kusnoto B. Assessment of vertical changes during maxillary expansion using quad helix or bonded rapid

maxillary expander. Angle Orthod.86:925-933,2016.

- 4 3) Letizia P, Alfredo R, Francesco I, Fabrizia A, Vincenzo G, Salvatore C. Comparison between rapid and mixed maxillary expansion through an assessment of dento-skeletal effects on posteroanterior cephalometry. Prog Orthod 15:46,2014.
- 4 4) Nada R, Fudalej P, Maal T, Bergé S, Mostafa Y, Kuijpers-Jagtman A. Three-dimensional prospective evaluation of tooth-borne and bone-borne surgically assisted rapid maxillary expansion. J Craniomaxillofac Surg 40 : 757-762,2012.
- 4 5) 鈴木哲男. 根管長の測定法について. 岩医大歯誌 3, 13-18, 1978.
- 4 6) 真川純, 池内克史. Free-form Deformationと局所的位置合わせを用いた三次元形状解析. CVIM 31 : 261-268, 2007.
- 4 7) Besl P, McKay N. A Method for Registration of 3-D Shapes. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell 14:239-256, 1992.
- 4 8) Makadia A, Patterson IV A and Daniilidis K. Fully Automatic Registration of 3D Point Clouds. Conf Comput Vis Pattern Recognit Workshops 1:1297-1304, 2006.
- 4 9) 宮田剛, Jons J, 高木方隆. ポリゴンの図心を基準点に用いた高精度幾何補正. JSPRS 46 : 33-38, 2007.
- 5 0) Dahlberg G. Statistical methods for medical and biological

students. Br Med J 14:358-359,1940.

- 5 1) Houston W. The analysis of errors in orthodontic measurements.
Am J Orthod 83 : 382-390,1983
- 5 2) Igarashi T. [Overview of ICRP publication 87 "managing patient
dose in computed tomography"]. 日放線技会誌 60:1065-71,2004.
- 5 3) 佐倉朔, 溝口優司. 頭骨計測における誤差. J Anthropol Soc Nippon
91:69-78,1983.
- 5 4) Angelieri F, Lucia C, Lorenzo F, Joao G, Erika B, James M.
Midpalatal suture maturation: Classification method for
individual assessment before rapid maxillary expansion. Am J
Orthod Dentofacial Orthop 144:759-769,2013.
- 5 5) VG Kokich. Age changes in the human frontozygomatic suture from
20 to 95 years. Am J Orthod Dentofacial Orthop 69:411-430,1976.
- 5 6) 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 50:179-184,2015.
- 5 7) Spillane L, McNamara J. Maxillary adaptation to expansion in the
mixed dentition. Semin Orthod 1:176-187,1995.
- 5 8) Jafari A, Shetty K, Kumar M. Study of stress distribution and
displacement of various craniofacial structures following

application of transverse orthopedic forces: a three-dimensional FEM study. Angle Orthod 73:12-20, 2003.

- 59) Matsumoto M, Yoshii O. A case report of the rapid expansion of the maxillary dental arch by opening the mid palatal suture. 日矯歯会誌 27:166-174, 1968.
- 60) Choi J, Cha B, Jost-Brinkmann P, Choi D, Jang I. Validity of palatal superimposition of 3-dimensional digital models in cases treated with rapid maxillary expansion and maxillary protraction headgear. Korean J Orthod. 42:235-41, 2012.
- 61) 仕合 邦雄. 上顎骨側方拡大に関する実験的研究. 京大口科紀要 9:68-95, 1969.
- 62) 小杉 緑郎. 猫上顎骨の側方拡大に関する実験的研究. 口腔病会誌 36:223-245, 1965.
- 63) K Reitan . Tissue Rearrangement During Retention Of Orthodontically Rotated Teeth. Angle Orthod 29 : 105-113, 1959
- 64) Mehmet A, Yasin A, Zehra I, Faruk B. Three-dimensional evaluation of hybrid expander appliances: A pilot study. Angle Orthod 86 : 86-81, 2016
- 65) 堀口 幸彦. 図説臨床咬合解剖学, 医歯薬出版株式会社, 東京, 133-135, 1991.

66) Peavy D, Kendrick G. The effects of tooth movement on the palatine rugae. J Prosthet Dent 18:536-42, 1967.

67) 岡野 美紀, 丸山 寿美子, 白井 英俊 他. 急速拡大後の自然保定における変化. 日大口腔科学 36:32-38, 2010.

【付図説明】

表 1 STL 計測とノギス計測の誤差検定

表 2 STL 計測の繰り返し精度

計測点：Molar Width…両側第一大臼歯頬側歯頸点間距離

表 3 STL 計測とノギス計測の拡大計測の精度

計測点：Molar Width…両側第一大臼歯辺縁隆線近遠心中点間距離、

Incisal Width…両側中切歯近心隅角点間距離

表 4 歯列弓幅径と歯槽基底部幅径の拡大変化

表 5 拡大に伴う垂直的・前後的变化

表 6 仮想歯軸と仮想根尖点の拡大変化

図 1 上顎拡大装置の種類

a 緩徐拡大装置(拡大床)

b 緩徐拡大装置(クワドヘリックス)

c 急速拡大装置(RME)

図 2 RME 治療変化

- a RME 装着時口腔内写真
- b RME 後の保定時口腔内写真
- c RME 装着時のオクルーザルエックス線写真
- d RME 拡大終了時のオクルーザルエックス線写真

図 3 3D スキャナーと STL モデル

- a C-Pro デンタルシステム D800-3SP(パナソニック株式会社、大阪)
- b 歯列表面形状三次元 STL モデル(STL)

