

原 著

上顎急速拡大法が顎顔面頭蓋三次元形態に及ぼす影響

岡 村 康 祐¹⁾ 留 和香子²⁾ 服 部 修 磨²⁾ 北 井 則 行²⁾

Influence of rapid palatal expansion on craniofacial morphology

OKAMURA KOUSUKE¹⁾, TOME WAKAKO²⁾, HATTORI SHUMA²⁾, KITAI NORIYUKI²⁾

本研究の目的は、McNamara 型および Hyrax 型の上顎急速拡大装置により上顎歯列弓の側方拡大を行った前後の cone-beam computed tomography (CBCT) データを用いて、歯、歯槽骨および顎顔面の骨格の変化について解析を行い、装置の違いによる拡大量の差および装置からの距離の違いによる拡大量の差を検討することである。矯正歯科治療のために来院した患者のうち、萌出スペース不足および上顎歯列弓の狭窄と診断された患者 50 名を被検者とした。被検者のうち、25 名に McNamara 型、25 名に Hyrax 型を用いて、上顎の急速側方拡大を行った。上顎歯列拡大前と拡大後に、矯正診断のために撮影した三次元 CBCT データを資料として用いて、前頭平面に平行な 3 つの断面を設定し、同断面上で各部の幅径を計測し、拡大量を求めた。拡大量について、McNamara 型と Hyrax 型との間で有意差があるかどうか、3 つの断面で有意差があるかどうかを統計学的に比較した。McNamara 型と Hyrax 型の拡大量について、装置に近い計測部位では有意差は認められなかったが、装置から離れた部位では、Hyrax 型の方が有意に大きい値を示した。計測部位の違いによる拡大量について、上方へ向かうにつれて、また、後方へ向かうにつれて急激に小さくなり、McNamara 型でも Hyrax 型でも同様の傾向が認められた。急速拡大装置では、装置からの距離が大きくなるほど拡大量は小さくなること、および歯に接着して用いるよりバンドを装着して用いる方が、装置から離れた部位の拡大量が大きいことが示唆された。

キーワード：急速拡大装置、CBCT、三次元形態

The purposes of the present study were to examine the 3D craniofacial morphology before and after rapid palatal expansion using the McNamara and Hyrax type appliances, and to also investigate whether the expansion amount differs depending on the kind of appliances or the distance from the appliance. Fifty Japanese patients who sought orthodontic treatment and has been diagnosed to have maxillary lateral constriction were included in this study. Rapid palatal expansion was implemented using the McNamara type (25 patients) and Hyrax type (25 patients) devices. The three-dimensional craniofacial morphology was recorded using cone-beam computed tomography (CBCT) before and after palatal expansion. On the three planes, which are parallel to the coronal plane, the craniofacial widths were measured using the CBCT data obtained before and after palatal expansion and then the expansion amount was calculated. The differences in the expansion amount were then statistically compared between the McNamara and Hyrax type devices, and also between the three planes. There was no significant difference between the expansion amount for the McNamara type device and that for the Hyrax type device on the plane near the appliance, whereas the expansion amount for the Hyrax type device was significantly greater than that for McNamara type device on the distant plane from the appliance. The expansion amount on the upper plane was smaller than that

¹⁾ おかむらファミリー歯科クリニック
〒 675-0065 兵庫県加古川市加古川町篠原町 111 医療ビルおいしゃさん 202 号

²⁾ 朝日大学歯学部口腔構造機能発育学講座歯科矯正学分野
〒 501-0296 瑞穂市穂積 1851

¹⁾ Okamura Family Dental Clinic

202 Medical building Oisya-san 111 Kakogawacho Shinoharacho, Kakogawa-shi, Hyogo-ken 675-0065 Japan

²⁾ Department of Orthodontics, Division of Oral Structure, Function and Development, Asahi University School of Dentistry. Hozumi 1851, Mizuho, Gifu 501-0296, Japan.

(2020 年 9 月 24 日受理)

on the lower plane and the expansion amount on the posterior plane was smaller than that on the anterior plane for the McNamara and Hyrax type devices. The findings of the present study suggest that the expansion amount increased when the distance from the appliance is great, and the expansion amount increased when the banded appliance is used for the expansion on the distant plane.

