

上顎側方拡大装置を用いた口蓋形態の拡大様相と口腔機能の関連について

日本大学大学院松戸歯学研究科歯学専攻

和仁 俊夫

(指導：根岸 慎一教授)

本まとめ論文は、下記の参考論文をまとめたものである。

(主となる参考論文)

Toshio Wani, Kaori Ishii, Yusuke Suzuki, Aoi Yoshizawa, Kazutaka Kasai and Shinichi Negishi

The relationship between morphological changes and oral function before and after slow palate expansion

Clinical and Investigative Orthodontics 令和5年1月オンライン掲載

(副となる参考論文)

Negishi Shinichi, Richards Lindsay C, Hughes Toby, Wani Toshio, Kondo Shintaro, and Kasai Kazutaka

Longitudinal Morphological Change of the Palate in Japanese Children Aged 6 – 12 Years

International Journal of Oral-Medical Sciences 第20巻1号 令和3年6月発行

## 【Abstract】

Recent reports indicate that the dental arch width of Japanese children is narrowing due to weakened oral functions. Genetic and environmental factors are involved in the development of malocclusion, and oral function as an environmental factor influences the growth and development of maxillofacial morphology. It is different from an organic disorder, and is a condition that appears due to a combination of factors caused by several functional impairments. A proper understanding of these factors and prediction of morphological growth will determine the success and long-term stability of treatment. In orthodontic clinical practice, slow palate expansion (SPE) with a removable expansion plate is often chosen for its excellent oral hygiene and low patient burden. In terms of the method of lateral expansion of the maxillary dentition, rapid palate expansion (RPE) and SPE are often considered as options when classified according to expansion speed. In general, RPE is expected to benefit from the jaw shaping force due to the release of the median palatal suture, whereas no unified conclusion has been reached regarding the release of the median palatal suture at SPE.

Therefore, in Study 1, longitudinal changes in the palate morphology in Japanese children aged 6 – 12 years were investigated to clarify the reference values for growth changes over time, and in Study 2, the relationships between the expansion aspect of palatal morphology and oral function in SPE were investigated. The study was approved by the Ethics Committee of Nihon University School of Dentistry at Matsudo (EC17-16-16-15-022-3, EC-20-038) .

In Study 1, subjects were selected from 158 subjects who fulfilled the following conditions from a longitudinal study of the same subjects over a six-year period from the first to sixth grades at KOGASAKI primary school in Matsudo, Chiba Prefecture, Japan, from 2011 to 2016. The selection criteria were as follows: all permanent teeth up to the first molar were present in the sixth grade of elementary school, no excess or congenitally missing teeth (except for the third molar), no extensive restorations, no severely carious teeth with crown collapse, no ectopic eruption or abnormal tooth morphology, and no history of orthodontic treatment. 36 subjects (17 boys, 19 girls) met the selection criteria. These subjects were divided into three developmental stages according to dental status. In T1 (boys:  $8.0 \pm 0.6$  years, girls:  $7.5 \pm 0.4$  years, early mixed -

dentition), the maxillary permanent first molars and central incisors were fully erupted, with four deciduous teeth remaining in each quadrant. In T2(boys:9.9±0.9years, girls:9.2±0.7 years, mid mixed - dentition), the maxillary lateral incisor fully erupted with two or three deciduous teeth remaining in each quadrant. In T3(boys: 12.0±0.9 years, girls: 12.0±0.7 years), most permanent teeth were fully erupted, with one deciduous tooth remaining in each quadrant. The parents or legal guardians of all participants provided informed consent.

The palatal morphology was measured by digitizing the maxillary dentition model with a non-contact three-dimensional (3D) shape measuring device (Maestro 3D Ortho System, Yasunaga Computer System, Fukui, Japan) and then measuring it with 3D measurement software (3D-Rugle version 8, Medic Engineering, Kyoto, Japan). The palatal width diameter was defined as a straight line connecting the deepest point of the cervical region of the maxillary first molars. Then, a perpendicular line was drawn from both lines to the deepest point of the palate, and the distance was divided into ten equal parts. Next, a straight line parallel to the reference plane was drawn from each of the ten parts to the palate, and the distance between the intersection points with the palate was divided from 1 (basal part) to 10 (the deepest point of the palatal side cervix). Location 2 was defined as the deep width (DW), 5 as the middle width (MW), and 8 as the shallow width (SW) position. Palatal depth (PD) was measured from a reference plane to the deepest point on the palate.

Results showed no significant differences between males and females at all measurement periods: T1 (early mixed-dentition), T2 (mid mixed - dentition), and T3 (late mixed-dentition). DW and MW showed a significant increase at T1-T2, and PD showed a significant increase at T2-T3. SW showed no significant difference between T1-T2-T3.

The growth peak of the palatal morphology was observed at a later time for the palatal depth compared to the palatal width (DW, MW).

The amount of growth was also larger in the deeper part of the palate, suggesting that the palatal morphology changed from a V-shaped to a box-shaped growth when evaluated in the coronal plane.

In Study 2, 22 patients (10 boys and 12 girls, mean age  $9.3 \pm 1.0$  years) of Hellman dentition age IIIA-IIIB who visited the orthodontic clinic of Nihon University School of Dentistry at Matsudo, were diagnosed with dental narrowing and underwent expansion by SPE.

Changes in palatal morphology were assessed before and after SPE according to the methods of Study 1. We also assessed the occlusal force, tongue raising force, and masticatory movement patterns, representing the oral function. Changes in the hyoid and resting tongue position before and after treatment were also evaluated by lateral cephalometric radiographs. Finally, the patients were divided into two groups based on the enlargement frequency (once every two weeks or once per week) for measurement comparisons.

We found that the amount of expansion at the deep width of the palate was half that at the shallow width. Furthermore, tongue pressure force, lip closure force, and maximum occlusal force improved after the treatment. Additionally, multiple regression analysis indicated that the resting tongue position and occlusal force before the expansion treatment were significantly associated with the amount of palate expansion. A study using finite element analysis of lateral growth of palatal morphology, it was reported that the stress on the median palatal suture was greater in molar-motor chewers with a strong lateral motion component than in those without such a component, and that the stimulation may promote lateral growth. Multiple regression analysis showed that there was no association between masticatory path width and the amount of expansion at t1, which was inconsistent with the results of previous studies. On the other hand, maximum occlusal force before SPE was strongly associated with lateral expansion of palatal morphology.

Study 1 showed that the growth peak of palatal morphology was later for palatal depth (PD) compared to palatal width (DW, MW).

Study 2 showed that SPE increased tongue pressure force, lip closure force, and maximum occlusal force in addition to morphological changes.

SPE showed the possibility of basal palatal expansion.

## 【緒言】

近年、ものを噛まない、噛めない、うまく飲み込めないという摂食および嚥下機能に問題がある日本人児童が増加しており、児童の口腔機能の低下<sup>1)</sup>が進んでいるといわれている。また、近年の歯列の成長の特徴は、歯列弓幅径の狭窄化傾向にあると報告されている<sup>2)</sup>。不正咬合の発症には遺伝的・環境的要因とエピジェネティクスが関与しており、歯の形質は、遺伝的・環境的要因とエピジェネティクスが複雑に関与<sup>3)</sup>し、環境的要因としての口腔機能は顎顔面形態の成長発育に影響を与える。Fujita et al.<sup>4)</sup>は、食生活の軟食化が顎骨の形成を遅らせることを報告しており、Ichikawa et al.<sup>5)</sup>は、小児において舌圧は咀嚼能力の向上と密接な関係があり、口蓋正中縫合部の軟骨細胞の発達・成熟と関係があると報告している。また、Araujo et al.<sup>6)</sup>は矯正治療の必要性が高い不正咬合患者は、健常者と比べて、咬合力が弱いと報告している。また、根岸ら<sup>7)</sup>は、有限要素法を用いて、活発な咀嚼運動を営んでいる者はそうでない者と比べて正中口蓋縫合に与える応力が大きく、口蓋骨の側方成長に影響すると述べ、さらに、双生児法を用いた研究で口蓋深部は、浅部に比べて環境要因の寄与が大きいことを報告している<sup>8)</sup>。このように、口蓋形態の成長は環境因子である口腔機能と密接に関係している。

