

上顎後退における鼻上顎複合体と頭蓋底の形態的関連性

日本大学大学院松戸歯学研究科歯学専攻

葛西 絵美

(指導：葛西 一貴 教授，近藤 信太郎 教授)

ABSTRACT

Background and aim: The cranial base is considered to be related to the growth and development of the nasomaxillary complex morphologically, and is regarded as one of the factors in malocclusion. The anterior cranial base which is composed of the frontal, ethmoid, and sphenoid bones, is also important landmark in orthodontics. The purpose of this study were to describe the morphological relationships among the three bones of the frontal, ethmoid and sphenoid bones (**Research 1**), and to extract morphological characteristics of maxillary retrognathism to analyze relationships among the cranial base, maxilla and nasal septum (**Research 2**).

Materials and methods: (Research 1) Skulls of 100 Indian adults and 18 Japanese juveniles were observed both macroscopically and using computed tomography (CT) images in the median sagittal plane. (**Research 2**) The lateral cephalograms and CT images of 26 pre-treatment mandibular prognathism patients (Japanese males, 24.8 ± 8.4 years). Subjects were divided into two groups based on the position of point A: a posterior group (n = 10) and an anterior group (n = 16). The posterior group was thought to correspond to maxillary retrognathism. Angular and linear measurements were made on lateral cephalograms and median sagittal plane CT images.

Results and discussion: (Research 1) Four types of relationship were seen among the

three bones of the anterior cranial base: 1) a triangular border between ethmoid and sphenoid bones; 2) a straight or concave border between ethmoid and sphenoid bones; 3) frontal bone lying between the ethmoid and sphenoid bones; and 4) a straight anterior border of the sphenoid bone. The fourth type was only seen in the juvenile skulls. The three bones comprise the anterior cranial base, each with differing developmental processes, and slight differences in these processes seem to be reflected in the morphological variations seen among adults. **(Research 2)** Compared with the anterior group, the posterior group displayed a short anterior cranial base, a more posteriorly positioned posterior nasal spine, and counterclockwise inclination of the cranial base on cephalometric measurements. The posterior space of the vomer was smaller, and mid-facial height was smaller on CT measurements. No difference between groups was seen in shape of the cranial base or anteroposterior length of the hard palate.

Conclusion: The most posterior cribriform foramen is considered to be valid as a reference point of the boundary between the ethmoid and sphenoid bones. In maxillary retrognathism, the cranial base is inclined counterclockwise due to insufficient growth of the nasal septum, especially the posterior part of the vomer.

【緒言】

頭蓋顔面複合体は4つの領域から成る。頭蓋冠，頭蓋底，鼻上顎複合体，下顎骨である。これらの領域は脳頭蓋と顔面頭蓋の2つに大きく分けられるが，それぞれ異なる機能をもっている。それぞれが独立に，あるいは，相互に関係しつつ成長するが，各々別個の成長様式をとる(Profit et al., 2007)。頭蓋底は顎顔面の成長発育と形態的な関連性があるといわれており (Enlow, 1975)，頭蓋底の形態は不正咬合の一要因と考えられている。さらに，鼻上顎複合体の一部である鼻中隔は中顔面を構成する重要な構造であり，顔面の成長に大きな役割を果たしている (Sperber, 2010)。これまでの研究から頭蓋底と鼻上顎複合体の形態的な関連性は示唆されているものの (Hopkin et al., 1968; Enlow, 1975; Kasai et al., 1995; 安齋ほか, 1998)，側面頭部エックス線規格写真（以下セファロ）を用いた二次元的な分析が主で，鼻中隔の三次元的形態は評価されていない。近年，CT 画像診断の技術が向上し，鼻中隔も高解像で描出できるようになってきた。中顔面の成長不全は上顎後退による骨格性下顎前突の原因となるため，鼻中隔形態の評価は臨床的に意義が大きいと考えられる。下顎前突については，病因が歯性，機能性，骨格性など多岐にわたり，さらに，骨格性自体もさらに分類や評価がなされている (須佐美, 1980; 安田, 1991) ため，いくつかの尺度を総合的に評価することによって診断されている (Tsuji, 1986; 安田, 1991)。

本研究の目的は上顎後退における鼻上顎複合体と頭蓋底の形態的な関連性を検討することである。鼻中隔を構成する骨のうち篩骨は前頭蓋底を構成する骨の1つでもある。篩骨

と蝶形骨は前頭蓋底の前後径において相補的な役割をしていると報告されている（安斎ほか, 1998; Hayashi & Kasai, 2003）。セファロ分析では2つの骨の境界は便宜上の点として設定されており（Graber, 1975）、骨自身の境界は明確ではない。そこで研究1は頭蓋骨標本を用い前頭蓋底を構成する前頭骨、篩骨、蝶形骨の形態的な関係を調査し、篩骨と蝶形骨を分ける基準点を検討した。研究2は研究1で求めた計測点を基に、骨格性下顎前突のうち上顎後退における鼻上顎複合体と頭蓋底の形態的な関係性を検討した。

【資料および方法】

1. 資料

解剖学では内頭蓋底を前・中・後頭蓋窩の3つに区分する。これは脳の構造に対応した区分である。一方、歯科矯正学ではセファロにおいてナジオン(Nasion, N)からセラ(Sella trumatica, S)を前頭蓋底、セラからバジオン(Basion, Ba)を後頭蓋底と呼ぶ。厳密に言えば、研究1は前頭蓋窩が対象であり、研究2はセファロあるいはCTにおける前頭蓋底が頭蓋底としての主な研究対象であるが、研究1は前頭蓋窩と前頭蓋底を同義に扱う。

研究1

まず初めにいくつかの解剖学の成書や論文から前頭蓋底における前頭骨、篩骨、蝶形骨の形態を確認し、過去の報告をまとめた。

成人の個体として、日本大学松戸歯学部解剖学講座所蔵のインド人成人頭蓋骨 100 個体

を用いた（表 1）。全身骨格がないため性別は不明である。すべての個体において第二大臼歯の完全萌出を認め、第三大臼歯が萌出している個体もあった。咬耗も進行しており、蝶形後頭軟骨が残っている個体がないことから、これらの個体は完全な成人と推測できる。成長期の個体として、東京大学総合研究博物館所蔵の日本人成長期の頭蓋骨 18 個体を用いた（表 1）。観察部位である前頭骨、篩骨、蝶形骨が破損した個体は観察対象から除外した。なお、研究 1 は人を対象とするためヘルシンキ宣言に従って研究を行なったが、故人を特定する記録がなく、配慮すべき個人情報が存在しないため倫理審査の対象にはならない。

研究2

日本大学松戸歯学部附属病院矯正歯科に受診している顎変形症の患者のうち、骨格性下顎前突を呈し、外科的手術を要する成人男性 26 名（平均年齢 24.8 ± 8.5 歳）の治療開始前のセファロと CT データを使用した。除外基準は 1) 矯正治療の既往のあるもの、2) 頭頸部領域または全身における先天性疾患、頭蓋・顔面に外傷に既往のあるもの、3) 多数の歯科補綴装置や齲歯、または多数歯欠損により咬合が不安定なものとした。なお、研究 2 は日本大学松戸歯学部倫理委員会にて研究倫理の承認（承認番号：EC15-030）を得ている。

2. 方法

研究1

国内外の解剖学成書や論文に記載された前頭蓋底における前頭骨、篩骨、蝶形骨の形態を調査した。内頭蓋底および蝶形骨の図を精査して類型に分類した。成人 100 個体、成長

期 18 個体の前頭骨，篩骨，蝶形骨の結合関係を肉眼観察し，文献による類型と比較した。成人 100 個体のうち 44 個体をコンビーム CT で，成長期 18 個体をマイクロ CT で正中矢状断の前頭骨，篩骨，蝶形骨の関係を観察した。コンビーム CT (KaVo 3D eXam+; KaVo Dental Systems Japan, Tokyo, Japan) の撮像条件は，管電圧 120kV，管電流 5mA，ボクセルサイズ 0.3mm である。マイクロ CT (TXS225-ACTIS; TESCO, Tokyo, Japan) の撮像条件は，管電圧 130kV，管電流 0.30mA，ボクセルサイズ 0.45mm である。

研究2

セファロの計測点を図 1-1 に示す。上顎骨の前後的位置の判断基準を図 1-2 に示す。フラン克福ルト平面 (FH 平面) に垂直で N を通る線より A 点が前方位となるものを+，後方位となるものを-として，この垂線から A 点までの距離 (N line-A) を計測した (McNamara, 1981)。N line-A < 0 mm を後方群 (n = 10)，N line-A \geq 0 mm を前方群 (n = 16) とした。

セファロの距離および角度計測項目を図 2 に示す。セファロ距離計測については通例に従いセファログラムの拡大率を考慮し，150/165 を計測値にかけて拡大修正を行なった。

CT 画像の計測点を図 3，距離および角度計測項目を図 4 に示す。鼻中隔は湾曲しており薄い画像では一部に欠落が生じる可能性がある。そこで，篩骨の垂直板，鋤骨を含む計測はすべての個体の鼻中隔が含まれる 6.0mm 厚の正中矢状断画像上で行った (図 4:23-31)。他の部位の計測は 0.3mm 厚の正中矢状断画像上で行った。観察に用いた正中矢状断の画像