Key words : rapid palatal expansion, CBCT, three-dimensional morphology

緒 言

上顎歯列の側方拡大は、Angell¹⁾により初めて発表されて以来、歯列弓の狭窄、歯の萌出スペース不足あるいは上下顎臼歯部交叉咬合を改善するために行われてきた。上顎急速拡大法では、歯列が側方へ拡大するのみならず、正中口蓋縫合が離開して、顎顔面頭蓋におけるさまざまな部位で顎整形的な変化が生じることが知られている²⁻⁵⁾。どの部位でどのような形態的变化が起こるのかについては、正面位頭部 X 線規格写真を用いた研究により、上方へ向かうにつれ拡大量が小さくなり、前頭面観では上方を頂点としたトライアングル状を示し、水平面観では臼歯部より前歯部の方が大きく拡大されるとした報告⁶⁾が認められる。急速拡大装置による形態的变化について、Computed tomography (CT) を用いて、定性的に⁷⁻¹⁰⁾あるいは定量的に¹¹⁻¹⁷⁾調べた報告は多く認められる。しかし、上下あるいは前後の部位の違いによって、どのように拡大量が異なるのかについて、計測部位を同一平面上に規定して調べた報告は認められない。

上顎急速拡大装置には、歯に接着して用いる McNamara 型とバンドを作製して歯にセメントで固定して用いる Hyrax 型がある。両装置は固定材料および固定歯に違いがあるため、両装置による上顎急速拡大法が、歯、歯槽および顎顔面骨格に及ぼす影響に差異があることが予想され、その差異を明らかにすることは、矯正歯科治療の診断および治療計画を立案する際に重要である。

本研究の目的は、McNamara 型および Hyrax 型の上顎急速拡大装置により上顎歯列弓の側方拡大を行った前後の Cone-beam CT (CBCT) データを用いて、歯、歯槽骨および顎顔面の骨格の変化について解析を行い、装置の違いによる拡大量の差および前後・上下的な計測部位の違いによる拡大量の差を検討することである。

被検者および方法

1. 被検者

矯正歯科治療のために歯科医院に来院した患者のうち、萌出スペース不足および上顎歯列弓の狭窄により上顎の側方拡大が必要であると診断された患者 50 名

(男子 15 名、女子 35 名、平均年齢：9 歳 7 か月、年齢範囲：9 歳 1 か月～11 歳 3 か月) を被検者とした。被検者はいずれも先天異常を伴わないものとし、著しい左右非対称または左右の臼歯関係に明らかな差が認められる者は除外した。

これらの被検者に対して、本研究の目的と方法について十分な説明を行った上で研究へ協力することへの同意を得た。本研究は朝日大学倫理委員会の承認(受付番号第 24140 号)を得て行った。

2. 拡大方法

すべての被検者に対して、上顎第一小臼歯が萌出していない者に McNamara 型、上顎第一小臼歯が萌出している者に Hyrax 型の上顎急速拡大装置を用いて、上顎の側方拡大を行った。McNamara 型を使用した被検者は、25 名(男子 9 名、女子 16 名、平均年齢：9 歳 7 か月、年齢範囲：9 歳 1 か月～11 歳 0 か月)、Hyrax 型を使用した被検者は、25 名(男子 6 名、女子 19 名、平均年齢：10 歳 6 か月、年齢範囲：9 歳 3 か月～11 歳 3 か月)であった。両装置を適用した被検者の年齢、性別は可及的にそろえた。McNamara 型は、上顎乳臼歯および第一大臼歯の歯冠をレジンでおおい、拡大ネジは前後的に第一乳臼歯と第一大臼歯のほぼ中央に設定し、セメントで合着した(図 1)。Hyrax 型は、上顎