図 4 拡大前後の STL モデルの重ね合わせ

- a 参照点と正中基準線の設定
- b 水平基準線の設定

図 5 咬合平面基準分析座標系

図 6 歯列、歯槽基底部、口蓋皺壁の計測点

- a 咬合面観
- b 矢状面観

図 7 仮想歯軸と仮想根尖点

図 8 歯の移動評価法

図 9 幅径の計測部位および名称一覧

- a 歯列弓幅径
- b 歯槽基底幅径
- c 口蓋皺壁間距離

図 10 拡大前後の垂直的および前後的变化の計測部位

- a 垂直的变化
- b 前後的变化

図 11 RME-W と大臼歯の拡大変化

各箱ひげ図の箱全体は S.D.、箱中央の×は平均値、ひげの上下端はそれぞれ最大値と最小値を示す。

統計学的な有意差の検定にはノンパラメトリック検定である Wilcoxon の符号付順位和検定を用い、RME-W とその他の各計測部位とを比較した。RME-W と有意差がないものを N.S.、有意差があるものは $p < 0.01 (**)$ と表中に示した。

図 1 2 RME-W と中切歯の拡大変化

各箱ひげ図の箱全体は S.D.、箱中央の×は平均値、ひげの上下端はそれぞれ最大値と最小値を示す。

統計学的な有意差の検定にはノンパラメトリック検定である Wilcoxon の符号付順位和検定を用い、RME-W とその他の各計測部位とを比較した。RME-W と有意差がないものを N.S.、有意差があるものは $p < 0.01$ (**) と表中に示した。

図 1 3 RME-W と口蓋皺壁の拡大変化

各箱ひげ図の箱全体は S.D.、箱中央の×は平均値、ひげの上下端はそれぞれ最大値と最小値を示す。

統計学的な有意差の検定にはノンパラメトリック検定である Wilcoxon の符号付順位和検定を用い、RME-W とその他の各計測部位とを比較した。RME-W と有意差がないものを N.S.、有意差があるものは $p < 0.05$ (*) もしくは $p < 0.01$ (**) と表中に示した。

表 1

STL計測による誤差検定						
	幅径計測平均(mm)		Difference(mm)	S.E.(mm)	wilcoxon	C.R.(%)
	STL計測	ノギス計測				
Molar Width	54.9	54.7	0.3	0.3	N.S.	99.4
MAB-W	59.3	59.4	0.6	0.5	N.S.	98.1
ID-W	4.2	4.1	0.3	0.2	N.S.	98.1
3rdRO-W	20.8	20.7	0.4	0.5	N.S.	99.0

STL 計測とノギス計測の誤差検定

表2

STL計測の繰り返し精度						
	幅径計測平均		幅径計測一回目と二回目の差			
	一回目(mm)	二回目(mm)	Average(mm)	S.D.(mm)	Max(mm)	Min(mm)
Molar Width	54.7	54.9	0.1	0.1	0.4	0.0
STL計測 MAB-W	59.3	59.4	0.1	0.1	0.2	0.0
ID-W	4.2	4.1	0.2	0.2	0.6	0.0
3rd RO-W	20.8	20.7	0.1	0.1	0.3	0.0

STL 計測の繰り返し精度

計測点：Molar Width…両側第一大臼歯頬側歯頸点間距離

表3

STL計測とノギス計測による拡大量計測の精度

		拡大量計測平均		拡大量計測一回目と二回目の差			
		一回目(mm)	二回目(mm)	Average(mm)	S.D.(mm)	Max(mm)	Min(mm)
STL計測	Molar Width	7.1	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	Incisal Width	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
ノギス計測	Molar Width	6.9	6.9	0.1	0.1	0.3	0.0
	Incisal Width	-0.1	-0.1	0.2	0.1	0.5	0.0

STL 計測とノギス計測の拡大量計測の精度

計測点：Molar Width…両側第一大臼歯辺縁隆線近遠心中点間距離

Incisal Width…両側中切歯近心隅角点間距離

表4

歯列弓幅径と歯槽基底部幅径の拡大変化

		T1(mm)	T2(mm)	T2-T1(mm)	Wilcoxon signed-rank test
RME-W	Mean	0.0	7.0	7.0	***
	SD	0.0	1.2	1.2	
	Maximum	0.0	10.0	10.0	
	Minimum	0.0	4.6	4.6	
ID-W	Mean	9.9	9.9	-0.1	N.S.
	SD	0.9	0.9	0.9	
	Maximum	11.8	11.3	1.3	
	Minimum	8.8	8.0	-2.4	
PD-W	Mean	28.8	35.7	6.9	***
	SD	2.6	2.3	1.4	
	Maximum	36.4	41.5	9.7	
	Minimum	25.6	32.4	5.1	
MD-W	Mean	46.5	53.6	7.1	***
	SD	2.3	2.5	1.4	
	Maximum	50.2	58.3	10.4	
	Minimum	42.8	48.6	4.3	
PAB-W	Mean	45.6	50.5	4.9	***
	SD	3.6	3.1	1.5	
	Maximum	54.1	57.2	7.7	
	Minimum	40.3	46.4	2.6	
MAB-W	Mean	58.9	64.2	5.3	***
	SD	2.6	2.3	1.3	
	Maximum	63.5	68.1	9.0	
	Minimum	54.8	59.9	2.8	

