

上顎第一小臼歯の三次元的歯冠形態における性的二型と第一小臼歯と第二小臼歯の差異
(Sexual dimorphism in 3D crown structure of the maxillary first premolars, and differences
between maxillary first and second premolars)

日本大学大学院松戸歯学研究科
歯科矯正学
宮崎 樹梨

(指導：根岸 慎一 教授)

本論文は

①Sexual dimorphism in the three-dimensional detailed crown structure of

maxillary first premolars

<https://doi.org/10.1016/j.job.2023.12.001>, Journal of Oral Biosciences, 2023, December 12th

② Comparison of Linear Measurements of Detailed Crown Structures in The Maxillary First and

Second Premolars

International Journal of Oral-Medical Science, 2023, December, in press

をまとめたものである。

1. 諸言
2. 材料および方法
 - 2.1. 材料
 - 2.2. 方法
 - 2.2.1. 歯冠形態計測
 - 2.2.2. 計測の信頼度
 - 2.2.3. 弯曲徴の観察
3. 結果
 - 3.1. 計測の信頼度
 - 3.2. 研究①P¹の性的二型（詳細形態の計測学的研究）
 - 3.2.1. 歯冠形態計測における性的二型
 - 3.2.2. 歯冠の近・遠心部の比較における性的二型
 - 3.2.3. 相対的な歯冠の大きさにおける性的二型
 - 3.2.4. 弯曲徴と最大豊隆点の位置と頬側咬頭頂の関係と性的二型
 - 3.3. 研究②P¹とP²の形態的な違い（詳細形態の計測学的研究）
 - 3.3.1. 歯冠形態計測 —P¹とP²の比較—
 - 3.3.2. 歯冠の近遠心の比較 —P¹とP²の比較—
 - 3.3.3. 相対的な歯冠の大きさ —P¹とP²の比較—
 - 3.3.4. 指数値の比較 —P¹とP²の比較—
 - 3.3.5. 弯曲徴 —P¹とP²の比較—
4. 考察
5. 結論
6. 表
7. 図
8. 参考文献

Abstract

In orthodontic treatment, premolars are often extracted to improve the labial tipping and crowding of the anterior teeth. However, the morphological characteristics of the premolar teeth are rarely considered when choosing whether to extract the first premolar (P¹) or the second premolar (P²). In order to establish selection criteria for tooth extraction sites that take into account the anatomical characteristics of P¹ and P², it is first necessary to be familiar with the size and morphological differences between P¹ and P². In this study, the detailed 3D structures of P¹ and P² were measured, and analyzed sexual dimorphism in P¹ and morphological differences between P¹ and P², with the aim of reconsidering the selection criteria for tooth extraction sites.

The subjects were 30 boys and 30 girls from elementary school and junior high school. The materials were plaster casts of P¹ and P² on the right side. Study 1 used the P¹ of 30 boys and 30 girls, while studies 2 focused on P¹ and P² teeth of 27 boys. Nine landmarks were set on the image converted to STL data format, and 18 distances between the landmarks were calculated based on their 3D coordinates.

Study 1: Sexual dimorphism in size were more pronounced in the outer diameter of the crown, and were more pronounced in the lingual cusp than in the buccal cusp dimensions. A mesiodistal comparison of the crown of the tooth revealed that the difference between two sexes were noted in the position of the most lingual prominent point and buccal cusp tip.

Study 2: P¹ was relatively large in the mesiodistal direction, whereas P² was relatively large in the buccolingual direction. P¹ was relatively large in the distal portion, and P² was relatively large on the mesial portion. The buccal cusp tip was positioned more mesially in P¹ than in P². In P¹ there were many individuals with opposite curvature feature, and many cases showed no curvature feature in P². Comparative anatomical studies suggested that the opposite curvature features had a function to adjust tooth alignment.

Long-term stability of the occlusal relationship is one of the important factors in evaluating prognosis. In order to stabilize the occlusion of the entire dentition, it is essential that the occlusion of the canines and premolars be stable. This study showed that P¹ and P² had own morphological and functional characteristics. P¹ and P² are thought to play a role as members of the dentition in their respective parts. In order to provide treatment that takes advantage of these morphological characteristics, it is necessary to select the site for tooth extraction.

It was concluded that when determining the site of tooth extraction in the orthodontic

treatment, not only the convenience of the treatment but also the morphological characteristics of each tooth should be considered.

Key words: maxillary premolars, sexual dimorphism, curvature features tooth morphology, extraction of orthodontic treatment

1. 緒言

成人に対する矯正歯科治療での抜歯症例では第一小臼歯または第二小臼歯を抜去することが多い。前歯部の重度の叢生や唇側傾斜が認められる症例では抜歯スペースをそれらの改善に使用するため、前歯部に近い第一小臼歯を抜歯部位として選択することが多い(1)。一方、大臼歯の近心移動などを主目的とする場合は第二小臼歯の抜歯となる(2)。これらの抜歯判定基準に追加し、歯根彎曲歯、矮小歯および根管治療等の既往による予後不良歯などが存在する場合は、抜歯部位の変更を余儀なくされることがある(3)。

ヒトの上顎第一小臼歯は、多くの場合、他の歯とは逆の彎曲徴と隅角徴となる(4-8)。さらに頬側咬頭はやや遠心に位置し、舌側咬頭は他の小臼歯と同様に近心に位置するとされており(5, 8)、様々な点で上顎第一小臼歯(P¹)は第二小臼歯(P²)とは著しく異なった歯冠形態を呈する。これらの詳細な形態的特徴は個体変異が大きく、第一小臼歯と第二小臼歯の違いを総括することは難しい。

大臼歯においては咬合面溝や咬頭頂をランドマークとした咬合面形態の詳細計測によって最大径を計測するだけでは得られない形態情報が得られることが示されてきた(9, 10)。一方、小臼歯においてはランドマークを利用した詳細計測が行われてこなかったわけではないが、形態学的に重要な情報を提供するには至らなかった(11-13)。近年、精度の高い三次元計測が容易に実施できるようになってきたため、本講座でも口蓋(14)や歯軸傾斜(15)の計測に応用されており、上顎小臼歯の歯冠の詳細計測にも応用できると考えられる。

矯正歯科治療では、第一小臼歯、第二小臼歯の形態的特徴や性差などを考慮した判定基準が用いられることはほとんどない。よって、本研究では、抜歯部位の選択基準の再考を目的として、P¹とP²の三次元的詳細形態を分析し、P¹の性的二型(研究①)およびP¹とP²の形態的な違い(研究②)を分析した。なお、性的二型は生殖器以外にみられる雌雄の差、つまり性差を意味する(16)。

2. 材料および方法

2.1. 材料

研究の対象は千葉県松戸市立古ヶ崎小学校および中学校の小学校1年生から中学校3年生240人(男児129人、女児111人)である。2013年～2019年に採得した石膏模型の上顎右側P¹とP²を対象とした。選択基準は対象歯が少なくとも最大豊隆点まで萌出したものとした。対象歯に以下の問題があったものを除外した。矮小歯や癒合歯などの歯の形態異常があるもの、歯の先天欠損があるもの、う蝕や修復物の認められるもの、模型製作上でエラーのあったものとした。全体の被験者数240人うち男児129人、女児111人から除外条件を除き、研究①では男児30名、女児30名、研究②では研究①の中からP²まで揃っている男児27名をそれぞれ選定した。本研究は日本大学松戸歯学部倫理審査委員会の承認を得ている。(承認番号: EC19-18-17-16-16-15-022-6号)

2.2. 方法

2.2.1. 歯冠形態計測

非接触型三次元形状測定装置マエストロ 3D オルソ 10.5 システム (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, 精度, $<8\ \mu\text{m}$; 解像度, $<0.05\ \text{mm}$) により模型の歯冠をデジタル化 (STL データ化) した。計測用ソフトウェア (Body-Rugle®, メディック エンジニアリング, 京都) を用いて画像上で 9 つのランドマークを設定し (表 1 A, 図 1), その三次元座標からランドマーク間の 18 の距離を算出した。

従来の研究では歯軸を基準とした距離, つまり, 歯軸によって規定された三次元座標系への投影距離を歯のサイズと定義していた(16, 17)。本研究では基準となる軸を設定せずに計測を行ったため, 従来の研究に相当する計測項目は存在するが, 同じ値となるわけではない。