は DICOM viewer (OsiriX version 7.5.1; Pixmeo SARL, Geneve) にて作製, ImageJ (version 1.51K)を用いて計測した。CT 装置 (Aquilion 64, 東芝メディカルシステムズ, 東京) の撮像条件は, 管電圧 120kV, 管電流 100mA, スライス厚 0.5mm×64 列である。統計には JMP (SAS Institute Inc., Tokyo, Japan) を使用した。

【結果】

研究1

1-1 前頭蓋底の文献による記載の整理 (図 5)

解剖学の成書や論文に記載された前頭蓋底における前頭骨, 篩骨, 蝶形骨の形態的な関係は図 5 に示す 4 種類に整理できた。三角型: 蝶形骨の篩骨棘が尖って三角形を呈するもの (森ほか, 1950; Morris et al., 1966; Gray, 1973; Rohen, 1973; 上条, 1985; Sobotta, 2006; Hansen et al., 2010; 藤田, 2011; 坂井ほか, 2018; 松永・井出, 2018), 多形型: 篩骨棘の先端が尖っておらず, 篩骨棘が様々な形態を呈するもの (van der Linden & Enlow, 1971; Snell, 1978; 吉川, 1984; 金子ほか, 2000), 介入型: 篩骨と蝶形骨の間に前頭骨が介入するもの (Grant, 1972; Moore, 2004), 平坦型: 蝶形骨の前縁が直線的なもの (van der Linden & Enlow, 1971)。平坦型は対象に成長期頭蓋を含む研究のみに認められた。また, 多形型では篩骨と蝶形骨の境界の形態に個体変異が記載されていた (図 5:B1~B3, van der Linden & Enlow, 1971)。

1-2 成人 (図6)

肉眼観察において、三角型 (59 個体)、多形型 (34 個体)、介入型 (7 個体) の 3 型に分けることができた。三角型と多形型を詳細に記載すると、三角型では蝶形骨の篩骨棘は篩骨鶏冠に連続し、蝶篩骨縫合は認められなかったが、多形型では蝶篩骨縫合が認められた。また、多形型では篩骨と蝶形骨の境界の形態に個体変異が認められた。44 個体 (三角型 : 多形型 : 介入型 = 20 : 17 : 7) の骨内部の状態を CT 画像にて観察した。CT 観察では、多形型は篩骨と蝶形骨の境界が明瞭であったが、三角型と介入型では骨間の境界は不明瞭であった。また、CT 画像において、すべての個体で篩板孔が明確に描出された。

1-3 成長期

4 か月～2 歳 (5 個体)、7 歳 (2 個体)、10～18 歳 (11 個体) の年齢群に分けて観察した。

4 か月～2 歳 (図7)

三角型 (1 個体) と平坦型 (4 個体) が認められた。肉眼観察において、すべての個体で蝶篩骨縫合が認められた。CT 画像において、すべての個体で篩骨と蝶形骨の間に不透過性の境界線が観察され、蝶篩骨縫合を認めた。

7 歳 (図8)

多形型 (1 個体) と介入型 (1 個体) がみられた。介入型は、平坦型に近い形態、すなわち、蝶形骨の正中部が前方に突出せず平坦であったが、前頭骨の左右の眼窩部が中央部で近接していた。これらの個体では肉眼観察、CT 画像観察において蝶篩骨縫合を認めた。

10～17 歳 (図 9)

三角型 (3 個体), 多形型 (6 個体), 介入型 (1 個体) がみられた。介入型以外のすべての個体で肉眼観察, CT 画像観察において, 蝶篩骨縫合を認めた。

研究2

2-1 セファロ (図 12)

SN-FH は後方群が有意に小さい結果となった。そのため, 頭蓋底を基準にした上・下顎骨の前後的な位置 (\angle SNA, \angle SNB, \angle SNPog) に両群で有意な差はなかったが, FH 平面を基準にした上・下顎骨の前後的な位置 (\angle FH-NA, \angle FH-NB, facial angle) は後方群が有意に小さかった。また, 頭蓋底の角度 (\angle NSBa) に両群で有意な差はなかった。前頭蓋底長 (S-N), 全頭蓋底長 (N-Ba) は前方群より後方群が有意に短かった。後頭蓋底長 (S-Ba) には有意な差はなかった。口蓋長 (ANS-PNS) は両群で有意な差はなかった。

以上より, 頭蓋底の角度に両群の差はないが, 後方群は前頭蓋底が短く, 頭蓋底自体が反時計回りに傾いていると総括できる。また, 両群で口蓋長には差がないが, 後方群は上顎が後方に位置していた。

2-2 CT (図 11)

鋤骨後方の角度 (\angle V-PNS-ANS) は前方群より後方群の方が小さかった。両群で前頭蓋

底における篩骨の長さ (N-E) , 蝶形骨の長さ (E-S) に有意な差はなかった。中顔面高を示す N-ANS および SN-ANS は, 前方群より後方群が有意に小さかった。鋤骨の後方の奥行 (PNS-V (palatal plane)) は前方群より後方群が有意に小さかった。以上より, 後方群は前方群より鋤骨の後方部が小さく, 中顔面高が短いことが明らかとなった。

【考察】

研究1

後頭蓋底は思春期まで前後方向に成長し続けるが, 前頭蓋底の成長は 7 歳までに完了するため (Friede, 1981), 歯科矯正学分野では前頭蓋底 (S-N) が計測の基準に使われる。前頭蓋底は, 軟骨原基自体の成長と, 軟骨結合や縫合間の成長によってサイズが大きくなる (Friede, 1981)。出生時の頭蓋底の大部分は軟骨である (Belden et al., 1997; Hughes et al., 2010)。

前頭蓋底を構成する篩骨, 蝶形骨は, 軟骨内骨化により発生し, これらの軟骨が前頭蓋底成長に大きく関与する (Sperber, 2010)。しかし, 前頭骨の眼窩部は膜内骨化によって発生するとされており, 縫合間での成長が関与している (Sperber, 2010)。前頭蓋底の成長は, 出生後よりも胎児期により盛んであり, 長さは幅や高さよりも増加する (Morimoto et al., 2008)。前頭蓋底の幅は 1) 出生前の前蝶形骨の軟骨結合, 2) 2 歳までの前頭縫合, 3) 4 歳までの鼻殻軟骨により大きく成長する (Friede, 1981)。前頭蓋底の長さの増加は, 1)

鼻殻軟骨， 2) 前蝶形骨の軟骨結合， 3) 前頭篩骨軟骨（縫合）， 4) 蝶形篩骨軟骨（縫合）， 5) 前頭蝶形縫合（Friede, 1981）によって起こる。これらはそれぞれ7歳までに完了する。

本研究の結果からも，成人の前頭蓋底の構造，発達との間には一定の関係が存在すると考えられる。篩骨棘は，三角型では著しく発達して前方に突出していたが，その他の多形型，介在型では前方への突出が蝶形骨の小翼とほぼ同じ程度であった。これは過去の研究でも報告されている（van der Linden & Enlow, 1971）。篩骨棘は頭蓋底の発達の初期から明瞭に観察され，篩骨棘の突出程度の個体差は初期発生の形態的差異によると考えられる。なお，篩骨棘のみられない平坦型は成長期のみに見われ，成人では認められなかった。

蝶形骨体の前方部は前蝶形骨軟骨から成り，前蝶形骨軟骨の原基には9つの石灰化中心がある。篩骨棘を形成する部分はその中でも最も遅くに出現し，篩骨棘に近接する石灰化中心は形成不良で出現率が低く個体によっては存在しないものも報告されている（Kodama, 1965）。この石灰化の遅れや近接部位の形成不全が篩骨棘の個体差の一因と考えられる。また，蝶形骨の前方に前頭骨が介入する構造は，発生時に鼻殻と前蝶形骨軟骨の間に空間が見られたときに現れると考えられる。各骨を形成する原基間の空間的な距離の違いが，骨形態の最終的な変化に関与していることが示唆される。

出生後の前頭蓋底の3つの骨における関係の変化を検討した（図12 ①～⑩）。幼児期には，篩骨と蝶形骨の境界が，三角形の篩骨棘を有する個体（図12 ①）と，平坦またはわず

かに凹状の境界を有する個体（図 12 ②）が見られた。これら 2 つのタイプは年齢とともに変化した。

三角形の篩骨棘を有する形態（図 12 ①）の出生後の発達は、以下のように進行すると推測される。最初は、篩骨と蝶形骨の間に縫合があり、境界は明らかである。篩骨の鶏冠の形成が進行するにつれて（図 12 ⑤）、蝶篩骨縫合は消失する（図 12 ⑧）。頭蓋骨の縫合は加齢により消失することが知られている（Perizonius, 1984）。蝶篩骨縫合および前頭蝶形縫合もまた、加齢とともに消滅する（Dorandeu, 2008; Lingawi, 2012）。