*: P<0.05 ***: P<0.01 ****: P<0.001

歯列弓幅径と歯槽基底部幅径の拡大変化

表5

垂直的变化と前後的变化

		T1(mm)	T2(mm)	T2-T1(mm)	Wilcoxon signed-rank test
ID-Z	Mean	-0.1	0.4	0.5	***
	SD	0.5	0.8	0.7	
	Maximum	0.8	2.2	1.8	
	Minimum	-1.3	-1.6	-1.4	
MD-Z	Mean	0.3	0.4	0.0	N.S.
	SD	0.4	0.6	0.5	
	Maximum	1.0	1.5	1.1	
	Minimum	-0.8	-1.4	-1.0	
IP-Z	Mean	-2.6	-2.9	-0.3	***
	SD	0.8	1.0	0.5	
	Maximum	-0.3	-0.2	0.7	
	Minimum	-4.1	-4.7	-1.2	
ID-Y	Mean	-0.7	-0.9	-0.2	**
	SD	0.6	0.9	0.8	
	Maximum	0.6	1.2	2.1	
	Minimum	-2.4	-2.5	-1.4	
MD-Y	Mean	-34.1	-34.4	-0.3	N.S.
	SD	3.6	3.5	0.6	
	Maximum	-29.1	-29.3	1.0	
	Minimum	-41.6	-42.0	-2.1	
IAB-Y	Mean	-4.2	-5.2	-1.0	***
	SD	2.0	2.2	1.0	
	Maximum	-1.3	-1.8	1.3	
	Minimum	-9.5	-9.7	-3.9	
IP-Y	Mean	-6.1	-6.3	-0.2	N.S.
	SD	2.0	1.7	0.6	
	Maximum	-3.0	-3.5	1.4	
	Minimum	-10.5	-10.0	-1.5	

*: P<0.05 ** : P<0.01 *** : P<0.001

拡大に伴う垂直的・前後的变化

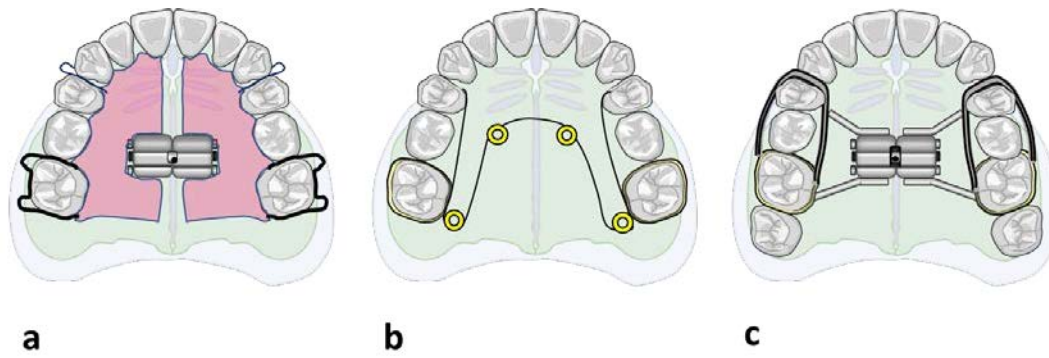
表6

歯軸と根尖点の拡大変化					
		T1(mm)	T2(mm)	T2-T1(mm)	Wilcoxon signed-rank test
IAx-I	Mean	6.3	0.4	-6.0	***
	SD	6.3	6.8	3.8	
	Maximum	27.6	25.9	2.7	
	Minimum	-8.9	-14.3	-14.3	
Max-I	Mean	16.9	20.8	3.9	***
	SD	10.3	10.1	3.6	
	Maximum	47.7	50.4	15.1	
	Minimum	-6.8	0.8	-1.1	
IAp-W	Mean	6.4	10.2	3.8	***
	SD	2.1	2.5	1.7	
	Maximum	11.7	15.0	8.6	
	Minimum	3.4	5.1	0.4	
Map-W	Mean	34.6	38.8	4.2	***
	SD	5.2	5.0	2.1	
	Maximum	44.7	46.8	8.9	
	Minimum	24.2	27.5	0.9	