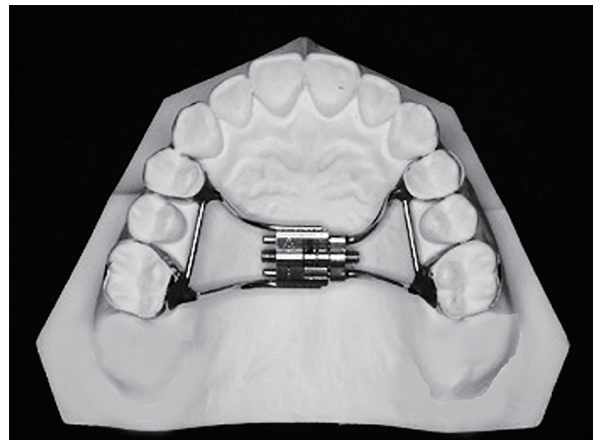


図 1 McNamara Type の拡大装置

第一小臼歯と第一大臼歯にバンドを作製し、拡大ネジは前後に第一小臼歯と第一大臼歯のほぼ中央に設定し、バンドをセメントで着着した（図2）。

拡大操作は1日2回（0.2mm/回）行い、合計5.0mmの拡大を行った。拡大後、約4～5か月間、保定のために装置を装着した状態で経過を観察し、咬合法エックス線写真にて口蓋正中部の骨が増生されたことを確認した後、治療開始から6か月以内に装置を撤去した。

3. 撮影方法

上顎歯列拡大前と拡大後に、矯正診断のために撮影した三次元CBCTデータを資料として用いた。撮影は、CBCT（Alphard-3030、朝日レントゲン工業、京都）を用いた。撮影範囲は200mm×179mm、管電圧は80kV、管電流は2.0mA、1回スキャン時間は17秒、ボクセルサイズは0.39mmであった。

4. 計測方法

得られたDICOMデータを、定位三次元画像処理ソフトウェア（Imagnosis VE, Imagnosis Inc, 神戸）を用いて基準平面、計測点の設定を行った。

20例の計測点について同一計測者が1日以上の間隔をおいて2回の採得を行い、モニター上で計測点を目視により同定する時に生じる計測変動について、1回目の計測点と2回目の計測点の差を検定したところ、すべての計測項目において変動は±0.21mmから±0.29mmの範囲であった。

(1) 基準点と基準平面

基準点と基準平面を以下のように定義した（図3）。基準点をもとに基準平面を設定して、以下の計測は基

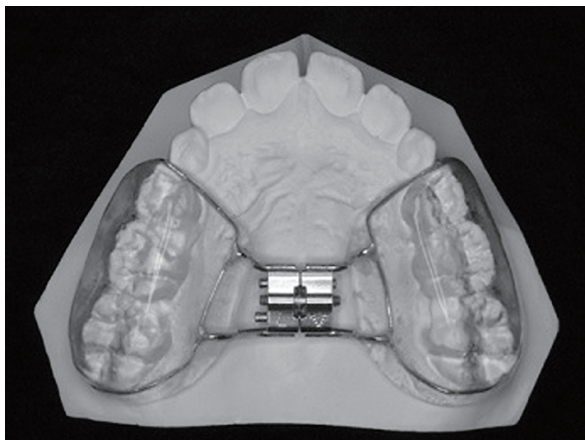


図2 Hyrax Type の拡大装置

準平面を用いて断面を作製し、各断面上で行った。

座標系は、左右眼窩下縁点間の中点を原点に、X軸は水平方向、Y軸は垂直方向、Z軸は前後方向として、左方向、上方向、後方向をプラスとした（図4）。

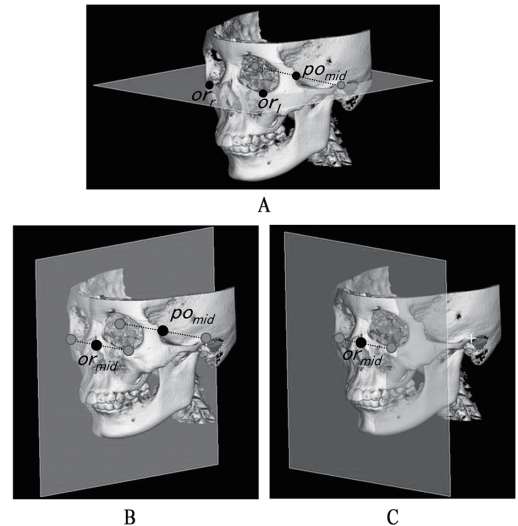


図3 基準点と基準平面

- A or_l : 左眼窩下縁最下方点, or_r : 右眼窩下縁最下方点, or_{mid} : 左右眼窩下縁最下方点間の中点, po_{mid} : 左右外耳道開口部最上方点間の中点, フランクフルト平面 (or_l , or_r および po_{mid} を通る平面)
- B 正中矢状平面 (フランクフルト平面と垂直で、かつ or_{mid} と po_{mid} を通る平面)
- C 前頭平面 (or_{mid} を通り、フランクフルト平面と正中矢状平面に垂直な平面)