乳児期には、蝶形骨は平坦な境界で篩骨と接触している（図 12 ②）。篩骨の垂直方向の高さは最初低いが、徐々に増加する。小さな骨片様構造が、篩骨と蝶形骨の間の境界に現れる（図 12 ③, ④）。小骨片に見える構造は鶏冠と連続しており、篩骨の一部である。篩骨と蝶形骨に隙間がなく接しているもの（図 12 ③）、篩骨と蝶形骨の間に左右の前頭骨の眼窩板が伸びているが中央部では篩骨と蝶形骨が接しているもの（図 12 ④）に分かれ、さらにこの 2 種類の形態は違う方向へと成長していく。図 12 ③は篩骨と蝶形骨に隙間がなく接している状態を維持し（図 12 ⑥）、図 12 ④は前頭骨の形成が活発な場合、さらに前頭骨は篩骨と蝶形骨の間に入り込む。これら 2 つの類型はそのままの形態を維持して成人となる（図 12 ⑨, ⑩）。そして、蝶篩骨縫合や前頭蝶形骨縫合が加齢により消失すると、三角形の篩骨棘をもつ形態にみえる（図 12 ⑪）。

成長期の資料数は少ないが、以上の経年変化は妥当と考えられる。前頭蓋底での個々の

骨の関係は多様性に富み、成長期から篩骨と蝶形骨の境に前頭骨が入り込むことで蝶篩骨縫合が存在しないことがあり、さらに蝶篩骨縫合は加齢により消失する可能性があることから、篩骨と蝶形骨の境界の基準点として蝶篩骨縫合を用いることは適していない。

研究1で撮影した正中矢状断のCT画像では、三角型、多形型、介在型すべての類型で篩板孔の最後方点は篩骨棘の前縁あるいは篩骨の鶏冠に続く部位に相当していた(図13)。また、最後方の篩板孔はどの個体においても安定して観察できた。以上から、篩骨と蝶形骨の境界に近似する基準点として、最後方の篩板孔を用いることが妥当と判断した。そこで、研究2では篩骨と蝶形骨の境界を示す計測点として最後方の篩板孔を用いた。

研究2

鼻上顎複合体は上顎骨、口蓋骨、鼻骨、鋤骨、涙骨、篩骨の一部から構成される。その下部は硬口蓋、その直上は上顎洞を含む鼻腔が占め、最上部は頭蓋底と接している。鼻上顎複合体の成長は隣接する骨と互いに影響し合って複雑なパターンを呈するが、頭蓋と顔面の両者の影響を受ける(Enlow, 1975; Melsen, 1977)。これまでに鼻上顎複合体と頭蓋底の成長と構造は多くの研究が報告されてきた。その結果は以下の通りである。

頭蓋底長と頭蓋底角はⅢ級、Ⅰ級、Ⅱ級の順に大きくなり、不正咬合と頭蓋底と鼻上顎複合体には形態的な関連性がある(Hopkin et al., 1968; Ruhland, 1975)、Ⅰ級とⅡ級では頭蓋底角は上下顎の前後的位置と関連している(Kasai et al., 1995) 上顎が前方位にある

と前頭蓋底の篩骨が長く、後方位だと篩骨が短い。したがって、篩骨は前頭蓋底の長さを一定に保つ役割があると考えられる(安齋ら, 1998; Hayashi & Kasai, 2003)。

鼻中隔軟骨は中顔面の発育と形成に関与することが示唆されている。外傷や炎症で鼻中隔軟骨を摘出した患者に前後的な中顔面の発達不全が起こったことが報告されており(Grymer et al., 1997; Profit, 2007; Sperber, 2010), 若いウサギの鼻中隔軟骨を除去する実験でも同様の結果を得ている(Sarnet, 1976)。鼻中隔は1枚の軟骨板すなわち篩骨鋤骨軟骨から成る(Gray, 1973)。この軟骨上部は骨化して篩骨垂直板を形成し、前下部は中隔軟骨として残る。そして鋤骨は後下方で骨化する(Gray, 1973)。幼児の鼻中隔の大部分は軟骨で構成されており、鋤骨、篩骨の垂直板の骨化が進行するにつれ、思春期まで大きくなる(van Loosen et al., 1988; Melsen, 1977)。

最近のCTによる研究では鼻中隔全体の面積と鼻中隔の骨性部(篩骨の垂直板と鋤骨)が10代までは成長によって増加する。中隔軟骨は10代で最大になり40歳までほぼ一定であるが、その後年齢とともに減少する。つまり、加齢とともに鼻中隔は軟骨性部が減少し、相対的に骨性部が増加する(Kim et al., 2014)。

本研究では鼻中隔を構成する鋤骨に有意な差がみられた。後方群が前方群に比べ鋤骨の後方が有意に短く、角度も小さかった。このことから、上顎の前後的位置に鋤骨の形態が関与することが示唆される。

前頭蓋底の前後的成長は前頭蝶形縫合、前頭篩骨縫合、蝶篩骨縫合による。これらの縫

合は7歳頃に成長が停止する。その後の前頭蓋底の成長は前頭洞の発達によるものである(Sperber, 2010)。6歳から16歳までの期間で男子は前頭蓋底(S-N)が約7mm, 後頭蓋底(S-Ba)が約14mm成長する(Elisha, 1991)。幼児期以降では前頭蓋底の成長量は後頭蓋底より少ない。また, 鼻中隔と比較すると, 前頭蓋底の成長は早期に終了する。

本研究では後方群の前頭蓋底は前方群より有意に短かった。前頭蓋底の成長が早期に終了することから後方群では学童期頃からすでに前頭蓋底が小さい傾向にあったと考えられる。また, 前頭蓋底の成長は他の部位より早期に終わることから, 先行して成長が終了する前頭蓋底の短さが, 鼻中隔や上顎の大きさや位置に何らかの影響を与えるかもしれない。

後方群は前方群に比べ鋤骨の後方部が有意に短く, 角度が小さかった。これらの結果から, 後方群はPNSが後上方に位置していることが示唆される。後方群は前方群に比べて前頭蓋底は短い, 頭蓋底の全長(S-Ba)には有意な差がなかった。また, \angle SNBaにも有意差はなかった。そこで, 頭蓋底が反時計回り傾いていることによって, PNSは後上方に位置することになったと考えられる。

口蓋長(ANS-PNS)に有意差がないにも関わらず, PNSが後上方に位置することによって, FH平面を基準にしたときには, A点は後方に位置する。これらが上顎後退となる原因となったと示唆される。

鼻中隔, とくに鋤骨の後方部の成長が悪く, スペースが不足することによって, 頭蓋底が反時計回りに傾く, それが上顎後退の形態的要因と考えられる。

【結論】

研究1から前頭蓋底の前頭骨，篩骨，蝶形骨の関係性には変異があることが分かった。成人の前頭蓋底の前頭骨，篩骨，蝶形骨の形態は，三角型：蝶形骨の篩骨棘が尖って三角形を呈するもの，多形型：篩骨棘の先端が尖っておらず，篩骨棘が様々な形態を呈するもの，介入型：篩骨と蝶形骨の間に前頭骨が介入するものの3つのパターンにわかれた。成長期には経年的な形態の変化，成人では加齢による蝶篩骨縫合の消失が示唆された。これらのことから，CT計測の基準点として，篩板孔の最後方点が妥当であるとした。

研究2から上顎後退は頭蓋底の反時計回りの回転と鼻中隔（鋤骨）後方の空間が小さいことが関与していることが示唆された。鼻中隔の形態を含めて精査することが，上顎後退をより詳細に評価する指標になると考えられる。

【参考文献】

安齋 寿美子, 高橋 正光, 葛西 一貴 (1998) 脳頭蓋底の形態と上顎骨サイズとの関連性について. 日大口腔科学, 24: 267-273.

Belden CJ, Mancuso AA, Kotzur IM. (1997) The developing anterior skull base: CT appearance from birth to 2 years of age. American Journal of Neuroradiology, 18: 811-818.

Dorandeu A (2008) Age-at-death estimation based on the study of frontosphenoidal sutures. *Forensic Science International*, 177: 47-51.

Elisha R (1991) Atlas of craniofacial growth in Americans of African descent. Center for Human Growth and Development, the University of Michigan, Ann Arbor, Mich.

Enlow DH (1975) Handbook of facial Growth. W. B. Saunders Co, Philadelphia.

藤田 恒太郎 (2011) 人体解剖学 改定第 42 版. pp.64. 南江堂, 東京.

Friede H (1981) Normal development and growth of the human neurocranium and cranial base. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery*, 15: 163-169.

Graber TM (1975) Orthodontic glossary. pp.17. The American Association of Orthodontists, USA.

Grant JCB (1972) Head and neck. In: JCB Grant (ed), *An Atlas of Anatomy*, 6th ed, pp.507-512. Williams & Wilkins Co., Baltimore.

Gray H (1973) Osteology, In: CM Goss (ed), *Anatomy of the Human Body*. 29th ed, pp.144-194. Lea and Febiger, Philadelphia.

Grymer LG, Bosch C (1997) The nasal septum and the development of the mid-face. A longitudinal study of a pair of monozygotic twins. *Rhinology International Journal*, 35: 6-10.

Hansen JT, Netter, F.H. (2010) Head and neck. In: E O'Grady. Netter's Clinical Anatomy, pp.352, Elsevier, Philadelphia.

Hayashi I, Kasai K (2003) Morphological relationship between the cranial base and dentofacial complex obtained by reconstructive computer tomographic images. European Journal of Orthodontics, 25: 385-391.

Hopkin GB, Houston WJ, James GA (1968) The cranial base as an aetiological factor in malocclusion. The Angle Orthodontist, 38: 250-255.

Hughes DC, Kaduthodil MJ, Connolly DJA, Griffiths PD (2010) Dimensions and ossification of the normal cranial fossa in children. American Journal of Neuroradiology, 31: 1268-1272.