* : P<0.05 * * : P<0.01 * * * : P<0.001

仮想歯軸と仮想根尖点の拡大変化

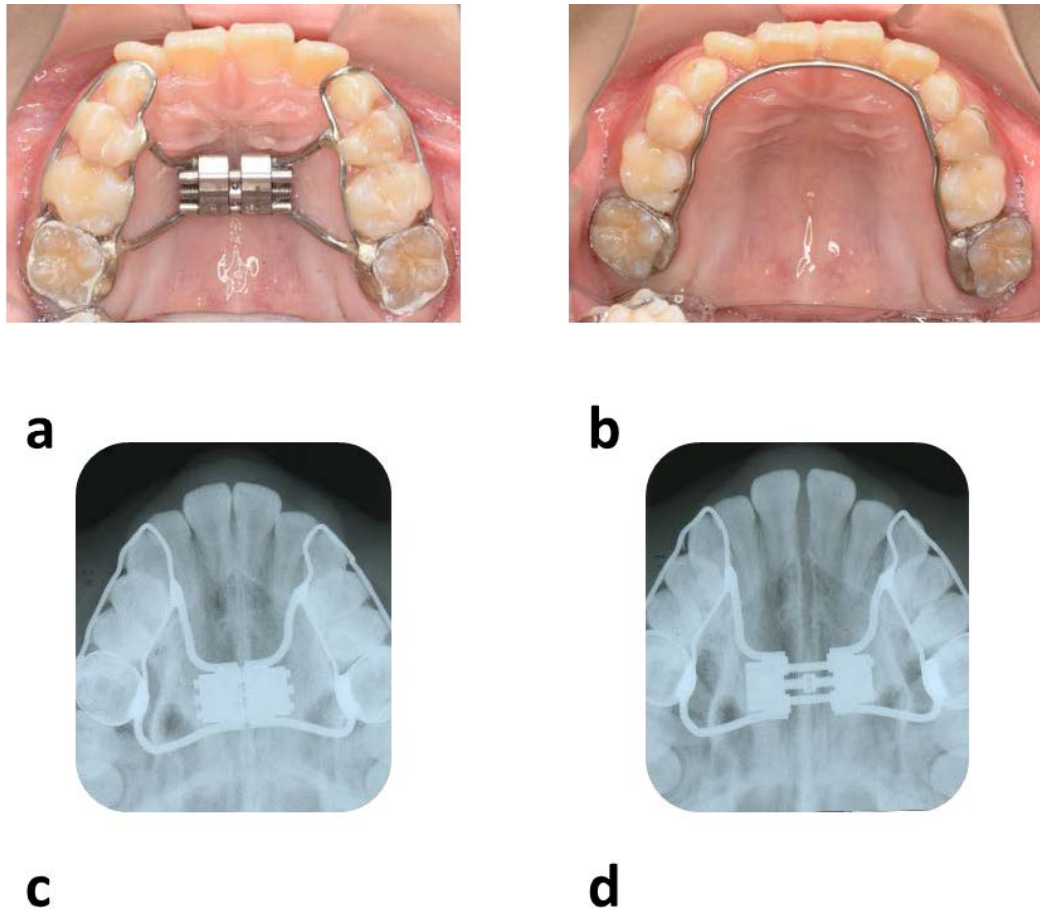
図1



上顎拡大装置の種類

- a 緩徐拡大装置(拡大床)
- b 緩徐拡大装置(クワドヘリックス)
- c 急速拡大装置(RME)

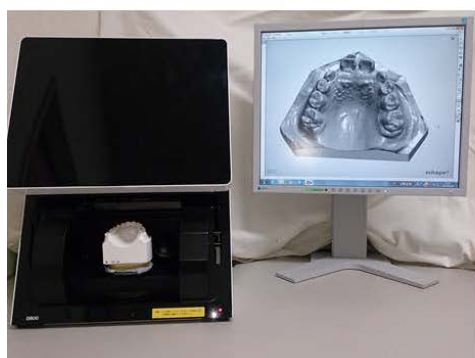
図2



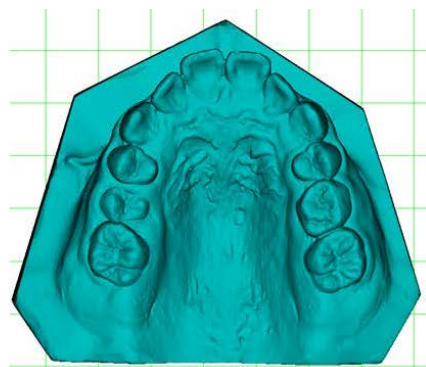
RME 治療変化

- a RME 装着時口腔内写真
- b RME 後の保定時口腔内写真
- c RME 装着時のオクルーザルエックス線写真
- d RME 拡大終了時のオクルーザルエックス線写真

図3



a



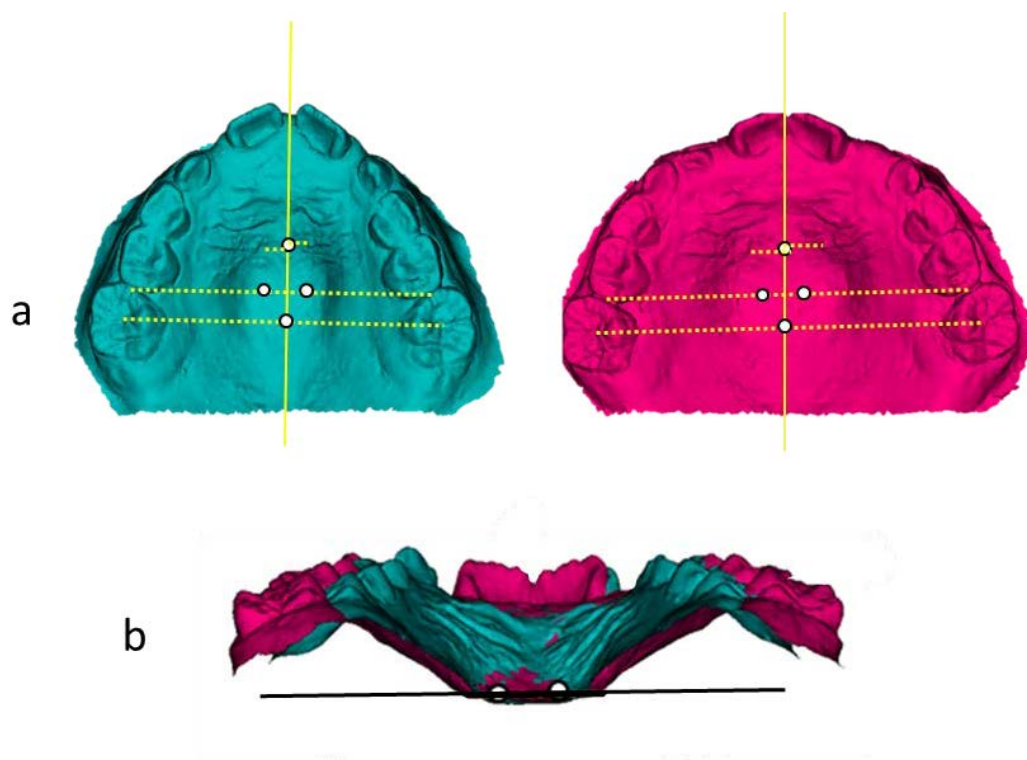
b

3D スキャナーと STL モデル

a C-Pro デンタルシステム D800-3SP (パナソニック株式会社、大阪)

b 歯列表面形状三次元 STL モデル (STL モデル)