歯冠全体の形を比較するために, 歯冠指数 (頬舌径/近遠心径 $\times 100$, $\text{ai/bd}\times 100$), 咬頭頂間距離指数 (咬頭頂間距離/頬舌径 $\times 100$, $\text{ch/ai}\times 100$), 近遠心指数 (中心溝部の近遠心径/近遠心径 $\times 100$, $\text{eg/bd}\times 100$) を算出した。近遠心・頬舌の両方向に対する相対的な距離として, 歯冠面積に相当する bd と ai の積の平方根で割った百分率を算出した(10)。以下, この指数を相対的な距離とする。なお, 基準化に平方根を使ったのは距離と面積の次元を合わせるためである。 P^1 と P^2 の関係は退化指数 (P^2 のサイズ/ P^1 のサイズ $\times 100$) を算出した(18)。

歯冠サイズは Grubbs—Smirnov 検定によって正規分布することを確認した後, 性差は t 検定, 同一歯の近心部と遠心部の差および $P^1 - P^2$ 間の差は対応のある t 検定によって検出した。性差の程度は性差百分率(19)によって比較した。男女間および $P^1 - P^2$ 間の頻度の違いは χ^2 検定によって検出した。統計処理には SPSS (IBM SPSS Statistic, Armonk, NY, USA) を用いた。

2.2.2. 計測の信頼度

線形距離はすべて三次元座標から計算されたものなので, 座標値と距離計測値の信頼度は同義である。そこで, 計測の信頼度を評価するために, 9 ランドマークの座標設定の再現性を評価した。ランダムに選択した 20 個体の STL データにおいて, 2 か月以上の間隔を空けて同じランドマークの座標設定を 2 回行った。座標設定は著者自身が行った。

2.2.3. 弯曲徴の観察

咬合面観において, 弯曲徴を観察した。Kondo ら(7)の基準 (図 1B) に従って, 弯曲徴が他の歯と同じように通常の弯曲徴が認められるもの, 弯曲徴がほとんど認められないもの, 通常とは逆の弯曲徴となるものの 3 つに分けた。

3. 結果

3.1. 計測の信頼度

1 回目と 2 回目の座標設定において, 対応のある t 検定に基づいて, 系統誤差はないことが示された。1 回目と 2 回目の設定における平均値の差は, $-0.054\sim 0.048\text{mm}$ であった。Dahlberg 式(20)によって計算された計測者内誤差 (偶発誤差) は, $0.023\sim 0.68\text{mm}$ であった。誤差分散 (Dahlberg 統計量の二乗) は総分散の $0.09\sim 6.91\%$ であった。誤差分散が総分散の 10%未満の場合, 偶発誤差は小さく, 結果に影響を及ぼす可能性が低いとされている(9)。以

上より、系統誤差、偶発誤差ともに小さく、信頼度が統計的に確認できた。

3.2. 研究① P¹の性的二型（詳細形態の計測学的研究）

3.2.1. 歯冠形態計測における性的二型

表 2 に歯冠計測値の統計と性差百分率と性差の検定結果を示した。図 2 AB に性差が有意となった計測項目を示した。

歯冠面積は男性の方が女性より有意に大きかった($p < 0.05$)。距離計測値は男性の方が女性より大きかった。歯冠全体では咬頭頂間距離(ch)を除いて性差は有意となった。咬頭頂間距離(ch)は外径に比べて変動係数が大きく、性差は有意ではなかった。

頬側咬頭の計測値(表 2-B)では近心縁の長さ(cd)のみが性差は有意となったが、舌側咬頭の計測値(表 2-L)では近・遠心(ei と gi)ともに性差が有意となった。外斜面・内斜面ともに頬側咬頭(ac, cf)より舌側咬頭(fh, hi)の方が変動係数は大きかった。一部の計測項目(ch, fh)を除いて、変動係数は男性より女性の方が大きい傾向があった。サイズの性差は歯冠外径に強く現れ、頬側咬頭より舌側咬頭において顕著であったと総括できる。

歯冠指数、咬頭頂間距離指数、近遠心指数のいずれも有意な性差は認められなかった(表 2-I)ことから歯冠全体の形には性的二型がみられなかったといえよう。

3.2.2. 歯冠の近・遠心部の比較における性的二型

表 2-I に指数値を示した。いずれも性差は認められなかった。

表 2 右端に歯冠の近心部と遠心部の比較を示した。この比較によって咬頭頂や最大豊隆点が近心、中心あるいは遠心のいずれかに寄っているかを判断することが出来る。高低差を含めた三次元的な比較なので、短い側に咬頭頂や最大豊隆点が寄っているとは必ずしも言えないが、この比較は目安として役立つ。頬側では男女ともに遠心の辺の方が有意に長く、最大豊隆点は近心寄りに位置する。咬頭頂は男性では近心と遠心の辺がほぼ同じ長さで、ほぼ歯冠の中央に位置する。一方、女性では遠心の辺の方が近心の辺より有意に長く、咬頭頂は近心に位置する。

舌側では最大豊隆点は男性では遠心の辺の方が有意に長く、最大豊隆点は近心寄りに位置する。しかし、女性では近・遠心の辺がほぼ同じ長さのため、最大豊隆点は歯冠中央に位置する。咬頭頂は男女ともに遠心の辺の方が近心より有意に長く、咬頭頂は近心に位置する。以上から男女では最大豊隆点と咬頭頂の位置が異なっていることが明らかとなった。

3.2.3. 相対的な歯冠の大きさにおける性的二型

表 3 に歯冠面積の平方根($\sqrt{bd \times ai}$)に対する相対的な距離計測値の統計量を示し、図 2 C に性差が有意となった項目を示した。相対値は必ずしも男性が大きいとは限らなかったが、男性の方が小さい値を示したものの中に性差が有意となったものはなかった。相対サイズにおいて性差が有意となったものは中心溝部の近遠心径(eg)、頬側咬頭の近心斜面(cd)、舌側咬頭の遠心斜面(ei)であった(図 2 C)。

3.2.4. 弯曲徴と最大豊隆点の位置と頰側咬頭頂の關係と性的二型

表 4 に弯曲徴の觀察と頰側の最大豊隆点の位置と頰側咬頭頂の關係を示した。各個体の近心と遠心の長さを比較して、頰側の最大豊隆点と咬頭頂が近心、中央、遠心のいずれに位置するかを判定した。計測誤差を考慮するために近心と遠心の差が 0.1mm 以内の場合は中央にあるものとみなした。男児、女児ともに 8 割近くの個体で逆の弯曲徴が觀察された。男児女児ともに、ほとんどの個体で頰側最大豊隆点は近心に位置していた。男児では、頰側咬頭頂は近心と中央、遠心のそれぞれに位置する個体が認められたが、女児では約 7 割の個体で近心に位置する個体が觀察された。χ² 検定にて最大豊隆点および頰側咬頭頂の位置に性差は認められなかった。

3.3. 研究② P¹ と P² の形態的な違い (詳細形態の計測学的研究)

3.3.1. 齒冠形態計測 —P¹ と P² の比較—

表 5 に P¹ と P² の齒冠の計測値と退化指数の対応のある *t* 検定の結果を示した。図 3 に P¹ と P² で有意差のあった計測項目を示した。P¹ は齒冠のほとんどの部分で P² より大きかったが、いくつかの部分で P² の方が P¹ より有意に大きかった。

齒冠全体の大きさ(表 5-O) (ai, bd, eg, bd×ai) は、P¹ は P² より大きかった。咬頭頂間距離 (ch) は P¹ の方が P² よりわずかに小さかったが、その差は有意ではなかった。齒冠面積と齒冠指数の変動係数がいずれも P² の方が P¹ より大きかった。すなわち、齒冠全体のサイズ、形態ともに P² は P¹ に比べて変異が大きかったことが明らかとなった。

咬頭の大きさでは(表 5-B, L), P¹ の遠心斜面(ab, ae, eh, ei)は P² より大きかったが、近心斜面(ad, ag, gh, gi)では有意差は認められなかった。咬頭の内斜面(cf, fh)と外斜面 (ac, hi) は頰側咬頭 (ef, ac) では P¹ が大きい、舌側咬頭 (fh, hi) では有意差がなく、とくに頰側咬頭外斜面(ac)での差は大きく、退化指数が最も小さくなっていた。