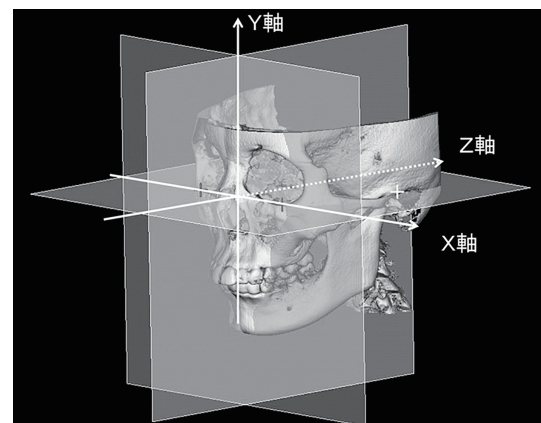


図4 座標系の設定

原点:左右眼窩下縁点の中点,X軸:水平方向,Y軸:垂直方向,Z軸:前後方向、各プラス方向:左方向、上方向、後方向

(2) 計測項目

計測変量については、前頭平面に平行な断面を以下のように設定して、3つの断面上で計測した(図5)。

I：前方部前頭平面に平行で左右の眼窩下縁点を通る断面(図6)，

II：中央部前頭平面に平行で左側頬骨前頭縫合最下縁点を通る断面(図7)，

III：後方部前頭平面に平行で左側大口蓋孔の頬舌的幅径が最大となる断面(図8)

また、計測する上下的な高さを規定するために、a：前方部・中央部は歯槽頂の高さ、後方部は左側大口蓋孔の頬舌的幅径が最大となる高さ、b：フランクフルト平面と平行で、頬骨前頭縫合最下縁点を通る平面、

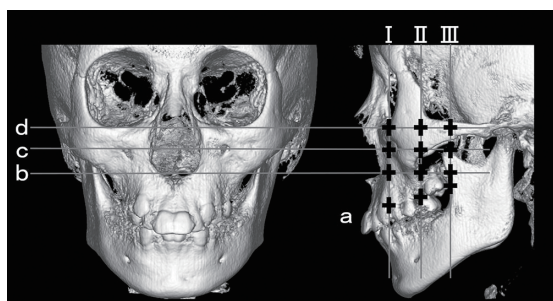


図5 計測断面の設定

I：前頭平面に平行で左右の眼窩下縁点を通る断面，II：前頭平面に平行で左側頬骨前頭縫合最下縁点を通る断面，III：前頭平面に平行で左側大口蓋孔の頬舌的幅径が最大となる断面

a：前方部・中央部は歯槽頂の高さ、後方部は左側大口蓋孔の頬舌的幅径が最大となる高さ、b：フランクフルト平面と平行で、頬骨前頭縫合最下縁点を通る平面、c：フランクフルト平面と平行で、眼窩下孔を通る平面、d：フランクフルト平面