金子丑之助, 金子 勝治, 穂田 真澄 (2000) 日本人体解剖学 第19版 上巻. pp.124, 152. 南山堂, 東京.

上条 雍彦 (1985) 口腔解剖学 第2版 第1巻 骨学. pp.18. アナトーム社, 東京.

Kasai K, Moro T, Kanazawa E, Iwasawa T (1995) Relationship between cranial base and maxillofacial morphology. European Journal of Orthodontics, 17: 403-410.

Kim JH, Jung DJ, Kim HS, Kim CH, Kim TY (2014) Analysis of the development of the nasal septum and measurement of the harvestable septal cartilage in Koreans using three-dimensional facial bone computed tomography scanning. Archives of Plastic

- Surgery, 41: 163-170.
- Kodama G (1965) Developmental studies on the presphenoid in the human sphenoid bone. *Okajimas Folia Anatomica Japonica*, 41: 159-177.
- Lingawi SS (2012) Determination of the chronological age of skull base suture closure using computed tomography. *Journal of Basic and Applied Sciences*, 8: 247–252.
- McNamara JA (1981) Components of Class II malocclusion in children 8-10 years of age. *The Angle Orthodontist*, 51:177-202.
- 松永 智, 井出 吉信 (2018) 第 10 章 頭頸部の骨, 監修: 脇田 捻, 井出 吉信, 口腔解剖学 第 2 版. pp.105. 医歯薬出版. 東京.
- Melsen B (1977) Histological analysis of the postnatal development of the nasal septum. *The Angle Orthodontist*, 47: 83-96.
- Moore KL, Dalley AF (2004) Head. *Clinically Orientated Anatomy*. pp.844-846. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia.
- Morimoto N, Ogiwara N, Kaytayama K, Shiota K (2008) Three-dimensional ontogenetic shape changes in the human cranium during the fetal period. *Journal of Anatomy*, 212, 627-635.
- Morris H (1966) Osteology. In: Anson B.J. ed. *Morris' Human Anatomy a Complete Systematic Treatise*. 12th ed, pp.172-178. McGraw-Hill Book Co.

森 於菟, 小川 鼎三, 大内 弘, 森 富, 村上 宅郎 (1950) 分担解剖学 1 総説・骨学・靭帯学・筋学. pp.60, 98, 99. 金原出版, 東京.

Perizonius WRK (1984) Closing and non-closing sutures in 256 crania of known age and sex from Amsterdam (AD 1883-1909). *Journal of Human Evolution*, 13: 201-216.

Proffit WR, Fields HW, Sarver DM (2007) The development of orthodontic problems. In: Proffit WR (ed), *Contemporary Orthodontics*. 4th ed. pp. 25-71. Elsevier.

Rohen JW (1973) Head and neck. In: JW Rohen (ed), *Color Atlas of Anatomy*. pp. 64-67. Schattaur Verlag, Stuttgart.

Ruhland A (1975) The correlation between angle class III malocclusion and facial structures as diagnosis factors. *Transactions European Orthodontic Society*, 229-240.

Sarnet BG (1976) The Postnatal growth and development of the maxillary complex. In: McNamara, Jr JA (ed), *Factors affecting the growth of the mid-face*. Ann Arbor, Michigan. pp. 101-129.

坂井 健雄, 天野 修 (2018) プロメテウス解剖学アトラス 口腔・頭頸部 第2版. pp.29. 医学書院, 東京.

須佐美 隆三 (1980) 反対咬合の分類: 臨床反対咬合. pp. 25-33. 医歯薬出版, 東京.

Snell RS (1978) The head and neck, *Atlas of Clinical Anatomy*. pp. 432-433. Brown & Co.,

Boston.

Sobotta J (2006) Head. Caput. In: R Putz, R Pabst (eds), Sobotta Atlas of Human Anatomy. pp. 38-57. Elsevier, München.

Sperber GH (2010) Craniofacial Development. Craniofacial. Embryogenetics and Development, 2nd ed, pp.105–120. People's Medical Publish, Shelton.

Tsuji S, Fukaya M, Yasuda K, Inamoto H, Takai Y (1986) A method for classifying forms of mandibular prognathism. Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, Medicine, and Pathology, 32: 1352-1361.

van der Linden, Enlow DH (1971) A Study of the anterior cranial base. The Angle Orthodontist, 41: 119-124.

van Loosen J, Verwoerd-Verhoef HL, Verwoerd CD (1988) The nasal septal cartilage in the newborn. Rhinology International Journal, 26:161-165.

安田 和幸 (1991) 下顎前突症の術前矯正に必要な臨床形態学的研究, 日本顎変形症学会雑誌, 1: 44-71.

吉川 文雄 (1984) 人体系統解剖学. pp.105,116. 南山堂, 東京.

表 1 研究 1 の資料数

	男性	女性	性別不明
成人			100
4 か月-2 歳	1	4	1
7 歳	1	1	
10-17 歳	5	5	

表 2 セファロ計測の結果

	前方群 (n=16)		後方群 (n=10)		
	中央値	範囲	中央値	範囲	
N line-A (mm)	1.0	7.0	-3.0	5.0	**
角度計測(°)					
SNA	82.0	10.0	81.0	13.0	
FH-NA	90.8	9.5	87.3	14.0	*
SNB	86.0	11.5	86.3	9.5	
FH-NB	95.0	9.0	93.3	9.0	*
ANB	-4.3	10.0	-3.8	7.5	
SNPog	87.0	10.0	86.5	8.5	
Facial angle	95.3	9.0	93.8	8.0	**
Convexity	-11.3	18.0	-7.5	22.0	
SN-FH	10.0	6.0	7.3	5.0	**
SN-Palatal	10.0	9.5	6.5	6.0	*
NSBa	128.0	13.0	124.5	16.0	
距離計測 (mm)					
S-N	65.5	5.0	63.4	8.6	*
S-Ba	46.6	12.7	45.9	6.4	
N-Ba	100.0	10.5	97.3	6.8	**
ANS-PNS	48.2	11.4	48.9	10.9	

ウィルコクソンの順位和検定

*, P<0.05; **, P<0.01

表 3 CT 計測の結果

	前方群 (n=16)		後方群 (n=10)		
	中央値	範囲	中央値	範囲	
角度計測 (°)					
V-PNS-ANS	133.4	13.0	128.1	11.7	*
距離計測(mm)					
N-E	36.2	10.1	35.2	9.2	
E-S	30.2	9.5	30.6	10.6	
N-ANS	57.9	7.0	54.3	7.8	*
E-PNS	49.0	12.6	51.4	12.0	
V-PNS	27.0	4.3	26.4	3.0	
ANS-EV	38.4	14.5	34.6	17.0	
EV-V	37.0	14.4	35.8	15.6	
SN-V	25.3	8.5	27.2	9.1	
SN-PNS	48.4	8.3	48.0	10.1	
SN-EV	32.9	10.3	32.3	8.9	
SN-ANS	57.1	5.1	53.4	8.0	*
Palatal-V	20.1	7.1	20.3	4.4	
Palatal-EV	18.8	14.6	18.1	8.4	
ANS-EV (Palatal)	33.6	13.0	28.6	19.5	
PNS-V (Palatal)	18.6	6.8	16.1	4.5	**

ウィルコクソンの順位和検定

*, P<0.05; **, P<0.01

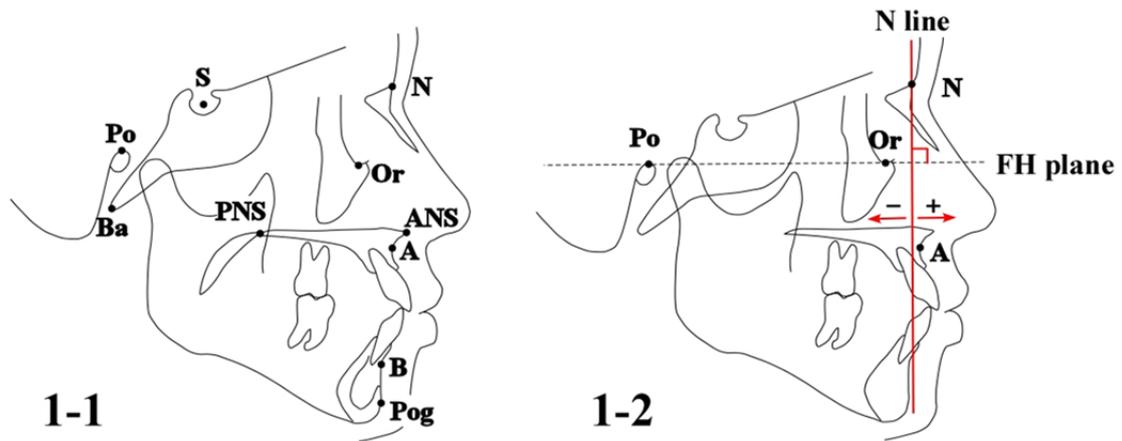


図 1-1 セファロ計測点

ナジオン Nasion (N) : 前頭鼻骨縫合の最前点, セラ Sella truciica (S) : 蝶形骨トルコ鞍の壺状陰影像の中心点, オルビターレ Orbitale (Or) : 眼窩骨縁の最下方点, ポリオン Porion (Po) : 外耳道上縁の最上方点, 前鼻棘 Anterior Nasal Spine (ANS) : 前鼻棘の先端点, 後鼻棘 Posterior Nasal Spine (PNS) : 後鼻棘の先端点, A 点 Point A (A) : 前鼻棘と上顎中切歯間歯槽突起稜との間の上顎骨外形線上の最深点, B 点 Point B (B) : 下顎中切歯間歯槽突起稜とポゴニオンとの間の下顎骨外形線上の最深点, ポゴニオン Pogonion (Pog) : 下顎骨オトガイ部の正中断面像の最前方点, バジオン Basion (Ba) : 大後頭孔の前縁上の最下方点