頰側咬頭頂の近遠心的位置を示す測定値(bc)は、P¹ よりも P² の方が有意に大きかった。この結果は、頰側咬頭頂の位置が P¹ よりも P² の方が近心に偏位していることを示している。

P¹, P² ともに舌側咬頭の内側と外側斜面は変動係数が大きく、サイズの変異が大きかった。これらの計測値では退化指数の SD も大きく、P¹ と P² 間の關係においても個体変異が大きいたことが明らかとなった。

3.3.2. 齒冠の近遠心の比較 —P¹ と P² の比較—

表 5 右端列に齒冠の近心部と遠心部の比較を示した。頰側咬頭頂は P¹ では遠心斜面 (bc) と近心斜面 (cd) がほぼ同じで、中央に位置していたが、P² では近心斜面より遠心斜面の方が長く、近心側に位置していた。頰側の最大豊隆点では、P¹ では遠心斜面 (ab) が近心斜面 (ad) より大きく、近心側に位置していた。P² では、近心斜面と遠心斜面がほぼ同じ長さであったことから、最大豊隆点は中央に位置していた。

舌側では、舌側最大豊隆点 (ei と gi の比較) と舌側咬頭頂 (eh と gh の比較) は、P¹, P² ともに近心へ位置していた。

3.3.3. 相対的な歯冠の大きさ —P¹とP²の比較—

表6に歯冠面積の平方根($\sqrt{bd \times ai}$)に対する相対的な歯冠計測値の統計量を示し、図4にP¹とP²の差が有意となった項目を示した。多くの計測項目においては、相対距離はP¹よりもP²の方が大きかった。近遠心径 (bd), 頬側咬頭 (ab) と舌側咬頭 (eh) の遠心斜面, 頬側咬頭の外斜面 (ac) は, P¹の方がP²よりも大きかったが, 頬舌径(ai), 頬側咬頭(ag)と舌側咬頭(gh)の内斜面, 舌側咬頭の内斜面(fh), 咬頭頂間距離(ch), 頬側咬頭の近遠心的位置(bc)は, P¹よりもP²の方が大きかった。

これらの結果をまとめると, 以下のようなになる。(1)P¹は相対的に近遠心的に大きかったのに対し, P²は相対的に頬舌側に大きかった, (2)P¹は遠心側で相対的に大きく, P²は近心側で相対的に大きかった, (3)頬側咬頭はP¹ではP²よりも近心側に偏位していた。

3.3.4. 指数値の比較 —P¹とP²の比較—

歯冠指数はP¹よりもP²の方が有意に大きく, P²がP¹よりも頬側で相対的に大きいことを示していた(表5-I)。咬頭頂間指数はP¹よりもP²の方が有意に大きく, これはP²がP¹よりも咬頭間距離が相対的に大きいことを示していた。近遠心指数はP¹とP²で同程度であった。これらの結果は, 相対的な歯冠の大きさの結果と一致した。

3.3.5. 弯曲徴 —P¹とP²の比較—

表7に弯曲徴の観察の結果を示した。ほとんどのP¹では逆の弯曲徴が観察されたが, 通常の弯曲徴は観察されなかった。P²では多くの個体で弯曲徴が認められなかったが, 通常の弯曲徴と逆の弯曲徴の両方が観察された。 χ^2 検定の結果, P¹とP²の弯曲徴の頻度は有意であった。したがって, P¹は逆の弯曲徴が多く, P²は弯曲徴が認められないものが多いことが明らかになった。

4. 考 察

4.1. 上顎第一小臼歯の性的二型

生物の生殖器官以外に表れる雌雄差を性的二型という(16)。歯のサイズや形態にも雌雄の差はみられるが, 非ヒト霊長類では犬歯を中心とした「犬歯の場」に強く表れる(19)。ヒト化に伴って犬歯が縮小し, 犬歯の場の性的二型も弱くなるが, 計測学的には下顎犬歯や下顎第一小臼歯に性的二型が強く表れる。上顎小臼歯は下顎小臼歯ほど性的二型が強くない(19)。本研究における上顎第一小臼歯の性差百分率は非ヒト霊長類よりは小さいが他のヒト集団より大きかった。

Alvesaloは歯の硬組織の成長における性染色体の役割について, Y染色体はエナメル質と象牙質の成長を促進するが, X染色体はエナメル質の成長のみを促進すると述べており, X染色体は細胞増殖と分泌を促進するが, Y染色体は細胞増殖のみを促進するという(21)。歯冠サイズの性的二型は, 歯の外側への付加的成長であるエナメル質の厚さではなく象牙質の厚さが大きな要因となる。つまり, 石灰化開始時の内エナメル上皮(または象牙芽細胞層)の形態が歯冠概形とサイズの決定に大きく関与している。

霊長類の性的二型は発生の遅い歯に強く表れるとされている(22)。大白歯では発生の遅い部位、発生の遅い咬頭では性的二型が大きいとされている(10,23)。また、発生の早い咬頭では形態変異が小さく、発生の遅い咬頭はサイズの変異が大きいとされている(12)。

個体発生において上顎小白歯で最初に発生する咬頭は頬側咬頭と考えられるが、直接の証拠はない。①形態の類似している上顎第一乳臼歯で最初に発生するのが近心頬側咬頭で、次に発生するのが近心舌側咬頭であること(24)、②系統発生的に上顎小白歯の頬側咬頭は単錐歯に由来するパラコーンと相同で、舌側咬頭は舌側歯帯に由来するプロトコーンと相同であること(25)から、上顎小白歯では頬側咬頭、次いで舌側咬頭の順に発生すると考えられる。

本研究では性差百分率も変動係数も頬側咬頭より舌側咬頭の方が大きい傾向があった。上顎小白歯においても、前述した大白歯の一般的な傾向、すなわち、発生の遅い咬頭はサイズ変異も性的二型も大きいこと、が適用できることが明らかとなった。

歯の形に関する性的二型はほとんど報告がない。本研究では指数値による比較から歯冠全体の形は男女の違いはみられなかった(表2-I)。相対的な距離を比較すると、頬側咬頭の近心斜面、舌側咬頭の遠心斜面、中心溝部の近遠心径は男性の方が有意に大きかった(表3、図2C)。この結果は、男性は女性に比べて頬側咬頭頂は遠心に、舌側咬頭頂は近心に位置していることを示している。歯冠の形成は咬頭頂部から開始し、歯頸部に向かって形成が進む(26)。鐘状期歯胚において、将来の咬頭頂に対応する部位には二次エナメル結節(EK)が発現するが、相対距離における咬頭斜面の性的二型には二次EKの微妙な位置やタイミングの違いが関係する可能性があるかと推測される。

4.2. P¹とP²の形態的な違い

4.2.1. P¹とP²の形態的な違い

研究②の結果を総括すると以下ようになる。①P¹の方がP²より歯冠サイズが大きく、サイズ、形態ともに変異が小さかったこと、②P¹は頬側咬頭の発達が良く、P²は頬側咬頭と舌側咬頭と同程度の発達であった。

4.2.2. 同一歯群内の近心の歯と遠心の歯の形態的な違い

Butlerは異形歯性の歯の形態形成を場の理論によって説明した。切歯、犬歯、臼歯の各歯群において、それぞれ形態形成の場が顎骨内に存在し、各歯群内の歯の形態の違いは質的な違いではなく、量的な違いであると考えた(27)。この仮説は現在もっとも信憑性の高いホメオボックスコードモデルに発展させられた(7, 27-30)。ホメオボックスコードモデルは歯胚形成が開始する前の顎の間葉中に*Msx*, *Dlx*, *Barx*などの転写因子をコードするホメオボックス遺伝子が部位特異的に発現して、発現する遺伝子の組み合わせによって歯群の形成領域が決定されるという仮説である(7, 27-30)。

Dahlberg(31)は小白歯の場を加えることにより場の理論(27)をヒト歯列に適用した。各歯群には形態変異が小さい安定歯と形態変異が大きい変異歯が存在する。下顎切歯を除いて、歯群内の近心の歯は遠心の歯より形態変異が小さく安定しており、一般にサイズも大きい。P¹の方がP²より歯冠サイズが大きく、サイズ、形態ともに変異が小さかったという本研究