矯正歯科臨床において、成長期の狭窄歯列に対して歯列弓の側方拡大治療が用いられることが多い。Gracco et al.<sup>9)</sup>は、急速拡大装置による口蓋の拡大後に歯列幅径と口蓋容積が増加したことを報告しており、Hirateら<sup>10)</sup>は、混合歯列期の歯列狭窄患者に急速拡大治療（rapid palatal expansion 以下、RPE）を行なったところ、口蓋基底幅径の増加と舌挙上圧および咀嚼経路幅の間に正の相関を認めたと述べている。他にもRPE後に口蓋容積の増加にともない口腔機能や舌位が変化する報告は多い<sup>11-13)</sup>。このように、短期間で口蓋形態を拡大させることができるRPEによる口蓋形態の変化や口腔機能への影響は散見されるが、RPEよりは長期間だが可徹式で患者の口腔衛生状況に優れている上顎緩徐拡大治療（slow palatal expansion 以下、SPE）による口蓋形態の変化と口腔機能との関連を報告したものは少ない。そこで本研究では、一般集団の口蓋形態の平均的成長変化を3次元的に計測するとともに、SPEによる拡大治療前後の拡大様相と口腔機能の関連を解明することを目的とする。

研究 1 では口蓋形態の経年成長変化の基準値を明らかにするため、6-12 歳の口蓋形態の縦断的变化を調査し、研究 2 では、SPE における口蓋形態の拡大様相と口腔機能の関連を調査することを目的として、日本大学松戸歯学部付属病院矯正歯科に来院し、SPE を行なった患児を対象に治療前後の比較を行った。

## 研究 1. 口蓋形態の縦断的变化

### 【資料および方法】

#### I. 対象

被験者は、2011～2016 年に千葉県松戸市立古ヶ崎小学校 1 年生から 6 年生の 6 年間にわたる同一被験者の縦断的調査を行った 158 名から以下の条件を満たしている者とした。選択条件は小学校 6 年生において第一大臼歯までのすべての永久歯が存在する者、過剰歯や先天性欠如がない者（第三大臼歯を除く）、広範囲の修復物がない者、歯冠崩壊を伴う重度う蝕歯がない者、異所萌出や歯の形態異常がない者、矯正治療の既往がない者とした。対象者は、36 名（男児：17 名、女児：19 名）となり、歯の萌出状況に応じて、Hellman の歯齡ⅢA-ⅢB 期を混合歯列前期として T1（男児：8.0±0.6 歳、女児：7.5±0.4 歳；Hellman の歯齡ⅢA 期，上顎中切歯および上顎第一大臼歯が完全萌出し，乳歯が各歯列に 4 歯残存している時期），混合歯列中期として T2（男子：9.9±0.9 歳，女子：9.2±0.7 歳；Hellman の歯齡ⅢB 期，上顎側切歯は完全萌出し，各歯列に 2～3 歯の乳歯が残存している時期），混合歯列後期として T3（男子：12.0±0.9 歳，女子：12.0±0.7 歳；Hellman の歯齡ⅢB 期，ほとんどの永久歯が萌出し，各歯列に 1 歯ずつ乳歯が残存している時期）の 3 時期で評価した。なお，資料採得にあたって事前に研究の目的，内容を十分に説明し，同意を得たものを対象とした。日本大学松戸歯学部倫理委員会の承認（EC17-16-16-15-022-3 号）を受けている。

#### II. 計測項目

##### 1) 口蓋形態計測

口蓋形態の計測は上顎歯列模型を非接触型三次元形状測定装置（マエストロ 3D オルソシステム，安永コンピュータシステム，福井）によりデジタル化（standard triangulated language 以下，STL）し，三次元計測ソフト 3D-Rugle（株式会社メディックエンジニアリング，京都）にて計測を行った。

基準平面を上顎左右側中切歯歯頸部最深点および上顎左右側第一大臼歯舌側面溝の4点を通る平面とし、上顎第一大臼歯歯頸部最深点間を結ぶ直線上から、口蓋最深部への垂線を口蓋高径 (palatal depth 以下, PD) とした。その距離を10等分し、10等分した各々の高さから基準平面に平行な直線を口蓋に対して引き、口蓋との交点間距離を① (基底部) から⑩ (口蓋側歯頸部最深点) に分けた。また、②を口蓋深部幅径 (deep width 以下, DW), ⑤を口蓋中央部幅径 (middle width 以下, MW), ⑧を口蓋浅部幅径 (shallow width 以下, SW) とした。(図1, 2)

### III. 統計解析

計測値の信頼度の検証として、測定中に発生した誤差の重要性を評価するため、最初の測定から1ヶ月以上後に2回目の計測を行い、36の変数を対応のあるt検定 (信頼区間95%) により系統的な誤差を求め、Dahlberg<sup>14)</sup> の double determination method の式 ( $\text{measurement error} = \sqrt{\Sigma d^2 / 2n}$ )、dは1回目と2回目の計測値間の差、nは計測のペア数を用いて、36ペアの計測をし、全分散に対する誤差分散の割合 (誤差%) を求めた。1回目と2回目の平均値の差は0.05mm~0.18mmで、対応のあるt検定で有意となった計測項目はなかった。以上から、系統誤差が分析結果に影響を与えることは、ほとんどないと考えられる。また、Dahlberg<sup>14)</sup> の式で計算した偶発誤差は、口蓋形態計測の距離測定では0.18mm以下であり、標本分散に対する各測定項目の誤差分散の割合は、いずれも0.13%-0.32%以内であった。したがって、統計的に見ても、測定誤差の影響は十分に小さく、結果を左右することはないと思われる。

口蓋幅径および口蓋高径の男女間比較はMann-WhitneyのU検定を行い、各計測時期の成長変化量はSteel-Dwass検定による多重比較で検出した。それぞれの危険率を有意水準5%および1%以下とした。なおこれらの計算はSPSS version 28.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) によって行った。

#### 【結果】

表1に、T1 (混合歯列前期), T2 (混合歯列中期), T3 (混合歯列後期) の各計測時期における口蓋形態の計測値の男女比較を示す。すべての計測時期で口蓋幅径 (DW, MW, SW) とPDにおいて男女間に有意差は認められなかった。



表 1 よりすべての計測時期で男女間に有意な差は認められなかったことから、表 2 に、T1, T2, T3 の各計測時期における全被験者の口蓋形態成長量を領域別に示す。DW, MW は T1-T2 で有意に増加した。PD は T2-T3 で有意に増加した。

## 研究 2. SPE による口蓋形態の拡大様相と口腔機能の関連

### 【資料および方法】

#### I. 対象

被験者は、日本大学松戸歯学部附属病院矯正歯科に来院し、SPE にて狭窄歯列拡大治療を行なった Hellman の歯齡ⅢA-ⅢB 期の患児 22 名（男児 10 名，女児 12 名，平均年齢  $9.3 \pm 1.0$  歳）とした。選択条件は矯正歯科治療の既往がない者，前歯部および臼歯部に交叉咬合がない者，可撤式装置の使用が可能な者とした。また，除外条件として，顎顔面奇形を伴う先天疾患を有する者，歯冠崩壊を伴う重度う蝕歯を有する者，永久歯の先天的欠如がある者（第三大臼歯を除く），鼻咽腔疾患に対する外科的治療歴を有する者，舌疾患に対する外科的治療歴を有する者（舌小帯強直症等），小帯の異常付着を認める者とした。なお，資料採得にあたって事前に研究の目的，内容を十分に説明し，同意を得たものを対象とした。日本大学松戸歯学部倫理委員会の承認（EC 20-038 号）を受けている。