図4

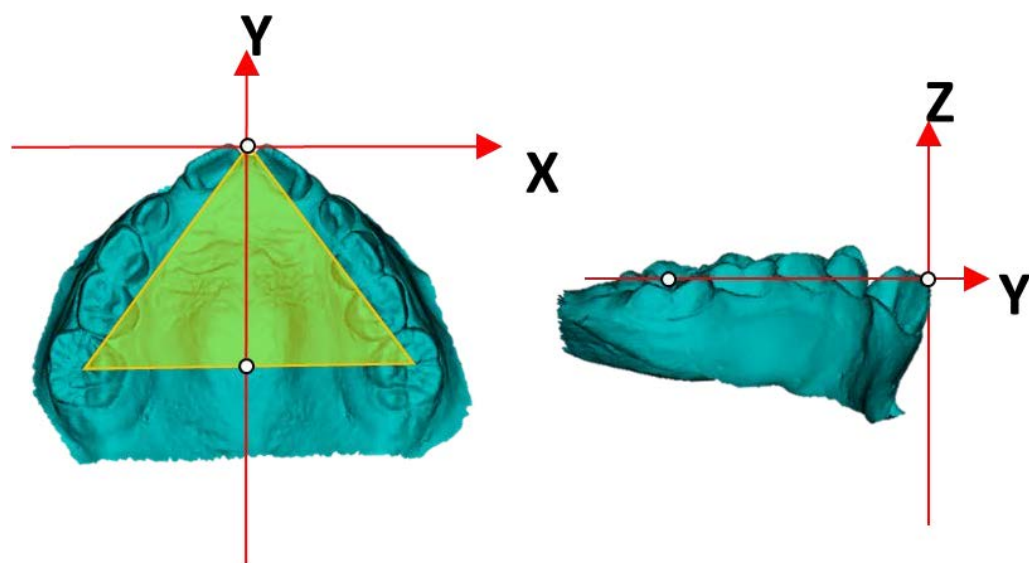


拡大前後の STL モデルの重ね合わせ

a 参照点と正中基準線の設定

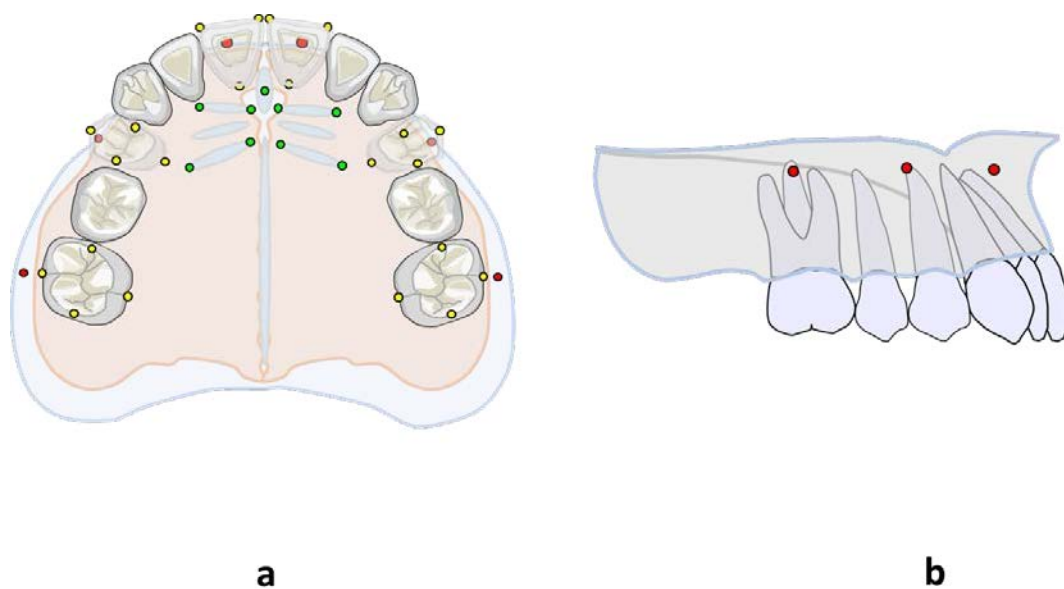
b 水平基準線の設定

图5



咬合平面基準分析座標系

図6



計測対象	計測部位			
中切歯	近心隅角	遠心隅角	唇側歯頸部最下点	舌側歯頸部最下点
第一小臼歯(第一乳臼歯)	辺縁隆線近心点	辺縁隆線遠心点	唇側歯頸部最下点	舌側歯頸部最下点
a 第一大白歯	辺縁隆線近心点	辺縁隆線遠心点	唇側歯頸部最下点	舌側歯頸部最下点
第一口蓋皺壁	内側点	外側点		
第三口蓋皺壁	内側点	外側点		
切歯乳頭	最大豊隆部			
b 歯槽基底部	中切歯根尖相当部	第一小臼歯(第一乳臼歯)根尖相当部	第一大白歯根尖相当部	