の結果は場の理論によって説明できる。

2000年以降、歯の発生学領域の研究はとくに遺伝子、分子レベルで目覚ましい発展を遂げた(32, 33)。蕾状期～帽状期の歯胚中心部の内エナメル上皮の一部の細胞が数層をなして星状網に突出した一次EKが出現する。一次EKはシグナルセンターとして機能する。その後、鐘状期になると将来の咬頭数と位置に一致した二次EKが出現し、一次EKと同様にシグナルセンターとして機能する。一次EKはアポトーシスによって帽状期末期には消失するので二次EKとの連続性はないものと考えられてきた(34)が、Choら(35)は一次EKが最初に分化する咬頭の二次EKになることをスライス培養の手法を用いて証明した。これらEKの役割は最近の研究により徐々に解明されてきており、発生モデルも提唱されてきた(32, 33)。そこで、本研究では歯群内の歯のサイズの相互関係に分子モデルを適用してみたい。

歯群内の近心の歯と遠心の歯のサイズの違いは、抑制カスケードモデル(inhibitory cascade model, ICM)(36)によって説明できる。マウスのM1とM2の歯胚を共培養すると、発生の遅いM2は小さくなるが、M1から分離して培養すると共培養したときよりもM2は大きくなる。ICMはこの事実に基づいている。抑制は一次EKのシグナル分子(BMPsやactivin Aなど)が関与するとされている。ICMによって遅く発生するP²は早く発生するP¹に抑制されて、サイズが小さくなることが説明できる。

4.2.3. 咬頭形態形成の分子モデル

パターンニングカスケードモデル(patterning cascade model, PCM)(37)は咬頭形成における相互関係を説明する。早く形成される咬頭の二次EKは遅れて形成される咬頭の形成を抑制する。発生の早い咬頭が大きい場合は抑制域が大きくなり、発生の遅い咬頭の成長は強く抑制されて、2つの咬頭のサイズの差が大きくなる。発生の早い咬頭が小さい場合には抑制が弱く、2つの咬頭のサイズの差は小さくなる。前者はP¹にみられ、後者はP²にみられたと考えられる(図5)。すなわち、小白歯の頬側咬頭と舌側咬頭のサイズの関係はPCMによって説明することができる。

4.2.4. P¹とP²の形態的な違いを説明する分子モデル(総括)

上顎小白歯の全体のサイズと咬頭形態はICMとPCMの分子モデルによって以下のように説明できる(図5)。ここでは細胞増殖と分化のモデルとして内エナメル上皮のみを取り上げるが、実際には相補的な相互作用によって分化する象牙細胞層でも同様の増殖と分化が進んでいる。硬組織形成細胞が増殖している間は歯胚全体の形は大きく変化するが、硬組織は形成されない。細胞分化が始まると増殖しないので歯胚の外形は大きく変わらない。

(1) P²の成長は先に発生するP¹の一次EKによって抑制される(ICM)。その結果、P¹の歯胚はP²より大きくなる。(2) P¹、P²ともに頬側咬頭の二次EKが最初に出現する。歯胚が大きいP¹ではP²よりも二次EKによる抑制域が大きい(PCM)。(3) 舌側咬頭の二次EKが発現し、抑制域が形成される。P¹では頬側咬頭の抑制域が大きく、舌側咬頭の発達はP²に比べて悪い。(4) 歯冠概形が決定される。P¹とP²の舌側咬頭は、頬側咬頭よりも小さく低い、P²はP¹より発達がよい。P¹はP²よりも大きな歯胚を最初の段階で示し、この違いは歯冠形成完了後も持続する。

4.3. 左右側の鑑別の関連形態

4.3.1. 弯曲徴，咬頭頂と最大豊隆部の位置

P¹ は弯曲徴が他の歯とは逆で，頬側咬頭頂と頬側最大豊隆部は遠心に偏位するとされている (5,8)。一方，P² では弯曲徴は明瞭ではないとされている。歯の遠心半部は近心半部に比べて退化縮小する傾向にある (7) が，この形態的特徴を総括したものが Mùhlreiter の三徴 (弯曲徴，隅角徴，歯根徴) (4) である。咬頭頂や頬側最大豊隆部は一般に近心側に位置する。これらの形態は歯の近心側と遠心側の違い，つまり，左右側の鑑別に関連した形態であり，一連の形質とみなすことができる。

日本ではオリジナルの弯曲徴の説明 (4) が改変されて，頬側隅角部の弯曲度は近心の方が遠心より鋭角であると説明されることが多い (5)。しかし，隅角の角度を計測した研究結果は肉眼観察を反映したとは言い難い (38)。Kondo ら (7) は Mùhlreiter の解釈 (4) を簡便にした弯曲徴の判定方法を考案した。本研究ではこの方法によって弯曲徴を判定した (図 1B)。

研究②では P¹ では逆の弯曲徴 (74.1%) が多く，P² では弯曲徴がみられないもの (59.3%) が多かった。頬側咬頭頂は P¹ では中央に位置していたが，P² では近心側に位置していた。頬側最大豊隆部は P¹ では近心側に，P² では中央に位置していた。以上から，P¹ では咬頭頂部や隅角部では他の歯と近遠心が逆転するが，最大豊隆部では他の歯と同じ形態となっていた。P² では隅角部と最大豊隆部では近遠心対称的な形態であったが，咬頭頂部では他の歯と同じ形態であった。

歯の発生は咬頭頂から歯頸部に向かって進むため(26)，これらの形態は咬頭頂，隅角部 (弯曲徴)，最大豊隆部の順に発生する。そこで，発生の観点から P¹ と P² の形態を考えると以下のようなになる。P¹ では近遠心が逆転した歯として発生が開始するが，歯頸部まで発生が進んだ段階で通常の歯と同じ形態となる。一方，P² は通常の歯と同じ形態として発生を開始するが，隅角部まで発生が進んだ段階で左右が明確ではない形態となる。現段階ではこの違いの要因は不明であるが，微妙な発生のタイミングや成長速度などが関係しているのかもしれない。

4.3.2. 弯曲徴と歯のサイズ

研究①では P¹ の弯曲徴に性差が認められず，歯のサイズによる弯曲徴の頻度の違いも認められなかった。下顎中切歯ではサイズが大きい歯で弯曲徴が明瞭となる傾向があり (39)，研究①とは異なる傾向であった。この違いは歯種による退化傾向の表れ方の違いに関係していると思われる。下顎中切歯は歯群内で形態変異が大きい (31)，この歯の退化は左右の対称性が小さくなる方向に進むと考えられている (5)。一方，は個体変異の小さい歯 (31)，退化の影響はほとんどみられない。このため，P¹ ではサイズに関係なく，逆の弯曲徴を示したと考えられる。

4.3.3. P¹ の弯曲徴が他の歯とは逆になる意義

Mùhlreiter (4) は，弯曲徴は歯列弓の形状に関連する特性であることを指摘している。コ

モンツパイ（ツパイ目）(40) やスunks（食虫目）(7) の上顎歯列では歯列弓の変曲点に位置する M1 は通常とは逆の彎曲徴となる。これらの例では歯列弓彎曲に対応して逆の彎曲徴となったと考えられる。Kondo ら (7) は彎曲徴の「彎曲」には 2 つの意味があると述べている。1 つは咬合面観における最突出点の近遠心側への歯自体の彎曲であり、もう 1 つは歯列弓の彎曲である。おそらく P¹ が逆の彎曲徴となるのは、この歯が前歯と臼歯の境界にあり、歯列彎曲の調節機能があるからではないだろうか。

4.4. 矯正歯科治療における便宜抜歯部位の選択について

一般的に、抜歯・非抜歯の判定は上下顎前歯の唇側傾斜と叢生量によるため、抜歯する歯種の選択は前歯部に近接する P¹ が多いが、欠損歯症例や顎変形症など特殊な治療計画となる場合は P² を選択することもある。治療方法に関して、近年、歯科矯正用インプラントアンカーなど新たな技術により抜歯部位による治療結果の差異は減少傾向にある。また、治療後の評価で重要視されていることの一つに長期安定が挙げられ、そのためには第一大臼歯の咬合関係のみならず、犬歯および小臼歯の緊密な咬合が必須であり P¹ と P² の詳細形態を把握した上で抜歯部位の選択を行う必要がある。本研究では P² は P¹ より近遠心径が小さく、形態変異が大きいこと、P¹ は逆の彎曲徴となる個体が多く、P² は彎曲徴がみられない個体が多いことも示した。さらに比較解剖学的検討から P¹ には歯列彎曲の調節機能があると考えられることも明らかとなった。おそらく P² は彎曲徴がみられないのも歯列彎曲の調整機能のひとつであろう。P¹ と P² にはそれぞれの部位において歯列弓形態を構成し、各歯固有の形態機能的特徴をもっているといえよう。