#### II. 拡大方法

SPE には可撤式緩徐拡大装置（図 3）を 1 日 20 時間以上使用した。SPE 開始時（t1）の平均年齢は  $9.3 \pm 1.0$  歳，SPE 終了時（t2）の平均年齢は  $10.0 \pm 1.0$  歳であり，平均治療期間は  $9.0 \pm 3.9$  ヶ月，可撤式緩徐拡大装置の平均拡大量は  $3.2 \pm 1.2 \text{mm}$  であった。拡大頻度による効果の違いを検討するため，2 週間に  $0.2 \text{mm}$  拡大する A 群と 1 週間に  $0.2 \text{mm}$  拡大する B 群に分類した。

治療期間や可撤式拡大装置の拡大量は被験者によって異なるため，以下の式により拡大率を算出し標準化を行なった。なお，口蓋拡大量を t2 から t1 の差とし，装置拡大量を電子デジタルノギス（MAX-CAL，ミットヨ，神奈川，最小メモリ  $0.01 \text{mm}$ ）にて計測した。

$$\text{拡大率 (\%)} = (\text{口蓋拡大量 [mm]} / \text{装置拡大量 [mm]}) \times 100$$

#### III. 計測項目

## 1) 形態計測

### i) 口蓋形態計測

研究 1 の方法に準じて行った。

### ii) 安静位舌骨位計測 (図 4)

Cheng et al.<sup>15)</sup> の方法を参考にし、X 軸は SN 平面から 7 度上方のナジオン (nasion 以下, N) を通る線を引き、Y 軸は X 軸に直角なセラ (sella 以下, S) を通る線とした。舌骨の最前方部 (hyoid bone 以下, H) から X 軸の最短距離を安静位舌骨位の垂直的距離 (Hyoid-V) とし、H から Y 軸の最短距離を安静位舌骨位の水平的距離 (Hyoid-H) とし計測した。

### iii) 安静位舌位計測 (図 5)

Ozbek et al.<sup>12)</sup> の方法を参考にし、舌最上方点 (upper tongue point 以下, Tu) は正中矢状面の下顎骨最後方点 (retrognathion 以下, RGN) - 喉頭蓋谷の最深部 (base of epiglottis 以下, Eb) を結ぶ直線に平行な直線と舌が交わる点の最上方点とし、舌骨の最前方部 (hyoid bone 以下, H) と Tu の中点を C 点とした。C - 前鼻棘 (anterior nasal spine 以下, ANS) と C - 後鼻棘 (posterior nasal spine 以下, PNS) のなす角度を 7 等分する線上の舌と口蓋の距離を Ta とし前方から Ta1-Ta8 と設定した。Ta2 を前方部舌位, Ta5 を中央部舌位, Ta7 を後方部舌位とした。

## 2) 口腔機能計測

口腔機能の計測は座位にて、安静時にフランクフルト平面が床と平行になる状態で行った。

### i) 舌挙上圧

津賀<sup>16)</sup> の方法を参考にし、舌挙上圧は舌圧測定器 (JMS 舌圧測定器, ジェイ・エム・エス, 広島) を用い、バルーン部を口蓋前方部に接触させた状態で、硬質リング部を上下顎前歯で軽く挟むようにし、バルーンを舌で口蓋前方部に向けて押しつぶさせ計測した。計測は計 3 回行い、中央値を被験児童の舌挙上圧とした。

### ii) 口唇閉鎖力

木下ら<sup>17)</sup> の方法を参考にし、口唇閉鎖力は口唇閉鎖力測定器 (LIP DE CUM, コスモ計器, 東京) を用い、上下顎臼歯部を離開させた状態

で計測した。1回の計測は5秒間とし、計3回行い、中央値を被験児童の口唇閉鎖力とした。

### iii) 最大咬合力

飯島ら<sup>18)</sup>の方法を参考にし、最大咬合力は簡易型咬合力計（オクルーザルフォースメーターGM10，長野計器製作所，東京）を用いた。測定者が咬合力センサーを上顎第一大臼歯に接触させた状態から、被験者に噛みしめ運動を行わせ計測した。計測は左右3回ずつ行い、中央値を被験児童の最大咬合力とした。

### iv) 咀嚼経路幅（図6）

Negishi et al.<sup>19)</sup>の方法を参考にし、咀嚼運動の計測には光学式モーションキャプチャーを応用した簡易型顎運動計測器（DigiGnatho，ライズ（株），宮城）を用いた。対象者の鼻尖部および軟組織メントンに直径8.0mmのマーカールを取り付け、ガム（ポスカ・エフ（POs-Ca F），江崎グリコ（株），大阪）を自由咀嚼させた。咀嚼開始後第5ストロークから第14ストロークまでの計10ストロークを対象として分析を行った。図6に示す平均咀嚼経路の分割点について、便宜的に咬頭嵌合位をLevel 0，最大開口位をLevel 10と定めて，Level 1からLevel 9にそれぞれ相当する開口路から閉口路までの距離を求め，それらの平均値を咀嚼経路幅とした。

## IV. 統計方法

計測値の信頼度の検証として，測定中に発生した誤差の重要性を評価するため，最初の測定から1ヶ月以上後に2回目の計測を行い，22の変数を対応のあるt検定（信頼区間95%）により系統的な誤差を求め，Dahlberg<sup>14)</sup>のdouble determination methodの式（ $\text{measurement error} = \sqrt{\frac{\sum d^2}{2n}}$ ），dは1回目と2回目の計測値間の差，nは計測のペア数を用いて，22ペアの計測をし，全分散に対する誤差分散の割合（誤差%）を求めた。1回目と2回目の平均値の差は0.26mm～0.03mmで，対応のあるt検定で有意となった計測項目はなかった。以上から，系統誤差が分析結果に影響を与えることは，ほとんどないと考えられる。また，Dahlberg<sup>14)</sup>の式で計算した偶発誤差は，口蓋形態計測の距離測定では0.29mm以下，安静位舌骨位および舌位では0.59mm以下であり，標本分散に対する各測定項目の誤差分散の割合は，いずれも0.13%-2.83%以内であった。したがって，統計的に見ても，測定誤差の影響は十分に小さく，結果を左右することはないと思われる。

各計測項目について、男女間の比較は Mann-Whitney の U 検定を行い、SPE 前後および拡大頻度（A 群と B 群）は Wilcoxon の符号付き順位検定で比較した。また、口蓋形態の拡大量と初診時の各計測項目の関係について重回帰分析を行った。それぞれの危険率を有意水準 5% および 1% 以下とした。これらの計算は SPSS version 28.0（IBM Corp., Armonk, NY, USA）によって行った。

## 【結果】

### 1) 形態計測

表 3 に、SPE による各計測項目への影響の男女比較を示す。すべての項目において男女間に有意差はなかった。

表 4 に、SPE 前後の各計測項目を示す。t1-t2 で上顎第一大臼歯間幅径、口蓋領域および安静位舌骨位のすべての計測項目で有意に増加し、安静位舌位は t1-t2 で有意差は認められなかった。

表 5 に、SPE による拡大率および拡大頻度別の比較を示す。DW で約 35.5%，MW で約 46.5%，SW で約 63.5% であった。拡大頻度別に比較すると有意な差は認められなかったものの、A 群（0.2mm/2 週間）より B 群（0.2mm/1 週間）の方が大きい値を示した。

表 6 に、拡大治療前後の口腔機能の変化の比較を示す。治療前後で舌挙上圧、口唇閉鎖力、最大咬合力は有意に上昇し、咀嚼経路幅に変化はなかった。

表 7 に、口蓋幅径の拡大量に対する t1 時の各計測項目の重回帰分析を示す。DW および MW の拡大量は t1 時の安静位舌骨位と舌前方部の垂直的位置が影響しており、DW、MW および SW の拡大量は t1 時の最大咬合力が影響していた。