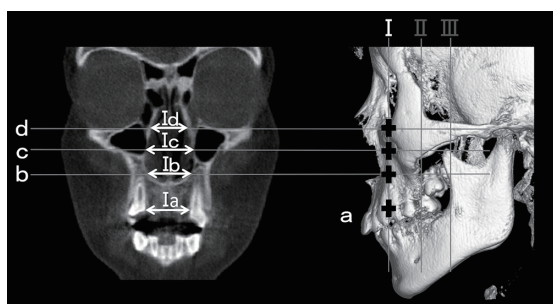


図6 前方部の計測

I a：平面Iと平面aの交線I a上での口蓋側歯槽骨頂幅径，I b：交線I b上での鼻腔幅径，I c：交線I c上での鼻腔幅径，I d：交線I d上での鼻腔幅径

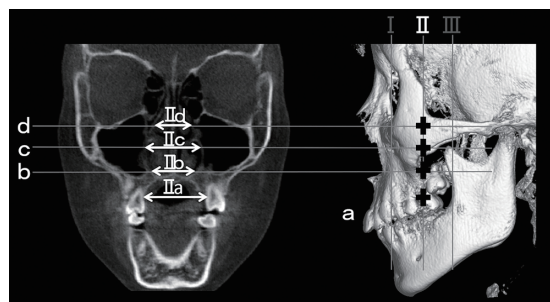


図7 中央部の計測

II a：平面IIと平面aの交線II a上での口蓋側歯槽骨頂幅径，II b：交線II b上での鼻腔幅径，II c：交線II c上での鼻腔幅径，II d：交線II d上での鼻腔幅径

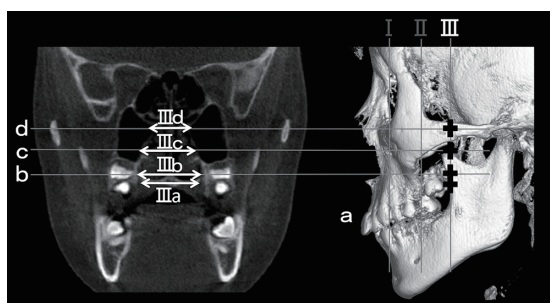


図8 後方部の計測

III a：平面IIIと平面aの交線III a上での大口蓋孔間幅径，III b：交線III b上での鼻腔幅径，III c：交線III c上での鼻腔幅径，III d：交線III d上での鼻腔幅径

c：フランクフルト平面と平行で、眼窩下孔を通る平面、d：フランクフルト平面とした。

5. 統計処理

拡大開始前後の変化量に関して、McNamara型とHyrax型との2群間の有意差についてはMann-Whitney U検定を行った。装置からの距離で有意差があるかどうか、各部位における3群間および4群間についてはKruskal-Wallis検定を行い、有意差が認められた項目の各群の組合せに対してMann-Whitney U検定を行った。有意水準は $P<0.05$ とし、Bonferroniの修正を行った。統計解析はすべて、解析用ソフトウェアStatviewJ-5.0 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA) を用いて行った。

結 果

McNamara型、Hyrax型を使用した側方拡大前後の変化量を示す(表1)。もっとも大きく拡大さ

れた中央部の口蓋側歯槽骨頂部の拡大量の中央値は4.4mmであった。装置からもっとも離れたフランクフルト平面上の鼻腔幅径の拡大量の中央値は、0.1mm-1.0mmであった。装置間の変化量に有意差が認められたのは、I d、II b、II c、II d、III cであった。一方、I a、I b、I c、II a、III a、III b、III dにおいては、装置間で有意差を認めなかった。

上顎拡大被検者における各変量の多重比較を行った結果を示す（表2、3）。前方部平面Iでは、両装置とも、拡大量は上方が有意に小さい値を示したが、I b-I c間においては有意差を認めなかった。中央部平面IIでは、両装置とも、拡大量は上方が有意に小さい値を示したが、McNamara型のII b-II c間においては有意差を認めなかった。後方部平面IIIでは、McNamara型ではIII a-III c間、III a-III d間、III b-III d間において、拡大量は上方が有意に小さい値を示

した。Hyrax型ではIII a-III c間、III a-III d間において、拡大量は上方が有意に小さい値を示した。一方、両装置ともに、上下に隣接した計測値間で有意差を認めなかった。

歯槽骨頂・大口蓋孔部aの高さでの拡大量について、両装置ともに、I a-III a間、II a-III a間において、拡大量は後方部が有意に小さい値を示したが、I a-II a間においては、有意差は認めなかった。頬骨前頭縫合最下縁点を通過する平面bの高さでの拡大量について、McNamara型では、I b-III b間において、拡大量は後方部が有意に小さい値を示し、Hyrax型では、II b-III b間において、拡大量は後方部が有意に小さい値を示した。眼窩下孔を通る平面cの高さでの拡大量について、両装置ともに、I c-III c間において、拡大量は後方部が有意に小さい値を示した。一方、前後的に隣接する計測値間では、有意差を認めなかつ