5. 結論

本研究結果から抜歯部位判定には矯正歯科治療の便宜性だけでなく、各歯固有の形態学的特性を併せて考慮すべきであると結論できる。

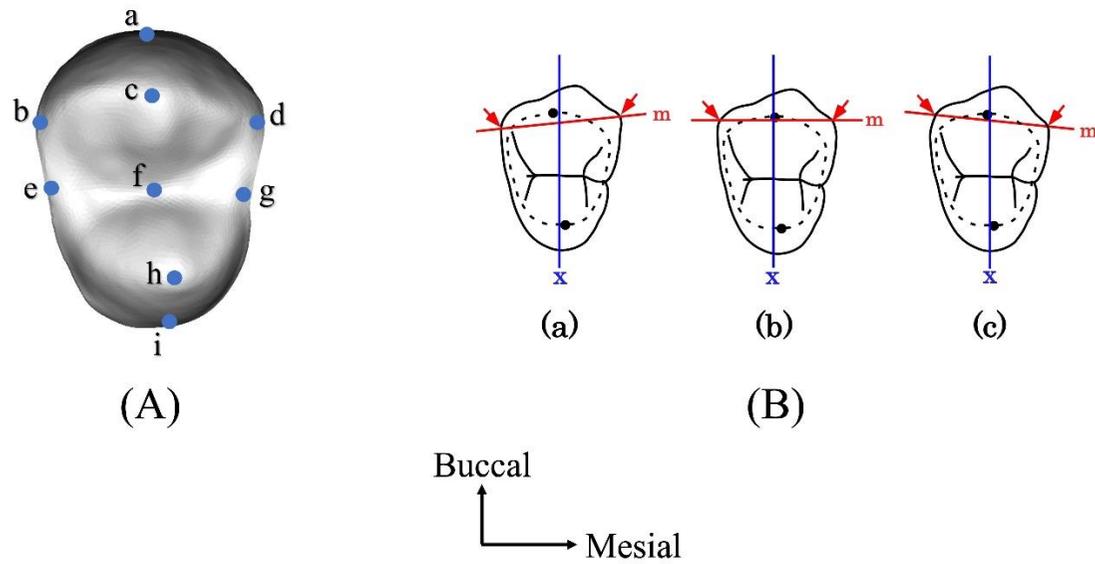


図 1. ランドマークおよび彎曲徴の判定法

(A)距離計測および相同モデルのランドマーク, (B)彎曲徴の判定法(Kondo et al., 2022): (a)通常の彎曲徴のもの, (b)彎曲徴がみられないもの, (c)逆の彎曲徴となるもの, Xは頬舌軸, 矢印は近・遠心の頬側隅角, mは隅角を結ぶ線。

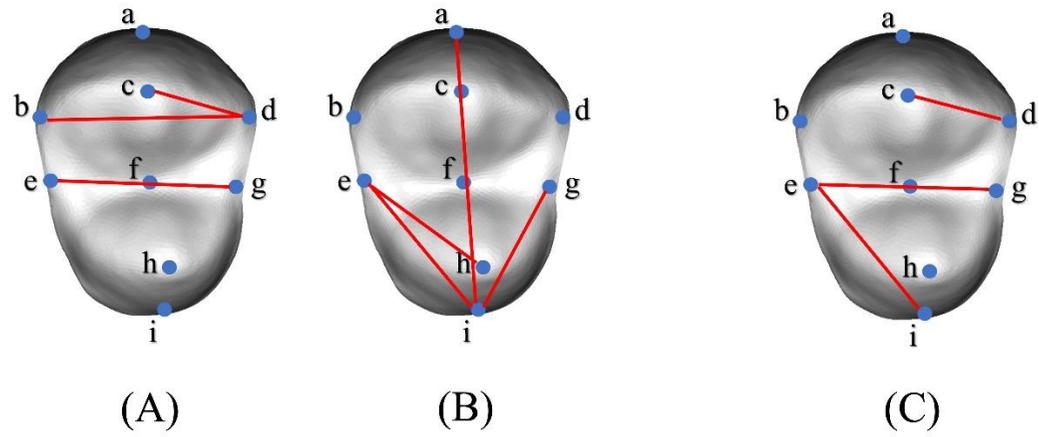


図 2. 性差が有意となった計測項目

(A)近・遠心方向の計測項目 (B)頬舌方向の計測項目 (C)歯冠面積の平方根($\sqrt{ai \times bd}$)に対する相対的な距離計測項目

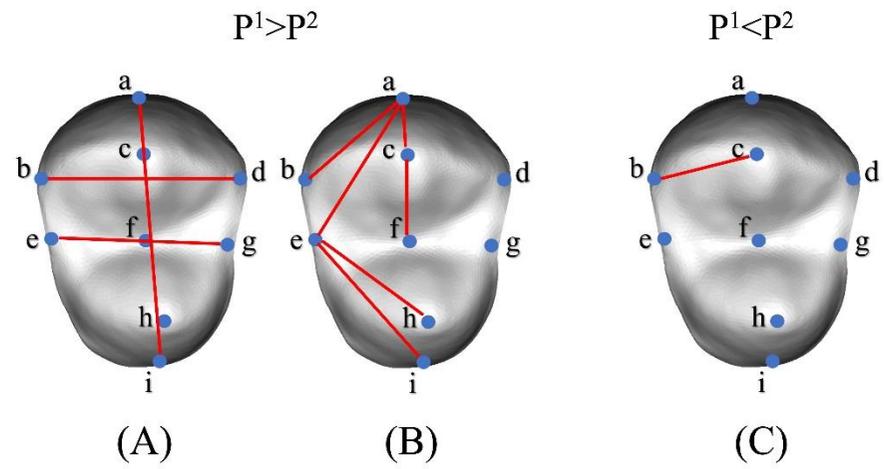


図 3. P^1 と P^2 の差が有意となった計測項目

(A), (B) $P^1 > P^2$ となった計測項目, (C) $P^1 < P^2$ となった計測項目

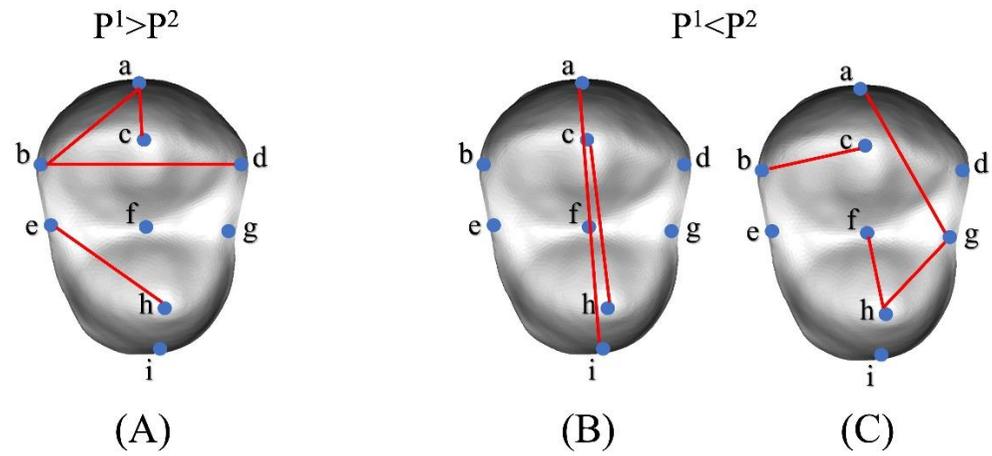


図 4. 相対的な距離において P^1 と P^2 の差が有意となった計測項目

歯冠面積の平方根($\sqrt{ai \times bd}$)に対する相対的な距離計測項目のうち, (A) $P^1 > P^2$ となった計測項目, (B), (C) $P^1 < P^2$ となった計測項目