## 【考察】

### （研究 1）

矯正歯科臨床において、治療計画の立案および治療後の保定管理の際に、咬合、骨格および顔面の成長パターンを理解することは重要である<sup>20,21)</sup>。特に混合歯列期の治療の場合、形態の成長について予測をすることは治療の成

功の鍵を握る。狭窄歯列に対する側方拡大治療は、スペースの獲得により、成人矯正治療において抜歯や外科的矯正治療を回避できる可能性<sup>22)</sup>があるため、臨床において頻繁に行われている。

本研究では、成長パラメータにおける第二次性徴を考慮し、歯年齢を用いて T1 (混合歯列前期) , T2 (混合歯列中期) , T3 (混合歯列後期) に群分けした。T1 から T3 にかけて、すべての口蓋形態の計測項目は増加を示した。DW および MW が T1-T2 で有意に増加し、PD は T2-T3 で有意に増加した。また、SW は T1-T2-T3 で有意な増加は認められなかった。この結果より、口蓋形態の成長ピークは、口蓋幅径 (DW, MW) と比較すると口蓋高径 (PD) の方が遅いことが示された。また、成長量において口蓋深部は、T1-T2 で有意に増加したのに対して、口蓋浅部は有意な増加が認められなかったことより、口蓋形態を冠状面で評価すると V 字型から Box 型に成長変化していると示唆された。

## (研究 2)

上顎歯列側方拡大の方法はいくつかの種類があり、拡大速度による分類では RPE と SPE を選択肢として考慮することが多い。一般的に RPE は正中口蓋縫合の離開による顎整形力に対し、SPE は歯軸傾斜の効果を期待する<sup>23,24)</sup>。一方、Proffit et al.<sup>25)</sup> は、SPE は口蓋基底部を拡大することが可能としており、また、Fastuca et al.<sup>26)</sup> も SPE による正中口蓋縫合の離開の可能性を示している。このように、SPE の拡大様相は過去の報告からも統一した結果は得られていない。本研究では、SPE による口蓋形態の拡大様相に加えて、拡大頻度別の拡大様相についても調査を行なったところ、DW は SW と比較して拡大率は低い約 35.5%の拡大率を示しており、SPE による口蓋基底部の拡大の可能性を示した。また、拡大頻度において、Storey<sup>27)</sup> は、可徹式緩徐拡大装置は週に 1 回拡大するのが最も効率的であると報告している。逆に John<sup>28)</sup> は、0.1mm/日の拡大量が効率的と述べている。これは、1 回の拡大量が歯根膜幅より小さいため、歯根膜を傷つけることなく至適矯正力を負荷できるからである。このように、拡大頻度による効果について様々な報告がされているが、一定の結論を得られてはいない。本研究では、A 群と B 群の拡大頻度別の各測定項目には有意差は認められなかったが、DW (7.1%) , MW (10.5%) および第一大臼歯幅径 (17.5%) において両群間で拡大率に差が認

められ、2週間に1回の活性化をする方が効果的であることが示唆された。今後、対象者を増やして検証していく必要がある。

矯正治療中の舌位において、Afzal et al.<sup>29)</sup> は成長期の患者を対象にツインブロック装置を使用すると、舌骨が下方変移し、舌位が低下すると述べ、Schütz et al.<sup>30)</sup> は、下顎劣成長患者を対象に、下顎骨および舌骨の前方変位が舌の前方牽引を惹起すると報告した。他にも、RPE 後、口蓋容積の増加により安静位舌骨と舌位が挙上したことが報告<sup>11-13)</sup> されている。これに対し、我々のSPEの研究では、治療後に安静位舌骨位は後下方へ変移し、安静位舌位も挙上しないというこれまでの報告と逆の結果になった。これについては、SPEは治療期間がRPEと比べて長期間であるため、装置の厚みにより口腔内容積が減少し、舌位および舌骨位が習慣的に低位となっているのではないかと考えられる。

また、歯列拡大への口腔機能の影響について、Yu et al.<sup>31)</sup> は、舌圧と歯列弓形態の関連を接触センサーにて評価し、舌圧と歯列弓幅径および長径に有意な正の相関があることを報告している。さらに、Kurabeishi et al.<sup>32)</sup> は、日本人小児を骨格で群分けし、最大舌圧と嚥下舌圧および最大舌圧と口蓋容積の関係を検討し、両群に相関があることを明らかにした。Negishi et al.<sup>8)</sup> は、双生児法を用いて口蓋形態の遺伝要因と環境要因を調査し、口蓋深部は環境要因の寄与が大きいと影響を与えると報告している。Hashimoto ら<sup>33)</sup> は、ダウン症患者の舌機能と口蓋形態の関係を調査し、嚥下時舌圧が脆弱な者は口蓋幅径が狭窄していると述べた。本研究結果 SPE 後に舌圧挙上圧、口唇閉鎖力、最大咬合力が有意に増加し、咀嚼経路幅に変化はなかった。舌挙上圧の上昇に関して、側方拡大により口蓋容積が増加し、舌の挙上が容易になったためと考えられる。口唇閉鎖力の上昇に関して、バクシネーターメカニズム<sup>34)</sup> により歯列内の機能圧である舌圧の上昇に伴い、口腔外の口輪筋が共鳴し口唇閉鎖力の上昇に繋がったのではないかと推測される。最大咬合力の上昇に関して、咬合接触面積の増加および咬合力の増加は密接に関連している<sup>35)</sup> ことから、側方拡大により咬頭嵌合位が変化し、咬合接触面積が増加したため、咬合力が上昇したと考察する。SPEは口蓋形態が緩徐に拡大するため、口腔機能がより適応しやすいのではないかと考えられる。

また、本研究では t1 の各計測項目が口蓋幅径の拡大様相にどのように寄与するかを理解するために重回帰分析を行なった。その結果、DW および MW の拡大量は t1 時の安静位舌骨位と舌前方部の垂直的位置が影響しており、DW、MW および SW の拡大量は t1 時の最大咬合力が影響を及ぼしていることが示唆された。

根岸ら<sup>7)</sup>は、有限要素法による解析を行い、側方運動成分の強い臼磨運動咀嚼をしている者は、そうでない者に比べて口蓋正中縫合にかかる応力が大きく、その刺激により口蓋形態の側方成長を促進する可能性があることを報告している。重回帰分析の結果、t1 時の咀嚼経路幅と拡大量には関連がなく、これまでの研究結果とは一致しないことが示された。一方、t1 時の最大咬合力は口蓋形態の側方拡大との関連が強い結果となった。

本研究結果より、口蓋形態の成長変化は部位によりピークが異なる可能性が示され、拡大治療において、口腔機能が影響していることが示唆された。

#### 【結論】

口蓋形態の成長に男女差はなく、口蓋成長のピークは、口蓋幅径（DW、MW）と比較すると口蓋高径（PD）の方が遅い時期であった。

SPE による口蓋形態の変化に男女差はなく、すべての項目で有意な増加を認めた。また、SPE においても、口蓋基底部の拡大が可能であることが示された。

口蓋の拡大効果に口腔機能、安静位舌骨位および安静位舌位が関連していた。

#### 【参考文献】

- 1) 日本歯科医学会編: 口腔機能発達不全症に関する基本的な考え方, 第2版, 1-9, 東京, 2020.
- 2) 葛西一貴, 根岸慎一, 林亮助, 他: 成長期児童における歯列弓形態の成長変化に関する研究, *Orthod Waves-Jpn Ed*, 69(1): 23-35, 2010.
- 3) Kondo S, Townsend G, Matsuno M: Morphological variation of the maxillary lateral incisor, *Jpn Dent Sci Rev*, 50:100-107, 2014.
- 4) Fujita Y, Maki K: Association of feeding behavior with jaw bone metabolism and tongue pressure, *Jpn Dent Sci Rev*, 54:174-182, 2018.