図 1-2 上顎骨の前後的位置

N-line より前方を正, 後方を負として A 点の位置を評価した

FH plane (FH 平面, フランクフルト平面) : Or と Po を結んだ線

N-line : FH 平面に垂直で N を通る線

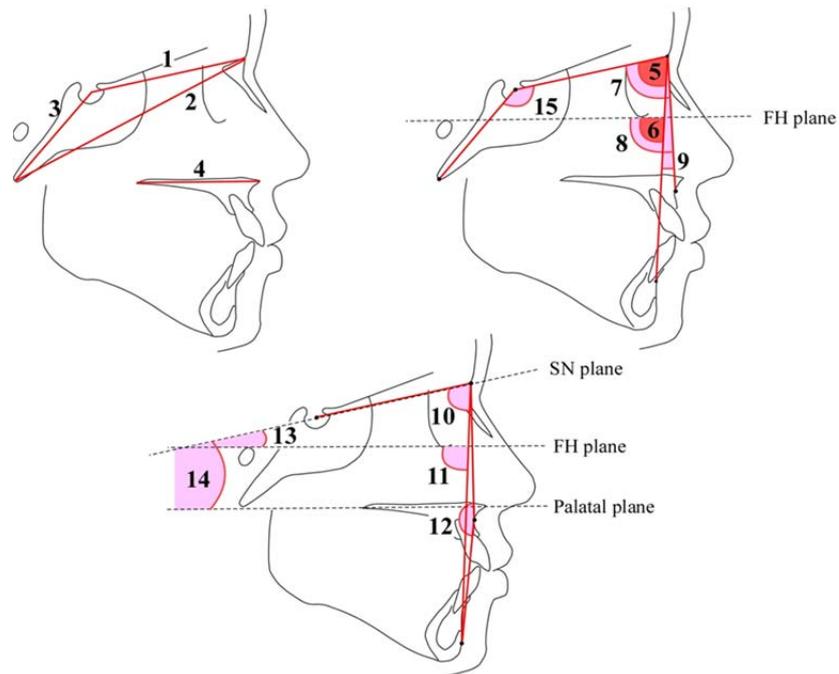


図2 セファロ計測項目

セファロ距離計測項目

- 1 S-N
- 2 N-Ba
- 3 S-Ba
- 4 ANS-PNS(硬口蓋の前後径)

セファロ角度計測項目

- 5 \angle SNA: SN 平面に対する A 点の角度
- 6 \angle FH-NA: FH 平面に対する A 点の角度
- 7 \angle SNB: SN 平面に対する B 点の角度
- 8 \angle FH-NB: FH 平面に対する A 点の角度
- 9 \angle ANB: A 点-N-B 点の角度
- 10 \angle SNPog: SN 平面に対する Pog の角度
- 11 Facial angle: FH 平面に対する Pog の角度
- 12 Convexity: N-A 点-Pog の角度
- 13 \angle SN-FH: SN 平面と FH 平面のなす角度
- 14 \angle SN-Palatal: SN 平面と口蓋平面のなす角度
- 15 \angle NSBa: N-S-Ba の角度

基準平面

SN plane (SN 平面) : S と N を結んだ線

FH plane (FH 平面, フランクフルト平面) : Or と Po を結んだ線

Palatal plane (口蓋平面) : ANS と PNS を結んだ線

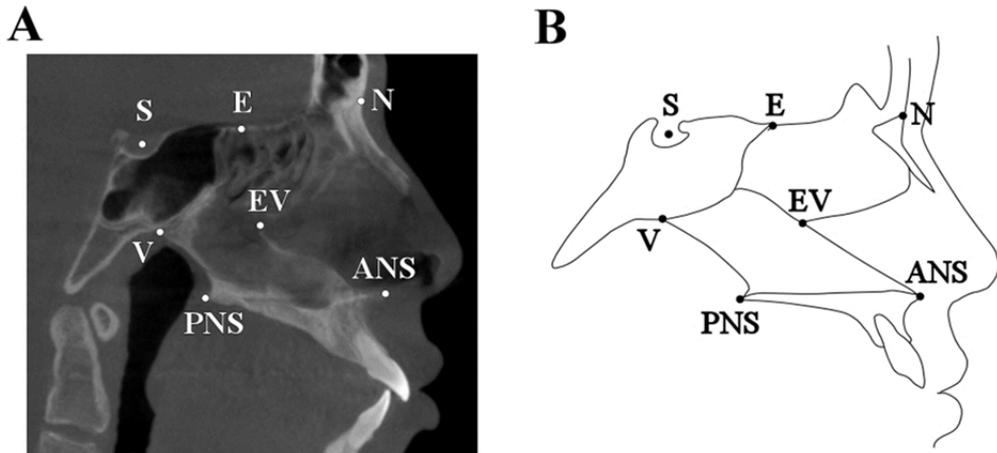


図3 CT画像上の計測点 (A: 6.0 mm厚の正中矢状断, B: トレース像)