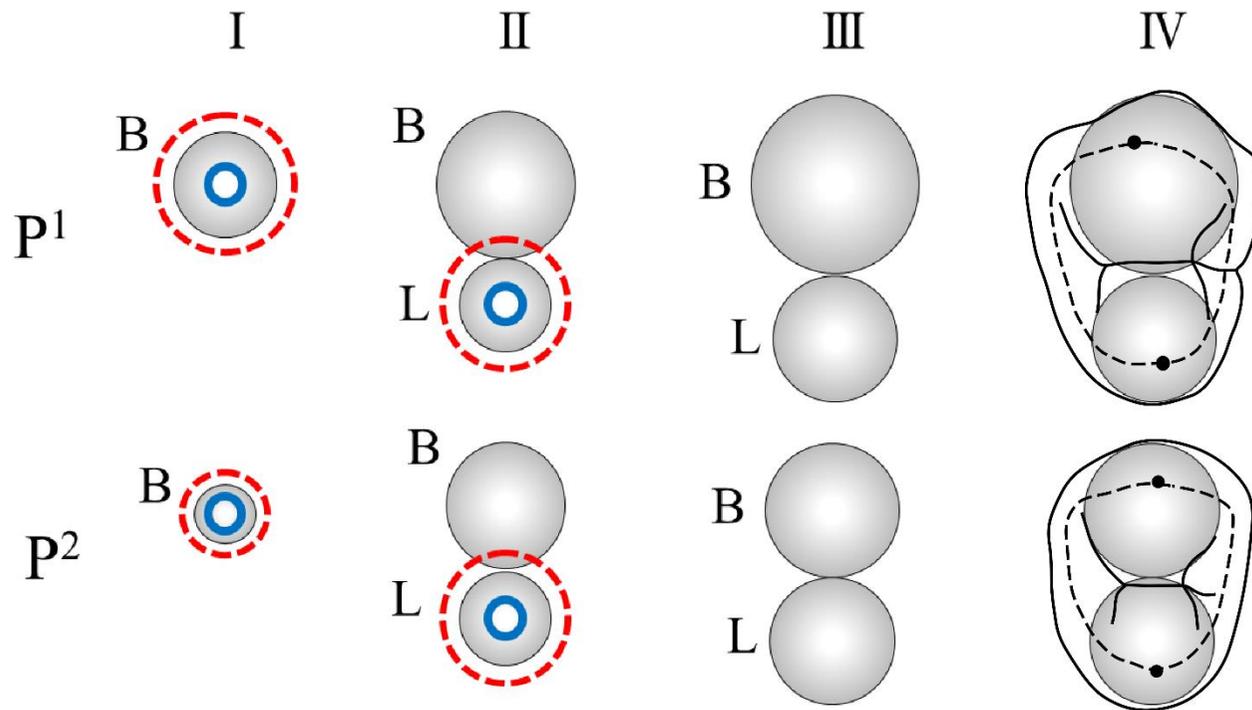


図 5. P¹とP²の咬頭の形態形成モデル

丸(青)は二次エナメル結節(EK);円(灰色),破線(赤)は二次EKの分子シグナルによって生じた抑制域を示す。

P²の成長はP¹の一次EKによって抑制される(抑制カスケードモデル)。その結果,ステージIでは,P¹の歯胚はP²より大きくなる。P¹,P²ともに頬側咬頭の二次EKが最初に出現し,歯胚が大きいP¹ではP²よりも抑制域が大きい(パターンニングカスケードモデル)。ステージIIでは,舌側咬頭の二次EKが発現し,抑制域が形成される。P¹では頬側咬頭の抑制域が大きく,舌側咬頭の発達はP²に比べて悪い。ステージIIIでは歯冠概形が決定される。P¹とP²の舌側咬頭は,頬側咬頭よりも小さいが,P¹はP²より相対的に発達が悪い。ステージIVでは,P¹とP²の舌側咬頭はほぼ同じ大きさになる。P¹はP²よりも大きな歯胚を最初の段階で示し,この違いは歯冠形成完了後も持続する。

表1 ランドマークと計測項目

ランドマーク

- a 歯冠軸における頬側の最大豊隆点
- b 遠心頬側隅角
- c 頬側咬頭頂
- d 近心頬側隅角
- e 中心溝と遠心縁の交点(中心溝を遠心縁まで延長した点)
- f 中心溝上の近遠心的な中点
- g 中心溝と近心縁の交点(中心溝を近心縁まで延長した点)
- h 舌側咬頭頂
- i 歯冠軸における舌側の最大豊隆点

計測項目(アルファベット順)

ab	頬側咬頭の遠心頬側縁の長さ	B
ac	頬側咬頭の外斜面の頬舌径	B
ad	頬側咬頭の近心頬側縁の長さ	B
ae	頬側咬頭の遠心斜面の長さ	B
ag	頬側咬頭の近心斜面の長さ	B
ai	頬舌径に相当する距離	O
bc	頬側咬頭の遠心咬合縁の長さ	B
bd	近遠心径に相当する距離	O
cd	頬側咬頭の近心咬合縁の長さ	B
cf	頬側咬頭内斜面の頬舌径	B
ch	咬頭頂間距離	O
eg	中心溝部の近遠心径に相当する距離	O
eh	舌側咬頭の遠心咬合縁の長さ	L
ei	舌側咬頭の遠心舌側縁の長さ	L
fh	舌側咬頭内斜面での頬舌径	L
gh	舌側咬頭の近心咬合縁の長さ	L
gi	舌側咬頭の近心舌側縁の長さ	L
hi	舌側咬頭外斜面の頬舌径	L

O, 歯冠全体に関する計測項目; B, 頬側咬頭に関する計測項目; L, 舌側咬頭に関する計測項目

表2 上顎第一小臼歯における距離計測値 (mm)と面積 (bd × ai, mm²), 指数値 (%)の統計量

	男 児				女 児				性的二型		近遠心の比較
	N	Mean	SD	CV	N	Mean	SD	CV	性差百分率	t検定	
O. 歯冠全体のサイズと面積 (bd × ai)											
bd	30	6.73	0.38	5.58	30	6.43	0.38	5.88	4.74	#	
eg	30	6.80	0.35	5.13	30	6.32	0.40	6.40	7.50	##	
ai	30	10.14	0.50	4.95	30	9.76	0.57	5.79	3.93	#	
ch	30	6.27	0.60	9.62	30	6.03	0.50	8.28	3.92	NS	
bd × ai	30	68.38	6.41	9.37	30	62.84	6.57	10.46	8.81	#	
B. 頬側咬頭に関する計測項目											
ab	30	6.42	0.65	10.12	30	6.21	0.74	11.84	3.31	NS	M: ab ≧ ad
ad	30	5.56	0.63	11.33	30	5.50	0.64	11.66	1.12	NS	F: ab ≧ ad
ac	30	6.52	0.68	10.45	30	6.17	0.83	13.45	5.58	NS	
cf	30	4.30	0.33	7.63	30	4.06	0.36	8.93	5.74	NS	
ae	30	7.38	0.53	7.25	30	7.27	0.54	7.38	1.45	NS	
ag	30	7.08	0.50	7.08	30	6.92	0.56	8.10	2.26	NS	
bc	30	4.04	0.37	9.15	30	3.87	0.28	7.35	4.47	NS	M: bc = cd
cd	30	4.00	0.36	9.08	30	3.62	0.42	11.46	10.48	##	F: bc > cd
L. 舌側咬頭に関する計測項目											
ei	30	6.15	0.54	8.81	30	5.27	0.57	10.83	16.69	##	M: ei ≧ gi
gi	30	5.72	0.46	8.00	30	5.30	0.50	9.45	7.98	#	F: ei = gi
hi	30	4.38	0.62	14.07	30	4.06	0.67	16.54	7.80	NS	
fh	30	3.51	0.45	12.88	30	3.45	0.38	10.94	1.80	NS	
eh	30	5.55	0.39	6.95	30	5.19	0.46	8.86	6.97	##	M: eh ≧ gh
gh	30	4.23	0.36	8.57	30	4.05	0.38	9.30	4.53	NS	F: eh ≧ gh
I. 線形計測から算出した指数											
歯冠指数	30	150.93	8.08	5.35	30	152.09	8.47	5.57	-0.76	NS	
咬頭頂間指数	30	61.84	5.63	9.10	30	61.84	4.35	7.04	0.00	NS	
近遠心指数	30	101.28	6.67	6.59	30	98.53	5.96	6.05	2.79	NS	