- 5) Ichikawa M, Fujita Y, Hamaguchi A, et al.: Association of tongue pressure with masticatory performance and dental conditions in Japanese children, *Pediatr Dent J*, 26:51-59, 2016.
- 6) Araujo DS, Marquezin MC, Barbosa TS, et al.: Evaluation of masticatory parameters in overweight and obese children, *Eur J Oral Sci*, 38:393-397, 2016.
- 7) 根岸慎一, 林亮助, 中川敦仁, 他: 咀嚼力が小児の正中口蓋縫合に及ぼす力学的影響—三次元有限要素法による解析—, *Orthod Waves-Jpn Ed*, 72(3): 164-172, 2013.
- 8) Negishi S, Richards LC, Hughes T, et al.: Genetic contribution to palatal morphology variation using three-dimensional analysis in Australian twins. *Arch Oral Biol*, 115: doi: 10.1016/j.archoralbio.2020.104740, 2020.
- 9) Gracco A, Malaguti A, Lombardo L, et al.: Palatal volume following rapid maxillary expansion in mixed dentition. *Angle Orthod*, 80:153-159, 2010.
- 10) Hirate R, Negishi S, Saitoh K, et al.: Effects of palatal morphology on rapid maxillary expansion during the rapid expansion stage. *Int J Oral Med Sci*, 12:161-270, 2013.
- 11) Iwasaki T, Saitoh I, Takemoto Y, et al.: Tongue posture improvement and pharyngeal airway enlargement as secondary effects of rapid maxillary expansion: A cone-beam computed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 143:235-245, 2013.
- 12) Ozbek MM, Memikoglu UTT, Altug-Atac AT, et al.: Stability of maxillary expansion and tongue posture. *Angle Orthod*, 79:214-220 2009.
- 13) Phoenix A, Valiathan M, Nelson S, et al.: Changes in hyoid bone position following rapid maxillary expansion in adolescents. *Angle Orthod*, 81:632-638, 2011.
- 14) Dahlberg G.: *Statistical methods for medical and biological students*. London: George Allen and Unwin Ltd., 83:122-132, 1940.
- 15) Cheng JH, Hsiao SY, Chen MC, et al.: Relationship between hyoid bone and pharyngeal airway in different skeletal patterns. *J Dent Sci*, 15:286-293, 2020.
- 16) 津賀一弘: 高齢者の口腔機能向上への舌圧検査の応用, *日補綴会誌*, 8: 52-57, 2016.
- 17) 木下三樹夫, 神原敏之, 川本達雄: 成長期の小児における最大口唇閉鎖圧について, *歯科医学*, 70(1): 30-34, 2007.



- 18) 飯島英世, 小笠原克哉, 浅野綾子, 他: 山梨県咬合育成事業モデル校 (小学校) における歯科実態調査 第 2 報 顎機能診査の結果について, 小児歯科学雑誌, 40(5): 783-789, 2002.
- 19) Negishi S, Richards LC, Kasai K: Relation of dietary preference to masticatory movement and masticatory exercises in Japanese children. Arch Oral Biol, 108: 104540: doi: 10.1016/j.archoralbio.2019.104540, 2019.
- 20) Tibana RH, Palagi LM, Miguel JA: Changes in dental arch measurements of young adults with normal occlusion - a longitudinal study. Angle Orthod, 74: 618 – 623, 2004.
- 21) Formby WA, Nanda RS, Currier GF: Longitudinal changes in the adult facial profile. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 105: 464–476, 1994.
- 22) Geran RG, McNamara JA Jr, Baccetti T, Franchi L, Shapiro LM: A prospective long-term study on the effects of rapid maxillary expansion in the early mixed dentition. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 129: 631–640, 2006.
- 23) Pereira JDS, Jacob HB, Locks A, et al.: Evaluation of the rapid and slow maxillary expansion using cone-beam computed tomography: a randomized clinical trial. Dental Press J Orthod, 22:61-68, 2017.
- 24) Agarwal A, Mathur R: Maxillary expansion. Int J Clin Pediatr Dent, 3:139-146, 2010.
- 25) Proffit WR: Treatment of Skeletal Transverse and Class III Problems; *in Contemporary orthodontics* (Fields HW, Larson BE, Sarver D, ed), Chapter 13 6th ed, 433-436, Elsevier Academic Press, Amsterdam, (Netherlands), 2018.
- 26) Fastuca R, Michelotti A, Nucera R, et al.: Midpalatal Suture Density Evaluation after Rapid and Slow Maxillary Expansion with a Low-Dose CT Protocol: A Retrospective Study. Medicina (Kaunas), 56(3):112: doi:10.3390/medicina56030112.2020.
- 27) Storey E. Tissue response to the movement of bones. Am J Orthod 1973;64: 229-247.
- 28) John M; 北總征男 (訳) : 不正咬合の原因と治療, 第 2 版, 205-206, 東京臨床出版, 東京, 2017; The cause and cure of malocclusion, 2nd ed, Printstation Ltd. Blackboys, East Sussex England, 2013.
- 29) Afzal E, Fida M: Evaluation of the change in the tongue posture and in the hyoid bone position after Twin Block appliance therapy in skeletal class II subjects. Dent Med Probl, 56:379-384, 2019.

- 30) Schütz T, Dominguez G, Hallinan M, et al.: Class II correction improves nocturnal breathing in adolescents. *Angle Orthod*, 81:222-228, 2011.
- 31) Yu M, Gao X: Tongue pressure distribution of individual normal occlusions and exploration of related factors. *J Oral Rehabil*, 46:249-256, 2019.
- 32) Kurabeishi H, Tatsuo R, Makoto N, et al.: Relationship between tongue pressure and maxillofacial morphology in Japanese children based on skeletal classification. *J Oral Rehabil*, 45:684-691, 2018.
- 33) Hashimoto M, Igari I, Hanawa S, et al.: Tongue pressure during swallowing in adults with down syndrome and its relationship with palatal morphology. *Dysphagia*, 29:509-518, 2014.
- 34) 飯田順一郎, 葛西一貴, 後藤滋巳, 他. 歯科矯正学. 第6版. 東京: 医歯薬出版, 2019: 71-73.
- 35) Kwon H, Park SH, Jung HI, et al.: Comparison of the bite force and occlusal contact area of the deviated and non-deviated sides after intraoral vertical ramus osteotomy in skeletal Class III patients with mandibular asymmetry: Two-year follow-up. *Korean J Orthod*, 52(3):172-181, 2022.