歯列、歯槽基底部、口蓋皺壁の計測点

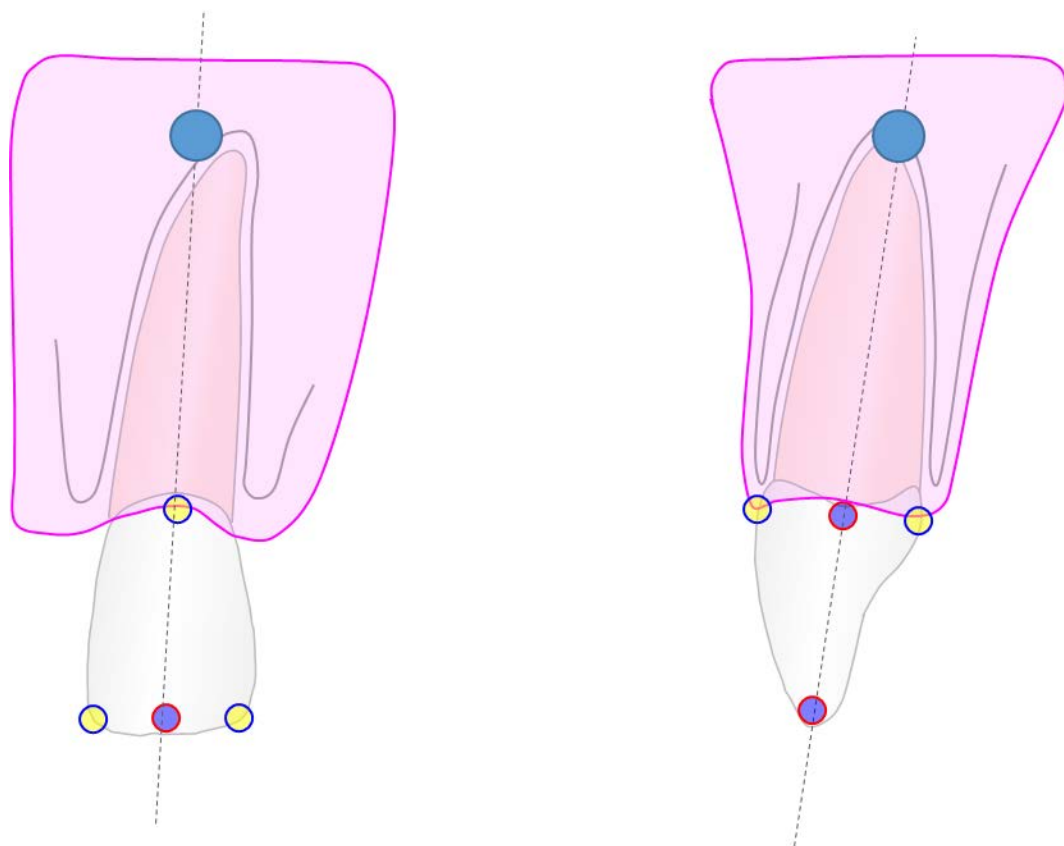
a 咬合面観 b 矢状面観

黄色…歯列の計測点

緑点…軟組織の計測点

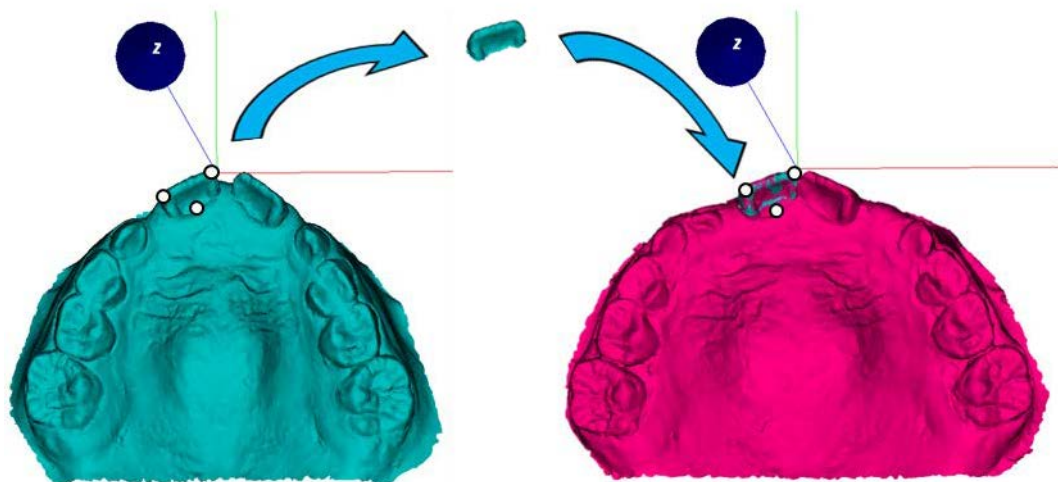
赤点…歯槽基底の計測点

図7



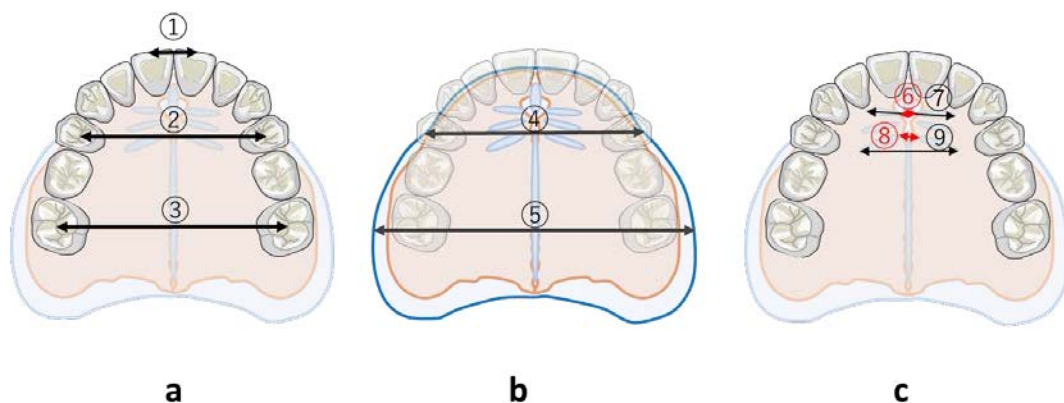
仮想歯軸と仮想根尖点

図8



歯の移動評価法