SD, 標準偏差; CV, 変動係数

歯冠指数 = ai / bd × 100, 咬頭頂間指数 = ch / ai × 100; 近遠心指数 = eg / bd × 100

性的二型: 性差百分率 = [(M - F) / F] × 100; t検定, ##, p < 0.01; #, p < 0.05; NS, 有意差なし

近遠心の比較 (対応のあるt検定); ≧, p < 0.01; >, p < 0.05; =, 有意差なし; M, 男児; F, 女児

表3 上顎第一小臼歯における歯冠面積の平方根に対する計測値[$\sqrt{(ai \times bd)}$]

	男児			女児			性的二型	
	N	Mean	SD	N	Mean	SD	性差百分率	t検定
O. 歯冠全体に関する計測項目								
bd	30	80.49	2.17	30	81.18	2.28	0.37	NS
eg	30	82.45	4.69	30	79.92	4.16	3.16	#
ai	30	122.81	3.28	30	123.28	3.44	-0.38	NS
ch	30	75.92	6.97	30	76.19	5.12	-0.36	NS
B. 頬側咬頭に関する計測項目								
ab	30	77.76	7.69	30	78.51	8.75	-0.96	NS
ad	30	67.28	6.53	30	69.43	6.86	-1.75	NS
ac	30	78.89	7.62	30	77.90	9.48	1.27	NS
cf	30	52.02	3.32	30	51.31	3.61	1.38	NS
ae	30	89.30	5.42	30	91.87	5.85	-2.8	NS
ag	30	85.63	4.32	30	87.36	5.03	-1.99	NS
bc	30	48.87	3.72	30	48.83	2.72	0.08	NS
cd	30	48.42	3.49	30	45.72	4.42	5.91	#
L. 舌側咬頭に関する計測項目								
ei	30	74.50	7.12	30	66.47	5.82	12.09	##
gi	30	69.34	6.22	30	66.94	6.11	3.58	NS
hi	30	53.17	8.06	30	51.32	7.83	3.61	NS
fh	30	42.50	5.36	30	43.53	4.25	-2.38	NS
eh	30	67.27	5.34	30	65.50	4.94	2.70	NS
gh	30	51.26	4.19	30	51.13	4.02	0.25	NS

SD, 標準偏差

性差百分率 = $[(M - F) / F] \times 100$; t検定, ##, $p < 0.01$; #, $p < 0.05$; NS, 有意差なし; M, 男児; F, 女児

表4 上顎第一小臼歯の弯曲徴と最大豊隆点の近遠心的位置、頬側咬頭頂の関係

	弯曲徴			頬側最大豊隆点		頬側咬頭頂		
	N	%		N	%	N	%	
男児	通常	0	0.0	近心	0	0.0	0	0.0
				中心	0	0.0	0	0.0
				遠心	0	0.0	0	0.0
	なし	8	26.7	近心	8	100.0	3	37.5
				中心	0	0.0	2	25.0
				遠心	0	0.0	3	37.5
	逆	22	73.3	近心	18	81.8	9	40.9
				中心	2	9.1	3	13.6
				遠心	2	9.1	10	45.5
女児	通常	0	0.0	近心	0	0.0	0	0.0
				中心	0	0.0	0	0.0
				遠心	0	0.0	0	0.0
	なし	7	23.3	近心	7	100.0	6	85.7
				中心	0	0.0	1	14.3
				遠心	0	0.0	0	0.0
	逆	23	76.7	近心	21	91.3	15	65.2
				中心	2	8.7	4	17.4
				遠心	0	0.0	4	17.4

頬側最大豊隆点: $(ab - ad) > 0.1$ の場合, 近心を示す; $|ab - ad| \leq 0.1$ の場合, 中心を示す; $(ab - ad) < 0.1$ の場合, 遠心を示す。

χ^2 検定にて最大豊隆点および頬側咬頭頂の位置に性差は認められなかった。

表5 上顎小臼歯(男児)の距離計測値(mm)と歯冠面積(mm²), 指数値(%)の統計量

	P ¹				P ²				対応のある t検定	退化指数			近遠心の比較
	N	Mean	SD	CV	N	Mean	SD	CV		N	Mean	SD	
O. 歯冠全体のサイズと面積 (bd × ai)													
bd	27	7.53	0.33	4.39	27	6.80	0.48	7.03	P ¹ ≫P ²	27	90.33	5.86	
eg	27	6.76	0.36	5.37	27	6.24	0.36	5.76	P ¹ ≫P ²	27	92.38	6.03	
ai	27	10.22	0.54	5.31	27	9.89	0.48	4.83	P ¹ ≫P ²	27	96.87	3.58	
ch	27	6.32	0.52	8.15	27	6.36	0.40	6.35	P ¹ =P ²	27	100.83	5.19	
bd × ai	27	77.11	6.79	8.81	27	67.39	6.87	10.20	P ¹ ≫P ²	27	87.56	7.19	
B. 頬側咬頭に関する計測項目													
ab	27	6.43	0.65	10.08	27	5.19	0.35	6.83	P ¹ ≫P ²	27	81.59	10.37	P ¹ : ab≫ad
ad	27	5.59	0.63	11.18	27	5.27	0.55	10.35	P ¹ =P ²	27	95.30	13.50	P ² : ab=ad
ac	27	6.49	0.60	9.24	27	5.06	0.72	14.24	P ¹ ≫P ²	27	78.61	12.75	
cf	27	4.32	0.32	7.46	27	3.97	0.26	6.47	P ¹ ≫P ²	27	92.30	5.55	
ae	27	7.40	0.54	7.28	27	6.70	0.39	5.76	P ¹ ≫P ²	27	90.85	6.78	
ag	27	7.11	0.49	6.88	27	6.96	0.45	6.49	P ¹ =P ²	27	98.23	7.83	
bc	27	4.04	0.38	9.37	27	4.32	0.44	10.11	P ¹ <P ²	27	107.49	11.40	P ¹ : bc=cd
cd	27	3.98	0.35	8.76	27	3.91	0.31	7.96	P ¹ =P ²	27	98.63	10.00	P ² : bc≫cd
L. 舌側咬頭に関する計測項目													
ei	27	6.19	0.54	8.79	27	5.74	0.41	7.14	P ¹ ≫P ²	27	93.37	8.87	P ¹ : ei≫gi
gi	27	5.70	0.45	7.95	27	5.47	0.59	10.76	P ¹ =P ²	27	96.07	9.95	P ² : ei>gi
hi	27	4.40	0.62	14.14	27	4.11	0.80	19.38	P ¹ =P ²	27	94.72	20.44	
fh	27	3.52	0.47	13.27	27	3.58	0.29	8.02	P ¹ =P ²	27	103.08	13.28	
eh	27	5.58	0.38	6.87	27	4.91	0.34	6.85	P ¹ ≫P ²	27	88.08	5.99	P ¹ : eh≫gh
gh	27	4.20	0.36	8.61	27	4.31	0.37	8.54	P ¹ =P ²	27	103.02	9.61	P ² : eh>gh
I. 線形計測から算出した指数													
歯冠指数	27	135.72	5.73	4.22	27	145.91	9.25	6.34	P ¹ ≪P ²				
咬頭頂間指数	27	61.92	4.80	7.75	27	64.30	3.12	4.85	P ¹ <P ²				
近遠心指数	27	89.84	4.57	5.08	27	91.86	4.44	4.83	P ¹ =P ²				

SD, 標準偏差; CV, 変動係数

歯冠指数 = ai/bd × 100; 咬頭頂間指数 = ch/ai × 100; 近遠心指数 = eg/bd × 100

P¹とP²の比較(対応のあるt検定); ≪, p < 0.01; <, p < 0.05; =, 有意差なし

近遠心の比較(対応のあるt検定); ≪, p < 0.01; <, p < 0.05; =, 有意差なし

表6 上顎小臼歯(男児)の歯冠面積の平方根に対する計測値[$\sqrt{(ai \times bd)}$]