【図】

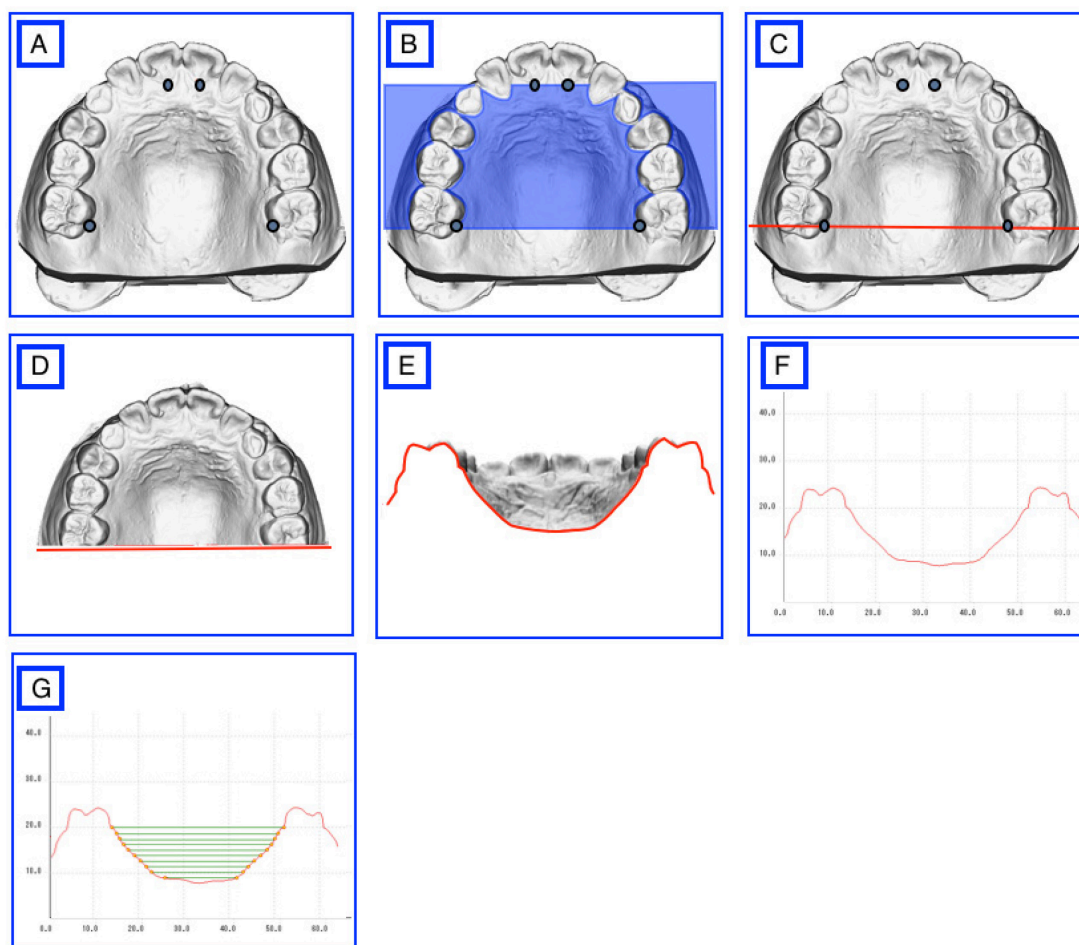


図1 口蓋幅径の3次元的計測方法

(A)上顎模型上に4点(黒)を配置し、(B)基準平面(青)を作成する。(C)第一大臼歯間に線(赤線)を引き、(D, E)冠状面を作成する。(F, G)基準平面から口蓋最深部までを等分した10点を作成する。

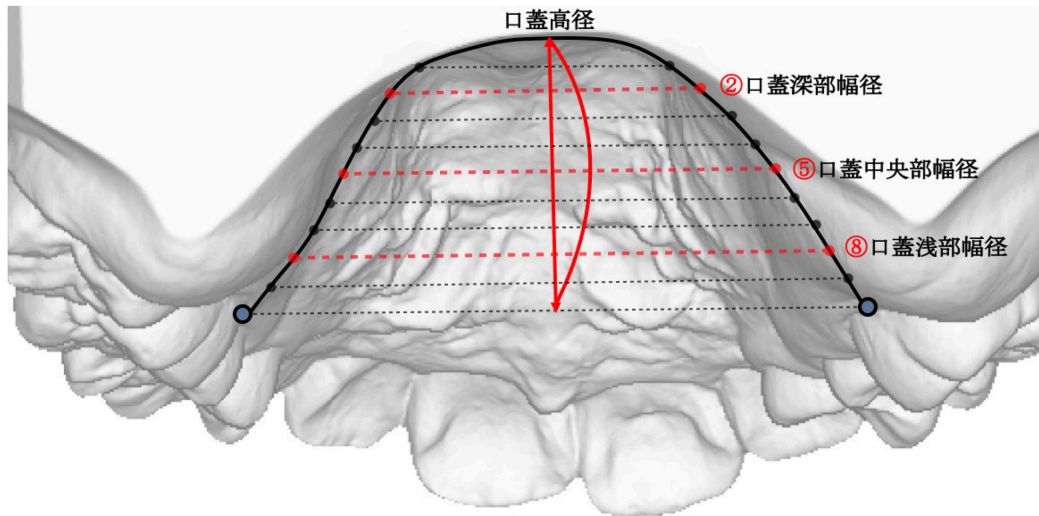


図2 口蓋幅径および口蓋高径の計測方法

基準平面を上顎左右側中切歯歯頸部最深点および上顎左右側第一大臼歯舌側面溝の4点を通る平面とし、上顎第一大臼歯歯頸部最深点間を結ぶ直線上から、口蓋最深部への垂線を口蓋高径（PD）とした。その距離を10等分し、10等分した各々の高さから基準平面に平行な直線を口蓋に対して引き、口蓋との交点間距離を①（基底部）から⑩（口蓋側歯頸部最深点）に分け、②を口蓋深部幅径（DW）、⑤を口蓋中央幅径（MW）、⑧を口蓋浅部幅径（SW）とした。

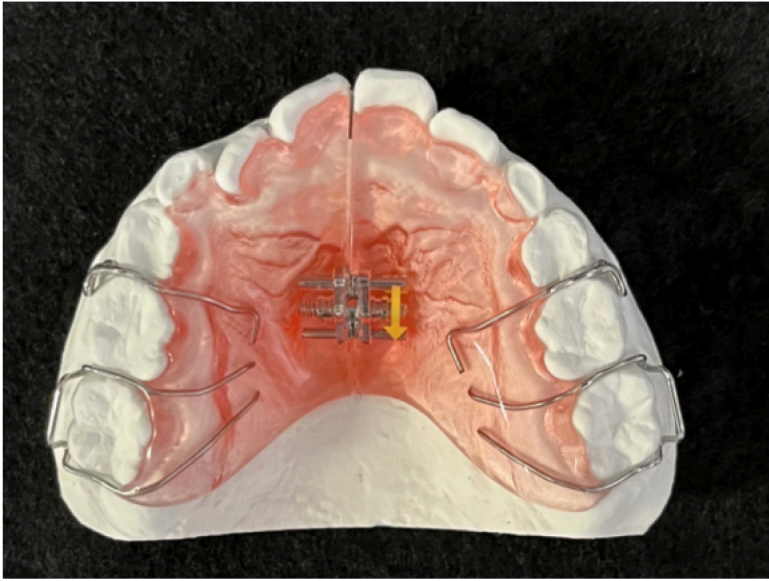


図3 可撤式緩徐拡大装置

主に拡大ネジ，レジン床，クラスプから構成される。正中部の拡大ネジを矢印の方向へ回転させることで矯正力を活性化させる。1日20時間以上使用。

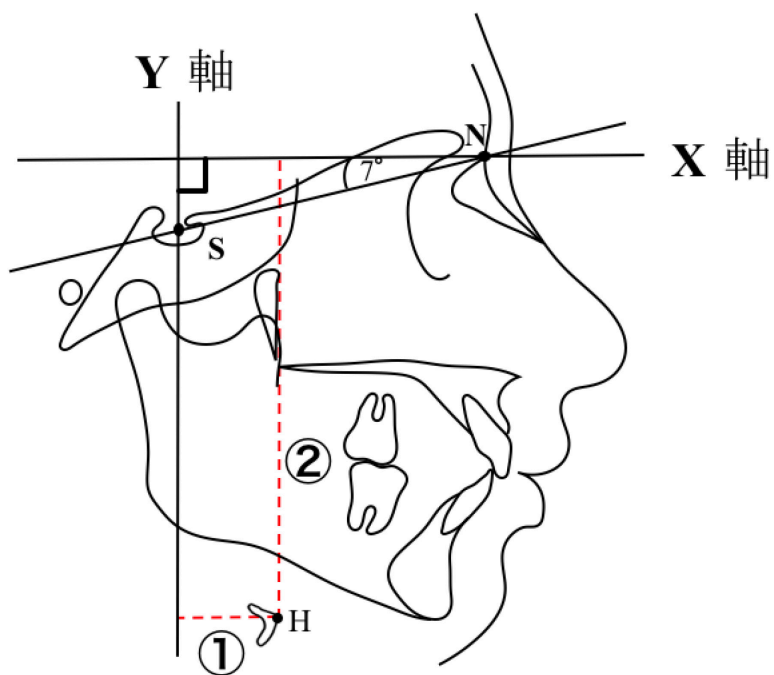


図4 安静位舌骨位の計測方法

X軸:SN平面から $7^{\circ}$ 上方を通る線

Y軸:Sを通過し、X軸に垂直な線

① 水平的置計測 (Hyoid-H)