ナジオン Nasion (N) : 前頭鼻骨縫合の最前点

セラ Sella truciica (S) : 蝶形骨トルコ鞍の壺状像の中心点

前鼻棘 Anterior Nasal Spine (ANS) : 前鼻棘の先端点

後鼻棘 Posterior Nasal Spine (PNS) : 後鼻棘の先端点

篩骨最後方点 Posterior ethmoidal foramen (E) : 頭蓋底上面の最後方に位置する篩板孔

鋤骨最後方点 Posterior of vomer bone (V) : 鋤骨の最後上方点

篩骨と鋤骨の交点 Point of intersection ethmoid bone and vomer bone (EV) : 鋤骨と接する篩骨の最下方点

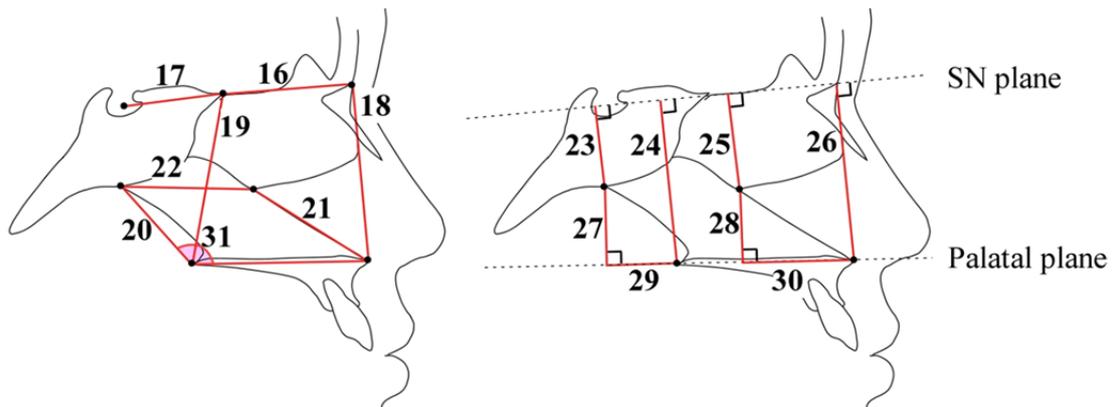


図 4 CT 画像上の計測項目

CT 画像上の距離計測項目

16 N-E

17 E-S

18 N-ANS

19 E-PNS

20 V-PNS

21 ANS-EV

22 EV-V

23 SN-V: SN 平面から V までの垂線の距離

24 SN-PNS: SN 平面から PNS までの垂線の距離

25 SN-EV: SN 平面から EV までの垂線の距離

26 SN-ANS: SN 平面から ANS までの垂線の距離

27 Palatal-EV: 口蓋平面から EV までの垂線の距離

28 Palatal-V:口蓋平面から V までの垂線の距離

29 PNS-V (Palatal) : 口蓋平面上の PNS から V までの距離

30 ANS-EV (Palatal) :口蓋平面上の ANS から EV までの距離

CT 画像上の角度計測項目

31 \angle V-PNS-ANS: V-PNS-ANS の角度

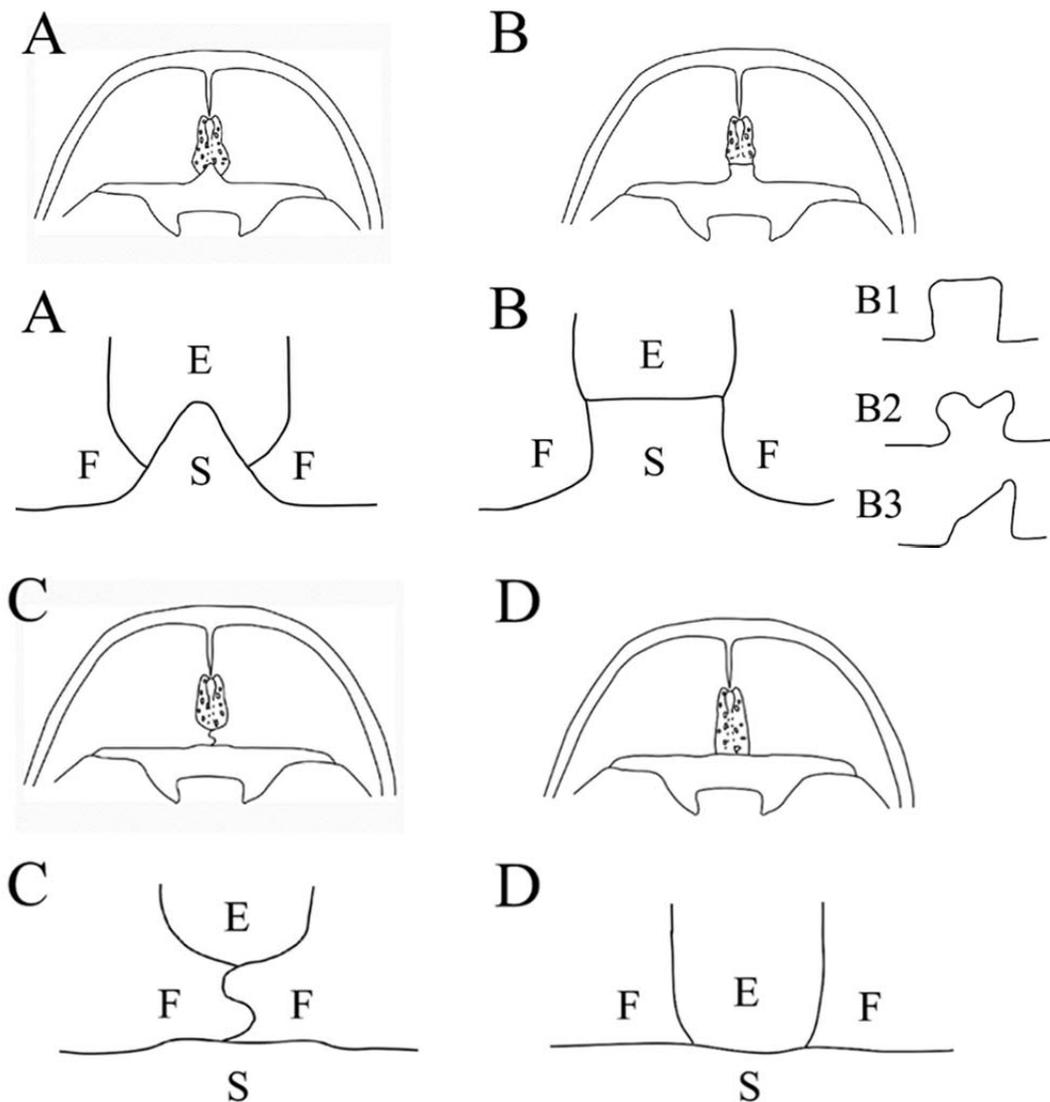


図5 文献における前頭蓋底の前頭骨，篩骨，蝶形骨の形態的關係

(F:前頭骨, E:篩骨, S:蝶形骨)

A: 三角型 蝶形骨の篩骨棘が尖って三角形を呈しているもの。

B: 多形型 蝶形骨の篩骨棘は尖っておらず，さまざまな形態をしているもの。

篩骨と蝶形骨の境界の形態に B1~3 の亜型がみられる。

B1: 対称で先端が平坦, B2: 対称で先端が凹形, B3: 非対称

C: 介入型 篩骨と蝶形骨の境に前頭骨が介入しているもの。

D: 平坦型 蝶形骨の前縁が直線的のもの。

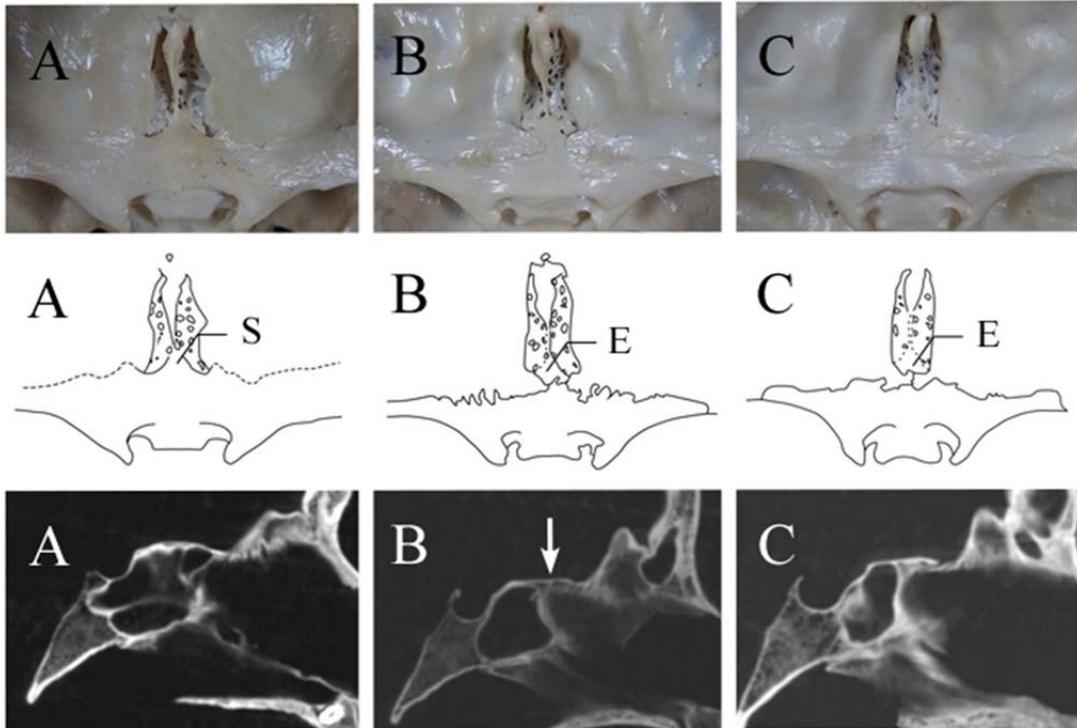


図6 成人における前頭蓋底の形態（上段：写真，中段：トレース図，下段：正中矢状断CT画像）

A) 三角型：蝶形骨の篩骨棘はとがって三角形を呈しており，篩骨鶏冠に連続するもので，蝶篩骨縫合が認められない。

B) 多形型：蝶形骨の篩骨棘は尖っておらず，篩骨との境である蝶篩骨縫合が明瞭である。矢印は蝶篩骨縫合を示す。

C) 介入型：篩骨と蝶形骨の境に前頭骨が介入している。

S: 蝶形骨, E: 篩骨

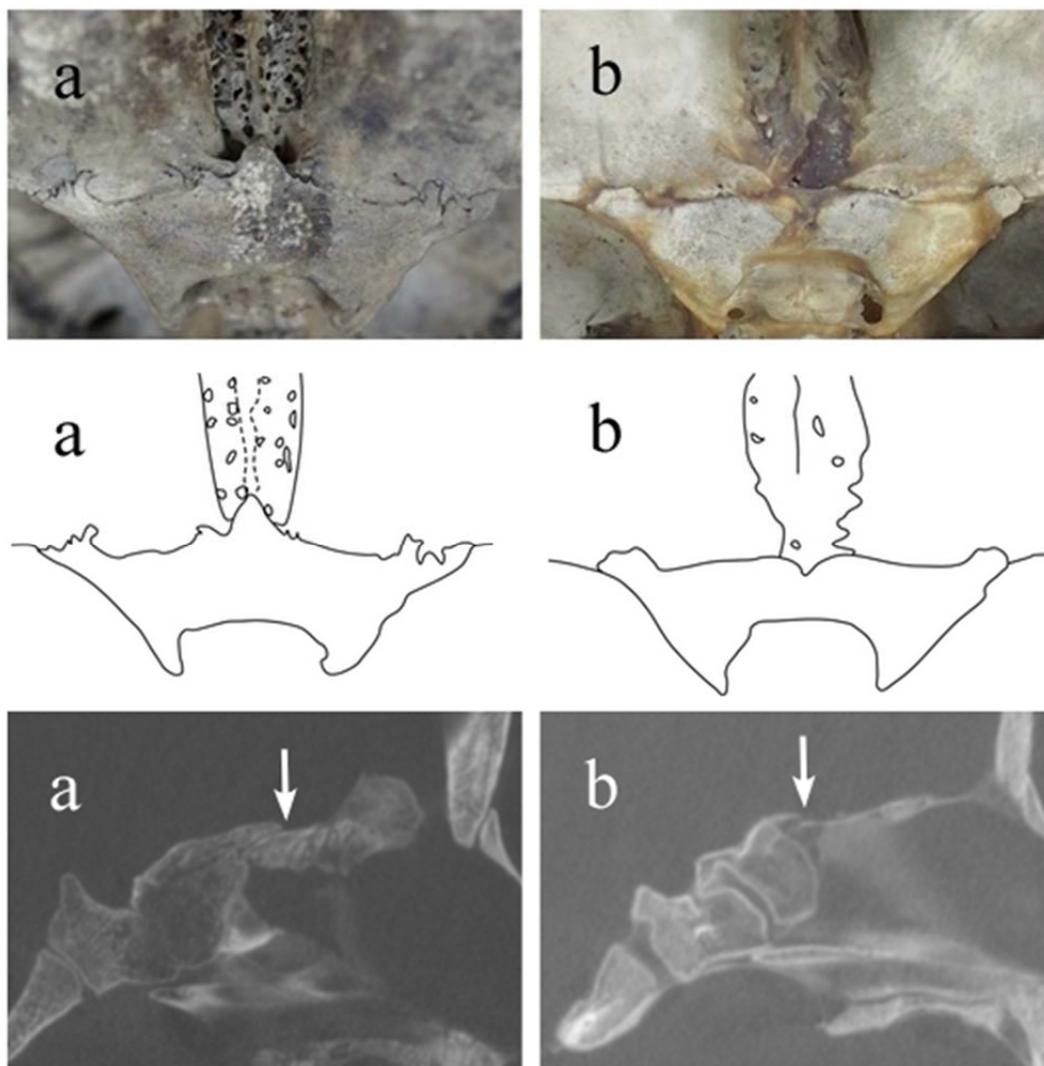


図7 4か月から2歳における前頭蓋底の形態

(上段：写真，中段：トレース図，下段：正中矢状断 CT 画像)