表1 上顎急速拡大法による拡大量について McNamara 型と Hyrax 型との比較

	McNamara型(n=25)		Hyrax型(n=25)		有意差
	中央値	(mm) 25-75パーセン タイル	中央値	(mm) 25-75パーセン タイル	
I a	3.9	3.1-4.4	4.3	3.6-4.6	NS
I b	1.6	1.1-2.1	1.5	1.4-2.0	NS
I c	0.9	0.5-1.8	1.5	0.9-1.8	NS
I d	0.4	0.1-0.7	1.0	0.2-1.4	*
II a	4.4	3.5-4.8	4.4	4.0-5.0	NS
II b	1.1	0.2-1.8	1.8	1.3-2.3	**
II c	0.4	0.1-1.2	1.3	0.9-1.7	*
II d	0.1	0.0-0.3	0.7	0.2-1.2	**
III a	0.9	0.4-1.5	1.3	0.9-2.1	NS
III b	0.6	0.1-1.5	1.2	0.7-1.7	NS
III c	0.4	0.1-0.7	0.6	0.3-1.4	*
III d	0.2	-0.1-0.4	1.0	0.1-1.2	NS

* P<0.05, ** P<0.01, NS: not significant

I a：平面Iと平面aの交線I a上での口蓋側歯槽骨頂幅径

I b：平面Iと平面bの交線I b上での鼻腔幅径

I c：平面Iと平面cの交線I c上での鼻腔幅径

I d：平面Iと平面dの交線I d上での鼻腔幅径

II a：平面IIと平面aの交線II a上での口蓋側歯槽骨頂幅径

II b：平面IIと平面bの交線II b上での鼻腔幅径

II c：平面IIと平面cの交線II c上での鼻腔幅径

II d：平面IIと平面dの交線II d上での鼻腔幅径

III a：平面IIIと平面aの交線III a上での大口蓋孔間幅径

III b：平面IIIと平面bの交線III b上での鼻腔幅径

III c：平面IIIと平面cの交線III c上での鼻腔幅径

III d：平面IIIと平面dの交線III d上での鼻腔幅径

表2 McNamara 型および Hyrax 型による拡大量について計測部位（上下方向）間の比較

McNamara型(n=25)	Hyrax型(n=25)
I a I b I c I d	I a I b I c I d
II a II b II c II d	II a II b II c II d
III a III b III c III d	III a III b III c III d

* P<0.05, ** P<0.01, NS : not significant
 (I a, I b, I c, I d, II a, II b, II c, II d, III a, III b, III c, III d については, 表1を参照)

表3 McNamara 型および Hyrax 型による拡大量について計測部位（前後方向）間の比較

McNamara型(n=25)	Hyrax型(n=25)
I a II a III a	I a II a III a
I b II b III b	I b II b III b
I c II c III c	I c II c III c
I d II d III d	I d II d III d

* P<0.05, ** P<0.01, NS : not significant
 (I a, I b, I c, I d, II a, II b, II c, II d, III a, III b, III c, III d については, 表1を参照)

た。フランクフルト平面dの高さでの拡大量について、両装置ともに、すべての項目間で拡大量に有意差を認めなかった。

考 察

上顎急速拡大装置には、McNamara 型と Hyrax 型がある。McNamara 型は乳臼歯および第一大臼歯に接着して用い、Hyrax 型は第一小臼歯の萌出後に第一小臼歯・第一大臼歯にバンドを装着して用いるため、基本的には適用時期が異なると考えられる。しかし、本研究では、McNamara 型と Hyrax 型による効果を比較するために、被検者の年齢範囲を可及的にそろえることとした。そこで、両装置による効果について、年齢の影響を最小限にして比較することができたと考える。また、上下あるいは前後の部位の違いによって、どのように拡大量が異なるのかを調べるために、計測部位を同一平面上に規定して調べた結果、上下あるいは前後的な部位による拡大量について、定量的な違いを厳密に比較できたと考えられる。