Y軸から舌骨の最前部 (H) までの最短距離

② 垂直的位置計測 (Hyoid-V)

X軸から舌骨の最前部 (H) までの最短距離

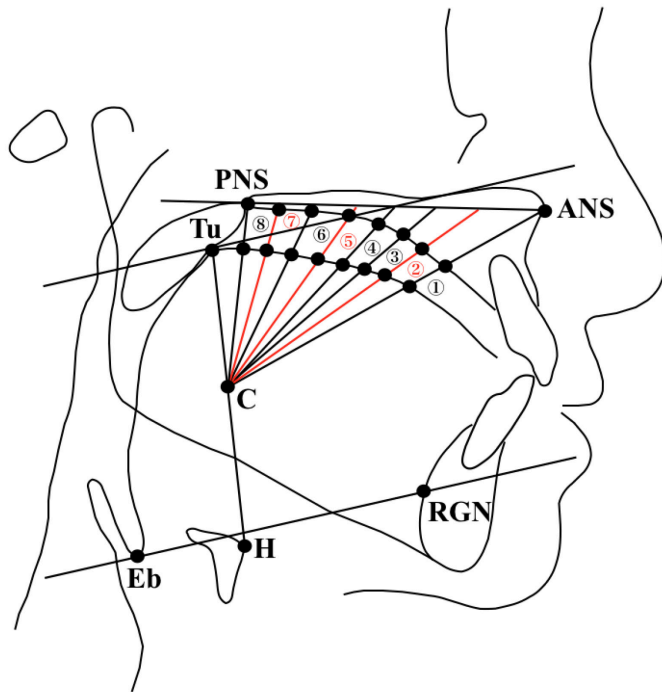


図5 安静位舌位の計測方法

① Ta1 ②Ta2 ③Ta3 ④Ta4 ⑤Ta5 ⑥Ta6 ⑦Ta7 ⑧Ta8

Tu: 舌最上方点

RGN: 下顎骨の正中矢状面における最後方点

Eb: 喉頭蓋谷の最深部

H: 舌骨の最前部

C: H と Tu の中点

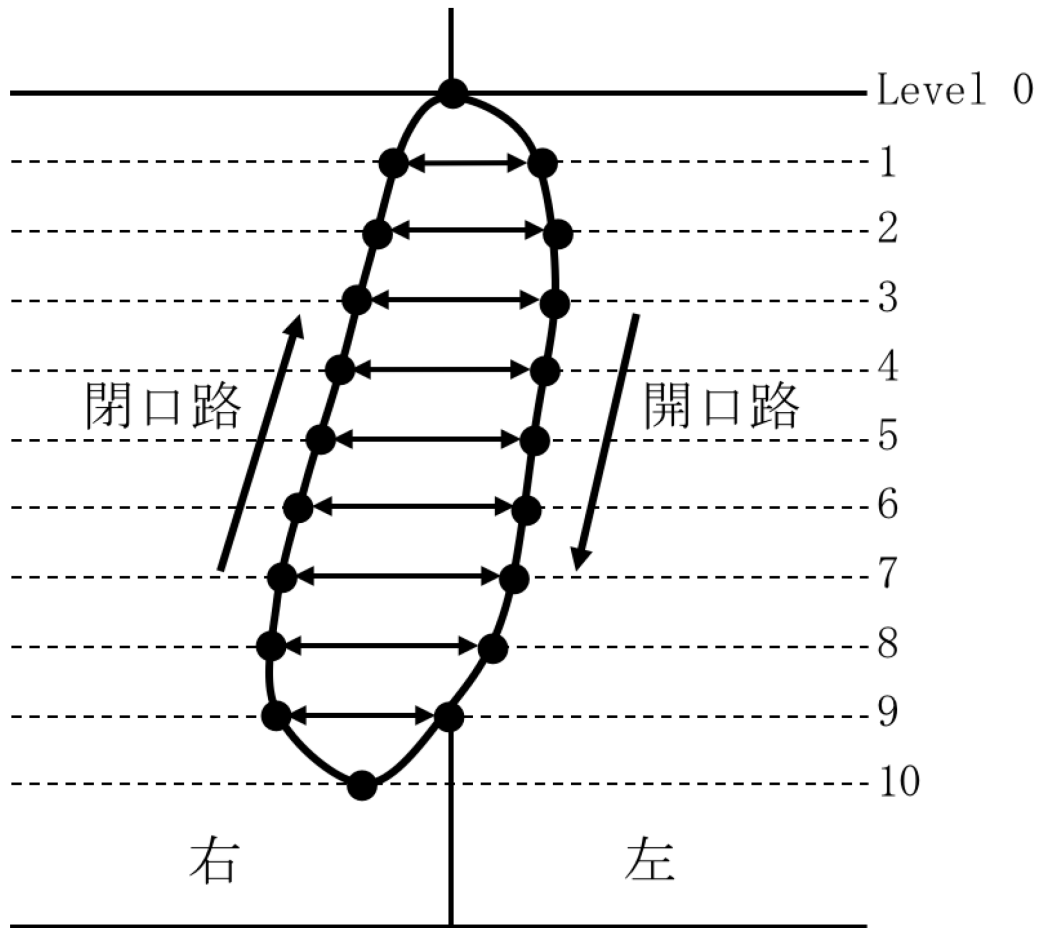


図 6 咀嚼経路幅の計測方法

咬頭嵌合位を Level 0, 最大開口位を Level 10 と定めて, Level 1 から Level 9 にそれぞれ相当する開口路から閉口路までの距離を求めて, それらの平均値を前頭面における咀嚼経路幅とした。



【表】

表1 T1, T2, T3における口蓋形態の男女比較

	DW		MW		SW		PD	
	男児 [n=17]	女児 [n=19]	男児 [n=17]	女児 [n=19]	男児 [n=17]	女児 [n=19]	男児 [n=17]	女児 [n=19]
	中央値 [四分位範囲 25-75]							
T1	15.6 (14.2-17.0)	15.4 (14.4-16.8)	23.1 (21.0-25.1)	22.7 (22.1-25.5)	30.0 (28.4-31.0)	30.5 (28.7-32.2)	9.5 (8.8-11.0)	10.4 (9.1-11.5)
T2	16.7 (14.4-18.8)	16.5 (15.3-18.1)	24.4 (22.5-26.2)	24.3 (23.5-26.5)	30.9 (28.4-32.3)	31.9 (30.4-33.7)	10.2 (9.2-11.8)	11.3 (10.4-12.1)
T3	17.5 (16.0-19.5)	17.1 (15.8-19.5)	25.7 (23.5-27.3)	25.8 (23.8-27.3)	31.6 (29.1-34.0)	32.1 (30.9-34.3)	11.9 (10.4-13.7)	12.4 (11.4-13.1)

DW: 口蓋深部幅径, MW: 口蓋中央部幅径, SW: 口蓋浅部幅径, PD: 口蓋高径, Mann-WhitneyのU検定

(mm)