図9



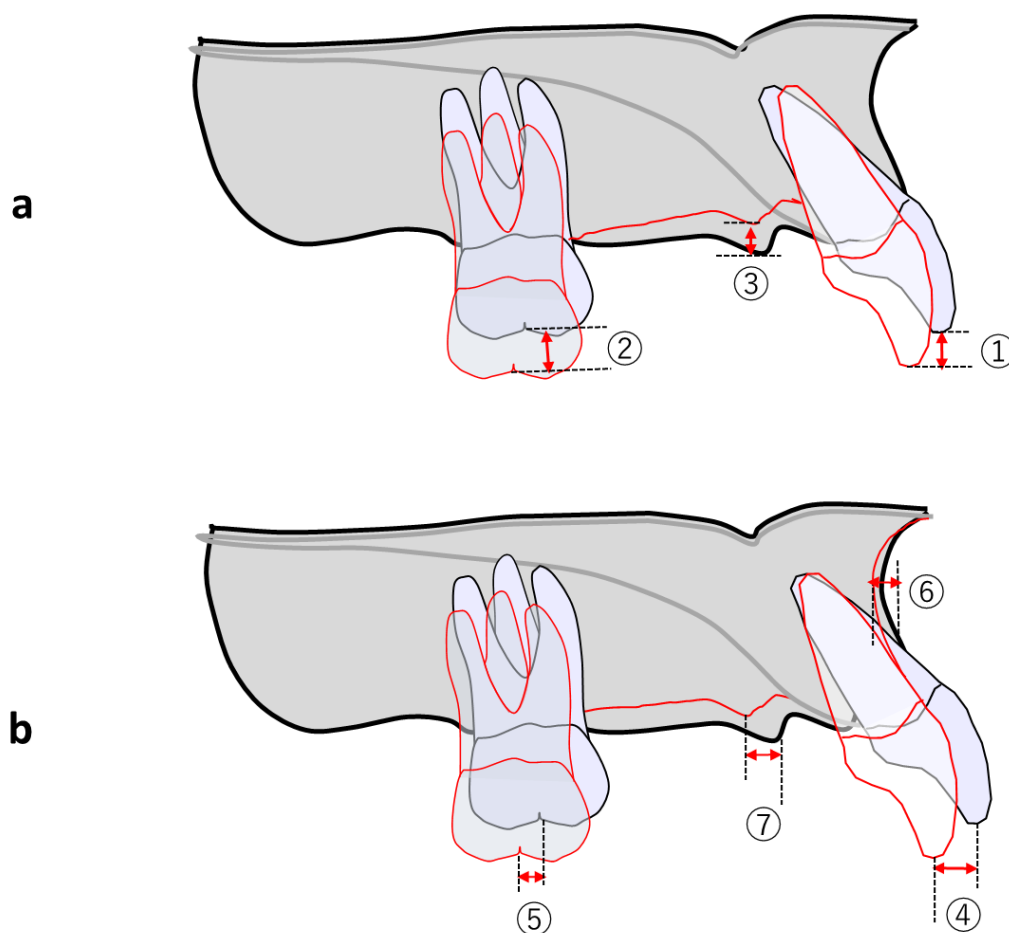
番号	計測部位	略称
①	中切歯間距離	ID-W
②	小臼歯間距離	PD-W
③	大臼歯間距離	MD-W
④	小臼歯歯槽基底幅径	PAB-W
⑤	大臼歯歯槽基底幅径	MAB-W
⑥	第一口蓋皺壁内側間距離	1stRI-W
⑦	第一口蓋皺壁外側間距離	1stRO-W
⑧	第三口蓋皺壁内側間距離	3rdRI-W
⑨	第三口蓋皺壁外側間距離	3rdRO-W