上顎急速拡大装置の適用時期については、正中口蓋縫合を離開させるためには、正中口蓋縫合が閉鎖する前が有利であり、8歳から15歳が最適であると推奨されている¹⁸⁾。そこで、縫合部閉鎖の観点からは年齢が低い方が有利であるが、固定歯の観点からは、年齢が低い方が乳歯を含むため不利であると考えられる。そのため、急速拡大装置を使用する時期については意見の分かれるところである。近年、15歳以上であっても正中口蓋縫合が閉鎖しないと報告され¹⁹⁾、15歳以上で急速拡大装置を適用してはいけないという理由にはならないという報告も認められる。また、外科的処置^{20, 21)}あるいは歯科用インプラントを併用した急速拡大装置^{22, 23)}により、成人でも正中口蓋縫合が離開すると報告され、急速拡大装置を適用する年齢範囲が広がっている。本研究において、McNamara 型と Hyrax 型の拡大量を比較した結果、装置に近い計測部位では有意差は認められなかったが、装置から離れた部位では、Hyrax 型の方が有意に大きい値を示した。この結果から、正中口蓋縫合の周辺だけを考えるならば、乳歯を含む McNamara 型でも拡大できるが、離れた縫合部の拡大も考えるなら、Hyrax 型を選択する方がよいことが示唆された。

また、どの部位でどのような拡大が生じるかを検討した結果、垂直方向の計測部位の違いによる拡大量の比較では、前方部、中央部、後方部のすべての計測値で、上方部で計測するほど、すなわち装置から離れるほど拡大量が小さくなる傾向を示した。また、拡大量

は、装置に対して歯槽骨頂の次に近接した計測項目である頬骨前頭縫合最下縁点の高さになると、急激に小さくなっていた。

前後方向の計測部位の違いによる拡大量の比較では、眼窩下孔を通過してフランクフルト平面と平行な平面上において、前方部と後方部での拡大量では前方部が有意に大きかった。過去にも、前方部が後方部よりも拡大量が大きかったと報告されている¹⁴⁾。一方、すべての水平面上で前方部と中央部の拡大量に差は認められなかった。さらに、フランクフルト平面上では、すべての項目に差を認めなかった。上顎急速拡大装置による側方拡大は、歯列を側方へ拡大すると同時に正中口蓋縫合の離開が認められ、顎顔面頭蓋におけるさまざまな部位で顎整形的な変化が生じることが知られており²⁻⁵⁾、装置周辺の縫合部がわずかではあるが拡大するという報告¹⁵⁾、眼窩の体積が広がるとした報告¹⁶⁾、蝶形後頭縫合部が広がるという報告¹³⁾が認められる。

以上の結果をまとめると、急速拡大装置による拡大量は、上方へ向かうにつれて、また、後方へ向かうにつれて急激に小さくなり、McNamara 型でも Hyrax 型でも同様の傾向が認められた。

結 論

McNamara 型あるいは Hyrax 型急速拡大装置を用いて上顎の側方拡大を行い、顎顔面頭蓋の三次元形態を調べた結果、以下の結論を得た。

1. McNamara 型と Hyrax 型の拡大量について、装置に近い計測部位では有意差は認められなかったが、装置から離れた部位では、Hyrax 型の方が有意に大きい値を示した。
2. 計測部位の違いによる拡大量について、上方へ向かうにつれて、また、後方へ向かうにつれて急激に小さくなり、McNamara 型でも Hyrax 型でも同様の傾向が認められた。

急速拡大装置では、装置からの距離が大きくなるほど拡大量は小さくなること、および歯に接着して用いるよりバンドを装着して用いる方が、装置から離れた部位の拡大量が大きいことが示唆された。