- a) 三角型：篩骨棘が尖っている。
- b) 平坦型：蝶形骨前縁は小翼から直線的またはくぼんでいる。
矢印は蝶篩骨縫合を示す。

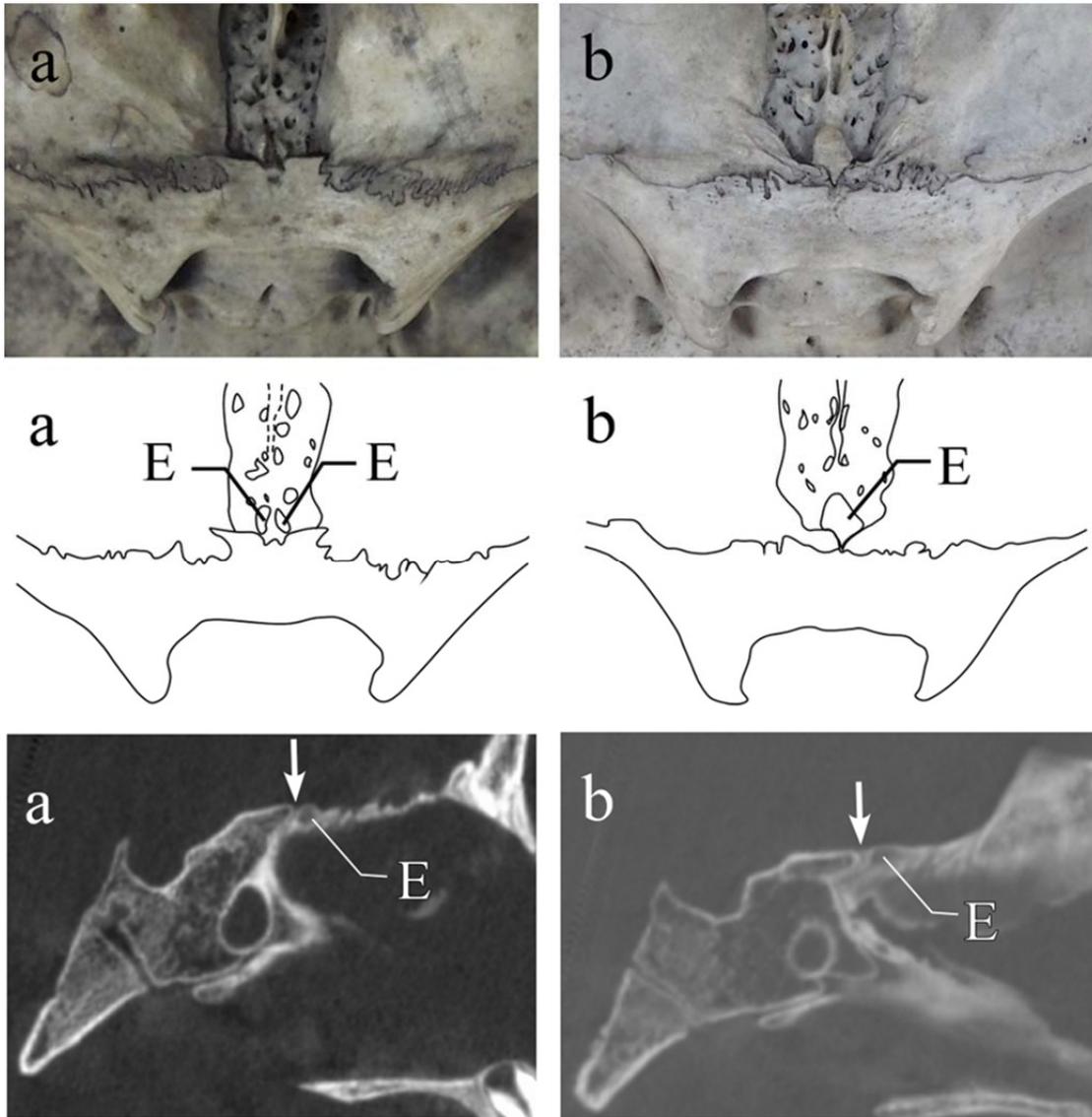


図8 7歳における前頭蓋底の形態

(上段：写真，中段：トレース図，下段：正中矢状断 CT 画像)

- a) 多形型：蝶形骨の中央部が前方位に突出し，突起の正中部分は平らである。
 - b) 介入型：蝶形骨の正中中部が前方に突出せず，前頭骨の左右の眼窩部が中央部で近接する。
- 矢印は蝶篩骨縫合を示す。

E: 篩骨

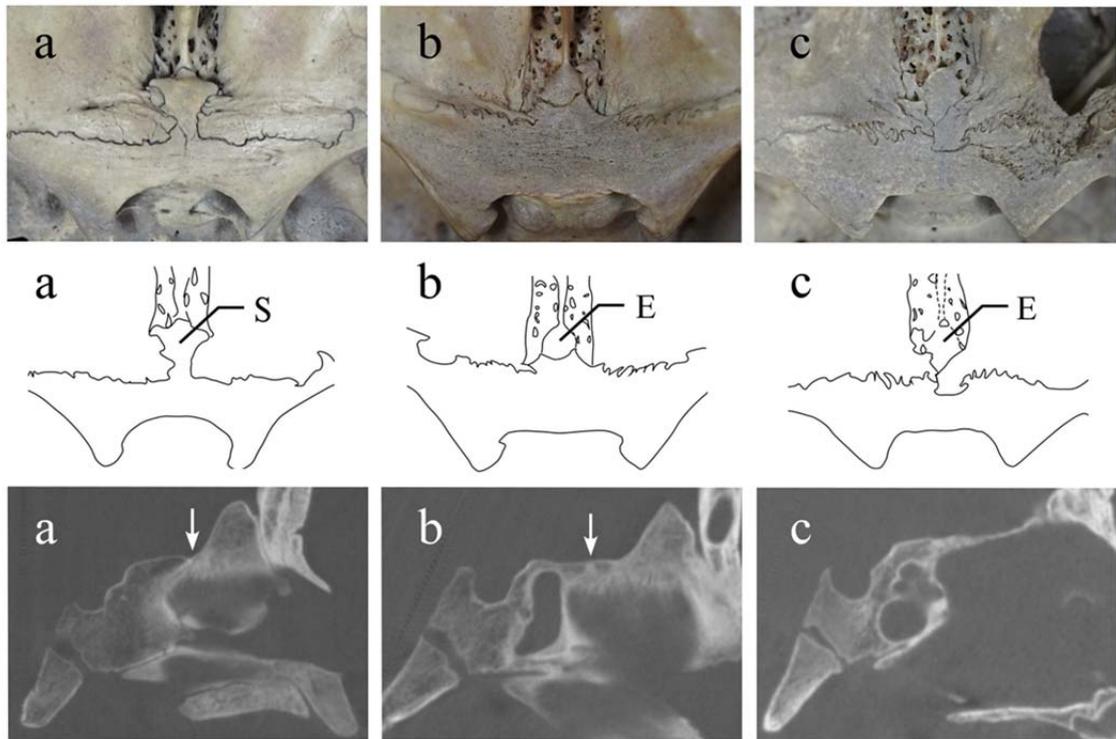


図9 10～17歳における前頭蓋底の形態

(上段：写真，中段：トレース図，下段：正中矢状断 CT 画像)