幅径の計測部位および名称一覧

a 歯列弓幅径

b 歯槽基底幅径

c 口蓋皺壁間距離

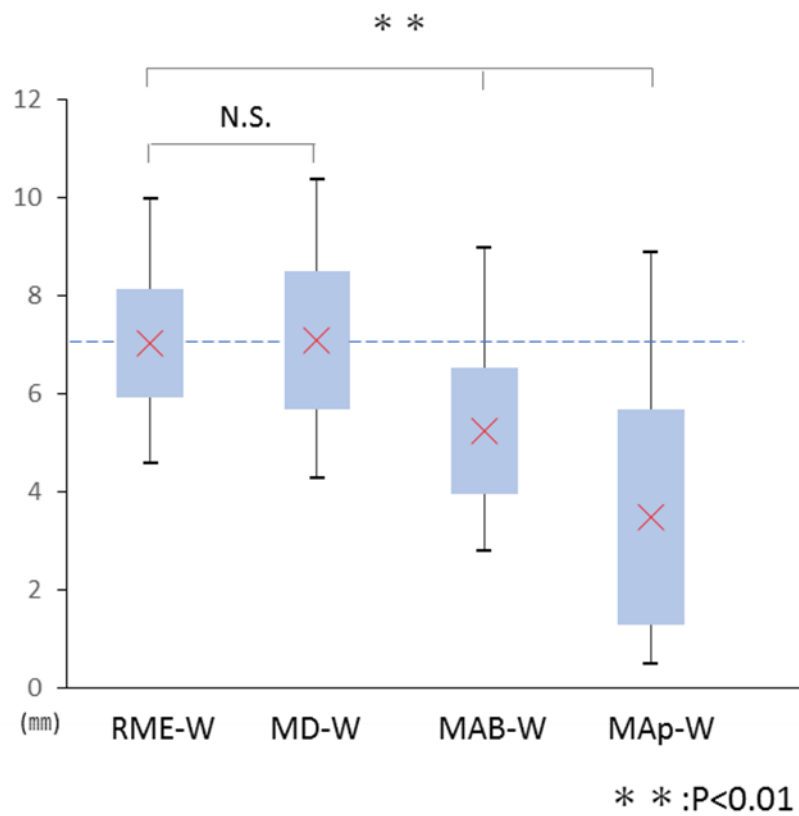


番号	計測部位	略称
①	中切歯の近心・遠心隅角の中点	ID-Z
②	第一大臼歯の辺縁隆線近心・遠心の中点	MD-Z
③	切歯乳頭最大豊隆点	IP-Z
④	中切歯の近心・遠心隅角の中点	ID-Y
⑤	第一大臼歯の辺縁隆線近心・遠心の中点	MD-Y
⑥	中切歯部の歯槽基底根尖相当点	IAB-Y
⑦	切歯乳頭最大豊隆点	IP-Y

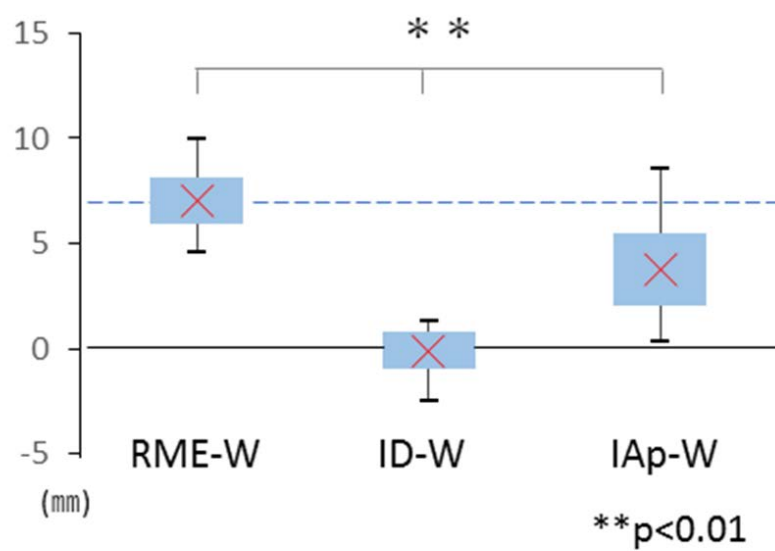
拡大前後の垂直的および前後的变化の計測部位

a 垂直的变化

b 前後的变化

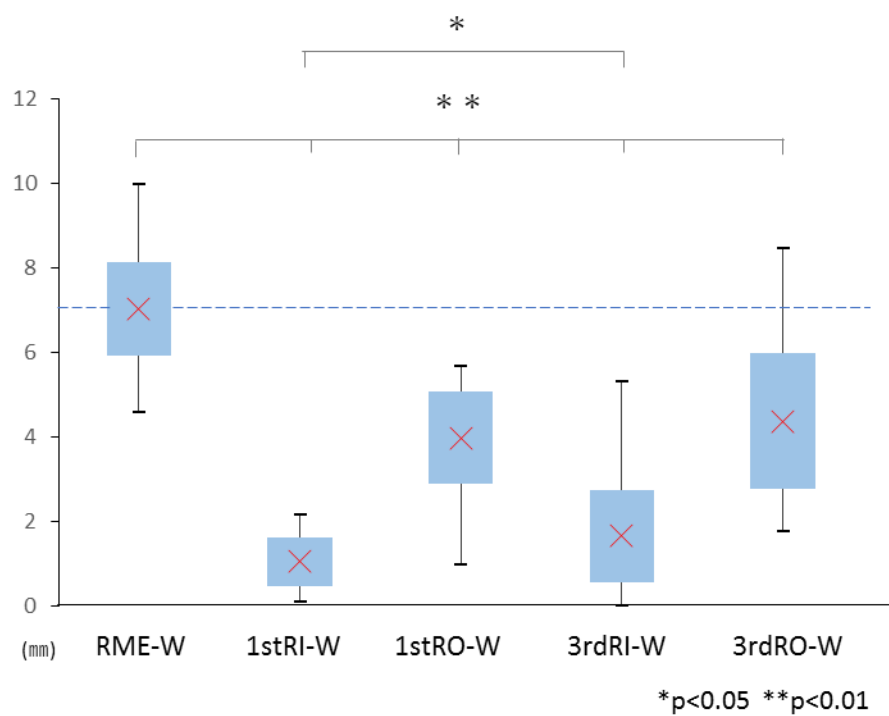


RME-W と大臼歯の拡大変化



RME-W と中切歯の拡大変化

図 13



RME-W と口蓋皺壁の拡大変化