謝 辞

本稿を終えるにあたり、本研究にご協力いただいた、カノミ矯正・小児歯科クリニックの嘉ノ海龍三先生、ならびにスタッフの方々に感謝の意を表します。

引用文献

- 1) Angell E. Treatment of irregularities of the

- permanent or adult tooth. *Dent Cosmos*. 860; 540: 599-601.
- 2) Haas AJ. Rapid expansion of the maxillary dental arch and nasal cavity by opening the mid palatal suture. *Angle Orthod*. 1961; 31: 73-89.
 - 3) Haas AJ. Palatal expansion: just the beginning of dentofacial orthopedics. *Am J Orthod*. 1970; 57: 219-255.
 - 4) Haas AJ. Long-term posttreatment evaluation of rapid palatal expansion. *Angle Orthod*. 1980; 50: 189-217.
 - 5) Bazargani F, Feldmann I and Bondemark L. Three-dimensional analysis of effects of rapid maxillary expansion on facial sutures and bones. *Angle Orthod*. 2013; 83: 1074-1082.
 - 6) da Silva Filho OG, Montes LA and Torelly LF. Rapid maxillary expansion in the deciduous and mixed dentition evaluated through posteroanterior cephalometric analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1995; 107: 268-275.
 - 7) da Silva Filho OG, Lara TS, de Almeida AM and da Silav HC. Evaluation of the midpalatal suture during rapid palatal expansion in children: a CT study. *J Clin Pediatr Dent*. 2005; 29: 231-238.
 - 8) da Silva Filho OG, Lara TS, da Silva HC and Bertoz FA. Post expansion evaluation of the midpalatal suture in children submitted to rapid palatal expansion: a CT study. *J Clin Pediatr Dent*. 2006; 31: 142-148.
 - 9) Habersack K, Karoglan A, Sommer B and Benner KU. High-resolution multislice computerized tomography with multiplanar and 3-dimensional reformation imaging in rapid palatal expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2007; 131: 776-781.
 - 10) Franchi L, Baccetti T, Lione R, Fanucci E and Cozza P. Modifications of midpalatal sutural density induced by rapid maxillary expansion: A low-dose computed-tomography evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010; 137: 486-488.
 - 11) Phatouros A and Goonewardene MS. Morphologic changes of the palate after rapid maxillary expansion: a 3-dimensional computed tomography evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008; 134: 117-124.
 - 12) Christie KF, Boucher N and Chung CH. Effects of bonded rapid palatal expansion on the transverse dimensions of the maxilla: a cone-beam computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2010; 137: S79-85.
 - 13) Leonardi R, Cutrera A and Barbato E. Rapid maxillary expansion affects the spheno-occipital synchondrosis in youngsters. A study with low-dose computed tomography. *Angle Orthod*. 2010;80:106-110.
 - 14) Ghoneima A, Abdel-Fattah E, Hartsfield J, El-Bedwehi A, Kamel A and Kula K. Effects of rapid maxillary expansion on the cranial and circummaxillary sutures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011; 140: 510-519.
 - 15) Leonardi R, Sicurezza E, Cutrera A and Barbato E. Early post-treatment changes of circumaxillary sutures in young patients treated with rapid maxillary expansion. *Angle Orthod*. 2011; 81: 36-41.
 - 16) Sicurezza E, Palazzo G and Leonardi R. Three-dimensional computerized tomographic orbital volume and aperture width evaluation: a study in patients treated with rapid maxillary expansion. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2011; 111: 503-507.
 - 17) Kanomi R, Deguchi T, Kakuno E, Takano-Yamamoto T and Roberts WE. CBCT of skeletal changes following rapid maxillary expansion to increase arch-length with a development-dependent bonded or banded appliance. *Angle Orthod*. 2013; 83: 851-857.
 - 18) 相馬邦道, 飯田順一郎, 山本照子, 葛西一貴, 後藤滋巳. 歯科矯正学 第5版. 東京: 医歯薬出版; 2017: 233-234.
 - 19) Tonello DL, Ladewig VM, Guedes FP, Ferreira Conti ACC, Almeida-Pedrin RR and Capellozza-Filho L. Midpalatal suture maturation in 11- to 15-year-olds: A cone-beam computed tomographic study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2017; 152: 42-48.
 - 20) Koudstaal MJ, Poort LJ, van der Wal KG, Wolvius EB, Prahl-Andersen B and Schulten AJ. Surgically assisted rapid maxillary expansion (SARME): a review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2005; 34: 709-714.
 - 21) Suri L and Taneja P. Surgically assisted rapid palatal expansion: a literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008; 133: 290-302.
 - 22) Carlson C, Sung J, McComb RW, Machado AW and Moon W. Microimplant-assisted rapid palatal expansion appliance to orthopedically correct transverse maxillary deficiency in an adult. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2016; 149: 716-728.
 - 23) Lee RJ, Moon W and Hong C. Effects of monocortical and bicortical mini-implant anchorage on bone-borne palatal expansion using finite element analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2017; 151: 887-897.