Mann-WhitneyのU検定を行った結果、各計測値の男女間に有意な差はなかった。

表2 T1-T2およびT2-T3の口蓋形態の成長変化

	T1	T2	T3	Steel-Dwass 検定	
				P値	
				T1-T2	T2-T3
	中央値 [四分位範囲 25-75]				
DW	15.6 (14.2-17.2)	16.5 (15.0-18.3)	17.2 (15.8-19.5)	0.04*	0.10
MW	22.9 (21.8-25.4)	24.7 (22.9-26.4)	25.9 (23.7-27.4)	0.04*	0.17
SW	30.4 (28.6-31.3)	30.9 (29.9-33.0)	31.6 (30.8-34.3)	0.10	0.41
PD	10.3 (8.9-11.3)	10.8 (9.5-11.9)	12.0 (10.5-13.2)	0.11	0.01*

DW: 口蓋深部幅径, MW: 口蓋中央部幅径, SW: 口蓋浅部幅径, PD: 口蓋高径 (mm)  
 n=36, \* p<0.05

表3 拡大治療前後の各計測項目の男女比較

	t1 [n=22]		t2 [n=22]		拡大率(%) [n=22]		P値	
	男児 [n=10]	女児 [n=12]	男児 [n=10]	女児 [n=12]	男児 [n=10]	女児 [n=12]		
	中央値 [四分位範囲 25-75]	中央値 [四分位範囲 25-75]	中央値 [四分位範囲 25-75]	中央値 [四分位範囲 25-75]	中央値 [四分位範囲 25-75]	中央値 [四分位範囲 25-75]		
DW	15.5(13.6-16.6)	16.3(14.9-17.3)	16.4(14.9-18.1)	17.2(15.3-18.1)	0.582	0.35(0.06-0.61)	0.582	0.974
MW	22.7(21.3-24.6)	23.6(20.9-24.6)	24.2(23.5-25.8)	25.1(23.5-26.6)	0.722	0.39(0.14-0.69)	0.722	0.539
SW	29.3(28.6-30.4)	28.6(27.8-31.1)	31.3(30.9-32.1)	31.6(29.7-33.3)	0.582	0.71(0.58-0.89)	0.582	0.722
上顎第一大臼歯間幅径	52.0(51.3-54.2)	50.6(50.0-52.6)	54.7(53.6-57.0)	54.0(52.7-55.8)	0.228	0.88(0.70-0.96)	0.228	0.771
PD	10.3(9.9-11.5)	8.8(8.1-11.0)	11.2(10.8-12.3)	9.7(8.6-11.4)	0.254	0.28(0.15-0.35)	0.254	0.228
Hyoid-V(垂直距離)	103.1(101.0-105.8)	100.9(92.8-103.7)	109.2(106.0-111.0)	101.3(96.0-106.5)	0.059	-	0.059	-
Hyoid-H(水平距離)	13.4(10.2-18.0)	8.7(5.3-19.4)	15.0(7.1-15.7)	5.8(2.6-9.6)	0.069	-	0.069	-
Ta2(前方部)	4.9(1.9-6.6)	5.3(4.0-7.3)	8.3(6.4-9.9)	6.9(2.2-8.7)	0.381	-	0.381	-
Ta5(中央部)	4.0(2.4-6.4)	5.0(3.9-6.8)	7.8(4.5-9.0)	4.9(3.7-8.1)	0.456	-	0.456	-
Ta7(後方部)	5.2(3.7-8.1)	7.0(6.5-7.7)	8.0(5.0-10.1)	5.5(4.5-8.7)	0.539	-	0.539	-

DW: 口蓋深部幅径, MW: 口蓋中央部幅径, SW: 口蓋浅部幅径, PD: 口蓋高径, Wicoxonの符号付き順位検定

(mm)

表4 拡大治療前後の各計測項目の比較

	t1 [n=22]	t2 [n=22]	t1-t2 [n=22]	t1-t2
	中央値 [四分位範囲 25-75]			P値
DW	16.0(14.9-16.8)	17.1(14.9-18.1)	0.8(0.5-1.6)	0.001**
MW	23.3(21.1-24.8)	24.8(23.5-26.4)	1.3(1.1-2.0)	0.001**
SW	28.9(28.2-30.8)	31.3(30.5-33.1)	2.0(1.6-2.7)	0.001**
上顎第一大臼歯間幅径	51.8(50.4-52.6)	54.6(53.1-55.8)	2.5(2.3-3.3)	0.001**
PD	10.1(8.4-11.1)	10.9(8.8-11.8)	0.7(0.3-1.0)	0.001**
Hyoid-V(垂直距離)	101.9(97.7-105.4)	105.4(99.5-110.8)	4.0(1.9-6.2)	0.001**
Hyoid-H(水平距離)	11.6(6.3-18.4)	9.6(3.2-15.0)	-4.1(-6.5-0.4)	0.023*
Ta2(前方部)	5.1(2.1-6.9)	7.2(3.3-9.7)	2.3(-1.4-4.8)	0.067
Ta5(中央部)	4.9(3.5-6.7)	6.7(3.7-9.0)	1.5(-1.0-3.8)	0.054
Ta7(後方部)	6.8(5.2-7.8)	6.6(4.6-10.1)	0.8(-2.0-3.8)	0.372

DW: 口蓋深部幅径, MW: 口蓋中央部幅径, SW: 口蓋浅部幅径, PD: 口蓋高径 (mm)

Wilcoxonの符号付き順位検定 \* p<0.05 \*\*p<0.01

表5 拡大治療前後の拡大率および拡大頻度別の比較

	拡大率(%) [n=22]	A群(%) [n=11]	B群(%) [n=11]	A-B
	中央値 [四分位範囲 25-75]			P値
DW	35.4(19.4-53.3)	35.6(22.2-44.3)	28.5(18.4-54.3)	0.534
MW	46.5(40.1-68.8)	57.0(41.9-64.4)	46.5(36.3-88.1)	0.723
SW	63.7(56.0-74.7)	65.7(62.8-76.5)	64.7(51.4-78.6)	0.594
上顎第一大臼歯間幅径	85.8(75.2-95.9)	93.3(84.3-99.7)	75.8(64.9-90.3)	0.131
PD	22.9(7.6-33.8)	19.2(5.8-24.8)	32.5(11.8-47.4)	0.155

DW: 口蓋深部幅径, MW: 口蓋中央部幅径, SW: 口蓋浅部幅径, PD: 口蓋高径

(mm)

A=0.2 mm/ 2週間, B=0.2 mm/ 1週間, Wilcoxonの符号付き順位検定

表6 拡大治療前後の口腔機能の変化の比較

	t1	t2	t1-t2
	中央値 [四分位範囲 25-75]		P値
舌挙上圧(kPa)	19.3(14.5-23.6)	29.8(26.4-34.7)	0.001**
口唇閉鎖力(N)	5.3(3.5-8.0)	9.6(7.9-10.7)	0.001**
最大咬合力(N)	244.0(184.5-278.0)	305.3(259.6-366.8)	0.001**
咀嚼経路幅(mm)	1.1(0.5-2.8)	1.7(0.8-3.7)	0.388

Wilcoxonの符号付き順位検定 \*\*p<0.01

表7 口蓋幅径の拡大量に対するt1時の各計測項目の重回帰分析

	DW	MW	SW
	$\beta$	$\beta$	$\beta$
Hyoid-V(垂直距離;mm)	0.567 *	0.549 *	-0.245
Hyoid-H(水平距離;mm)	-0.291	-0.201	-0.415
Ta2(前方部;mm)	1.408 *	1.112 *	0.362
Ta5(中央部;mm)	-0.214	0.195	-0.856
Ta7(後方部;mm)	-0.964	-0.935	-1.417 *
舌挙上圧(kPa)	0.474	0.539	0.846
口唇閉鎖力(N)	-0.543	-0.824 *	-0.838
最大咬合力(N)	0.598 *	0.610 *	0.594 *
咀嚼経路幅(mm)	-0.394	-0.466	0.467
$R^2$	0.702	0.765	0.570

DW : 口蓋深部幅径(mm), MW : 口蓋中央部幅径(mm), SW : 口蓋浅部幅径(mm)

$\beta$  :標準偏回帰係数 \* p<0.05 \*\* p<0.01