	P ¹			P ²			対応のある <i>t</i> 検定
	N	Mean	SD	N	Mean	SD	
O. 歯冠全体に関する計測項目							
bd	27	85.89	1.8	27	82.91	2.61	P ¹ ≫P ²
eg	27	77.13	3.57	27	76.08	2.62	P ¹ =P ²
ai	27	116.47	2.45	27	120.73	3.82	P ¹ ≪P ²
ch	27	72.07	5.13	27	77.63	4.47	P ¹ ≪P ²
B. 頬側咬頭に関する計測項目							
ab	27	73.35	6.98	27	63.38	3.76	P ¹ ≫P ²
ad	27	63.66	5.87	27	64.30	5.84	P ¹ =P ²
ac	27	73.93	5.84	27	61.73	8.19	P ¹ ≫P ²
cf	27	49.20	2.95	27	48.50	2.43	P ¹ =P ²
ae	27	84.32	4.90	27	81.72	3.60	P ¹ =P ²
ag	27	80.97	4.07	27	84.88	4.16	P ¹ <P ²
bc	27	46.08	3.94	27	52.69	4.07	P ¹ ≪P ²
cd	27	45.42	3.43	27	47.66	3.07	P ¹ =P ²
L. 舌側咬頭に関する計測項目							
ei	27	70.60	6.29	27	70.03	2.93	P ¹ =P ²
gi	27	65.09	5.20	27	66.65	5.89	P ¹ =P ²
hi	27	50.23	7.52	27	49.89	8.48	P ¹ =P ²
fh	27	40.08	5.00	27	43.65	3.18	P ¹ <P ²
eh	27	63.76	4.79	27	59.90	3.34	P ¹ ≫P ²
gh	27	47.93	3.79	27	52.61	3.80	P ¹ ≪P ²

SD, 標準偏差

P¹とP²の比較 (対応のある*t*検定); ≪, $p < 0.01$; <, $p < 0.05$; =, 有意差なし

表7 上顎小臼歯(男児)の弯曲徴

弯曲徴	P ¹		P ²	
	N	%	N	%
通常	0	0.0	6	22.2 *
なし	7	25.9	16	59.3 *
逆	20	74.1	5	18.5 *
計	27	100.0	27	100.0

χ^2 検定 (P¹とP²の間の頻度の差); *, $p < 0.05$

8. 参考文献

- (1) 飯田順一郎他:歯科矯正学.医歯薬出版株式会社,第6版:180-181,2019.
- (2) William R.Proffit, 高田健治:新版プロフィットの現代歯科矯正学.クインテッセンス出版株式会社,257,2004.
- (3) 石岡 亮, 石井かおり, 宮崎樹梨, 根岸慎一:歯根湾曲および鋏状咬合のために第二小臼歯を抜去した上下顎前突症の治療例.日大口腔科学,49:107-115,2023.
- (4) Jonge-Choen TE. Mühlreiters Anatomie des Menschlichen Gebisses. Leipzig: Artur Felix; 1928.
- (5) 藤田恒太郎:歯の解剖学.金原出版,第22版; 1995.
- (6) Nelson SJ, Ash Jr. MM. Wheeler's Dental Anatomy, Physiology and Occlusion: Expert Consult 9th Ed. St. Louis: Saunders; 2009.
- (7) Kondo S, Morita W, Ohshima H. The biological significance of tooth identification based on developmental and evolutionary viewpoints. J Oral Biosci,64:287-302,2022.
- (8) 近藤信太郎, 中村雅典, 野中直子, 松野昌展:歯の解剖学.わかば出版,第4版; 2023.
- (9) Kondo S, Manabe Y. Analytical methods and interpretation of variation in tooth morphology. J Oral Biosci,58:85-94,2016

- (10) Kondo S, Townsend GC, Yamada H. Sexual dimorphism of cusp dimensions in human maxillary molars. *Am J Phys Anthropol*,128:870-877,2005.
- (11) Biggerstaff RH. The basal area of posterior tooth crown components: The assessment of within tooth variations of premolars and molars. *Am J Phys Anthropol*,31:163-170,1975.
- (12) Corruccini RS. Crown component variation in hominoid upper first premolars. *Archs Oral Biol*,23:491-494,1978.
- (13) Lavelle CLB. A metrical comparison of maxillary first premolar form. *Am J Phys Anthropol*,63:397-40,1984.
- (14) Negishi S, Richards LC, Hughes T, Kondo S, Kasai K. Genetic contribution to palatal morphology variation using three-dimensional analysis in Australian twins. *Archs Oral Biol*,115:104740,2020.
- (15) Kuroe S, Negishi S, Kasai K. Molar inclination plays a functionally compensatory role in patients with mandibular prognathism. *Int J Oral-Med Sci*, 20(4):234-246,2021.
- (16) Kieser JA: Human adult odontometrics. Cambridge. Cambridge Univ Press; 1990.
- (17) 藤田恒太郎: 歯の計測基準. 人類学雑誌, 61:27-32,1949.
- (18) 尾崎 公: 日本人の歯の退化指数.解剖学雑誌,35(5):563-577,1960.

- (19) Garn SM, Lewis AB, Swindler DR, et al.: Genetic control of sexual dimorphism in tooth size. *J Dent Res*,46:963-972,1967.
- (20) Dahlberg G: Statistical methods for medical and biological students. George Allenand Unwin, Ltd, London,1940.
- (21) Alvesalo L: Human sex chromosomes in oral and craniofacial growth. *Archs Oral Biol* 54S ; S18–24,2009.
- (22) Gingerich PD: Size variability of the teeth in living mammals and the diagnosis of closely related sympatric fossil species. *J Paleontol* , 48:895–903,1974.
- (23) 近藤信太郎, 名取真人:幾何学的形態計測によるニホンザル大白歯形態の定量化. *Anthropol Sci (JpnSer)* ,112:9–18,2004.
- (24) Kraus BS, Jordan RE. Human dentition before birth. Lea & Febiger, Philadelphia ;1965.
- (25) van Reenen JF, Reid C: Maxillary premolar crown morphology. A preliminary study. *J Dent Assoc S Afr*, 51(12):783-6,1996.
- (26) Nanci A. Ten Cate's Oral Histology: development, strucutre, and function. 9th Ed. St. Louis, Missouri: Elsevier; 2018.
- (27) Butler PM: Studies of the mammalian dentition. Differentiation of the post-canine dentition. *Proc*

Zool Soc Lond B,109:1–36,1939.

(28) Townsend G, Harris EF, Lesot H, et al.: Morphogenetic fields within the human dentition: A new, clinically relevant synthesis of an old concept. Arch Oral Biol, 54(Suppl): S34–S44,2009.

(29) Yamanaka A: Developmental mechanisms regulating heterodonty and diphyodonty of mammalian dentition. Ann Kagoshima Univ Dent Sch,31:71–80,2011.

(30) McCollum MA, Sharpe PT: Developmental genetics and early hominid craniodental evolution. Bioessays,23:481–93,2001.

(31) Dahlberg AA :The changing dentition of man. J Am Dent Assoc, 32:676–90,1945.

(32) Jernvall J, Thesleff I. Reiterative signaling and patterning during mammalian tooth morphogenesis. Mech Dev, 92:19-29,2000.

(33) Thesleff I :Epithelial-mesenchymal signaling regulating tooth morphogenesis. J Cell Sci,116: 1647–1648,2003.

(34) 田畑 純：口腔の発生と組織 改訂4版，南山堂，東京，2019.

(35) Cho SW, Lee HA, Cai J, Ohshima H, et al. : The primary enamel knot determines the position of the first buccal cusp in developing mice molars. Differentiation, 75:441e51,2007.

(36) Kavanagh KD, Evans AR, Jernvall J: Predicting evolutionary patterns of mammalian teeth from development. *Nature*, 449: 427–432,2007.

(37) Jernvall J : Linking development with generation of novelty in mammalian teeth. *Proc Natl Acad Sci USA* ,14;97:2641–2645.2000.

(38) 中崎 光: 上顎小白歯の彎曲徴について. *九州歯会誌*, 30:1056-1063,1977.

(39) Kondo S, Wakatsuki E, Yoshida K, Kitamura M. A morphological study on cross-sections of the tooth crown in the mandibular central incisor. *Jpn J Oral Biol*, 34:701-714,1992.

(40) 佐伯政友, 菊池正嘉: 二, 三の靈長類の彎曲徴東北大学歯学研究, 8:15-23,1981.