a) 三角型：蝶形骨の篩骨棘はとがって三角形を呈しており，篩骨鶏冠に連続するもので，蝶篩骨縫合を認める。

b) 多形型：蝶形骨の篩骨棘は尖っておらず，蝶篩骨縫合を認める。

c) 介入型：篩骨と蝶形骨の境に前頭骨が介入している。

矢印は蝶篩骨縫合を示す。

E: 篩骨, S: 蝶形骨

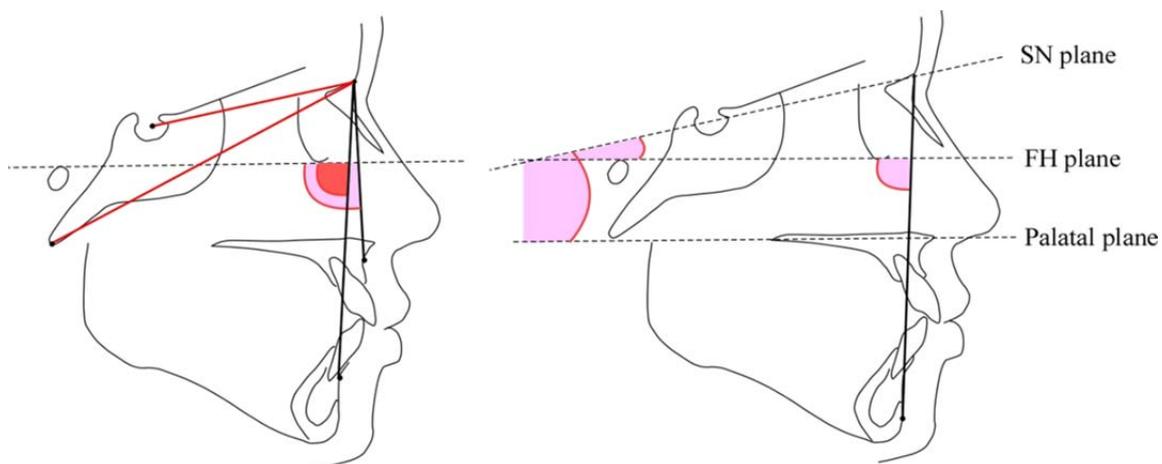


図 10 セファロ計測における前方群と後方群の比較の結果

セファロ計測項目において有意な差がみられた項目を赤く示す。

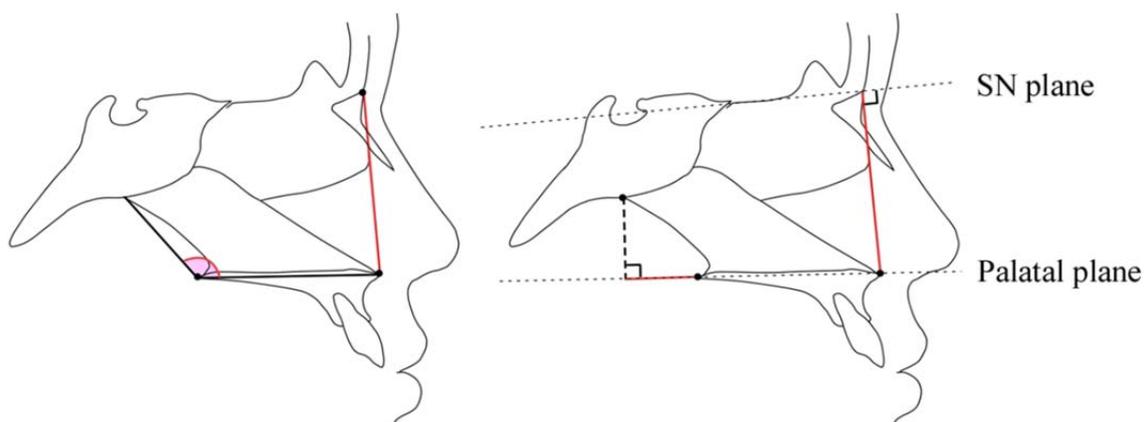


図 11 CT 画像上の計測における前方群と後方群の比較の結果

CT 計測項目において有意な差がみられた項目を赤く示す。

4か月～2歳

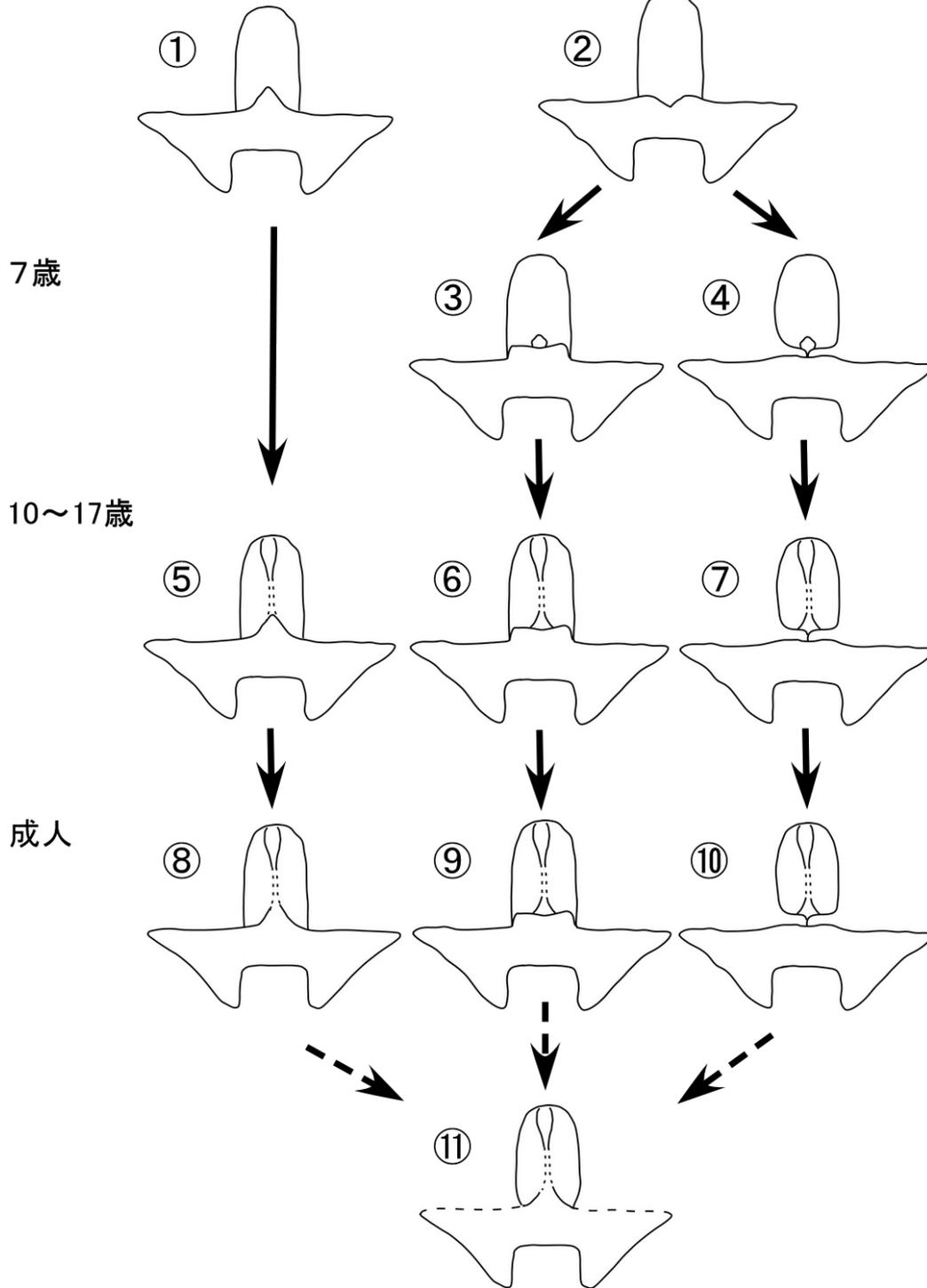


図 12 前頭蓋底の3つの骨の関係における出生後の変化

実線の矢印は成長の変化を示し、点線の矢印は加齢の変化を示す。

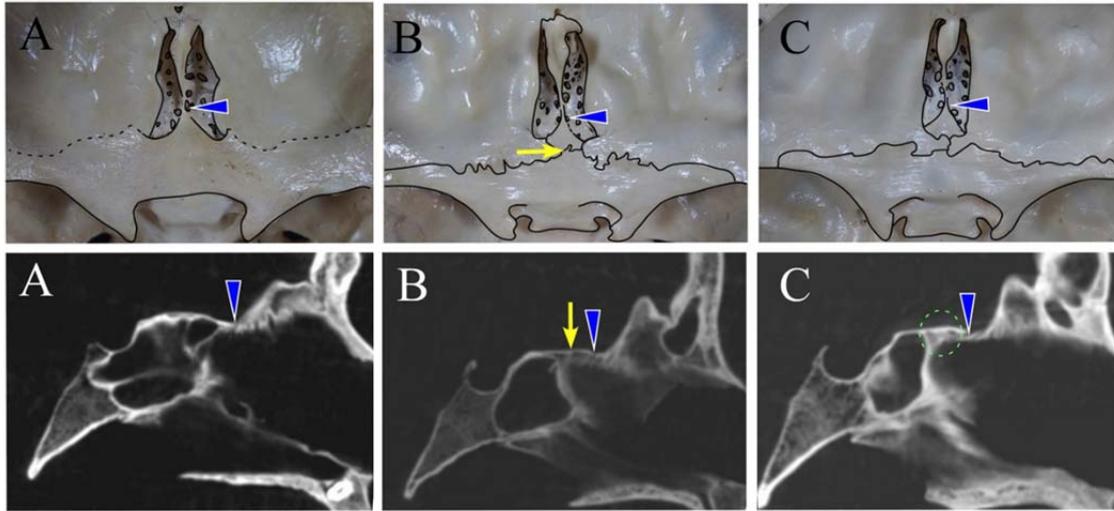


図 13 成人における前頭蓋底の基準点の検討

(上段：写真にトレース像を重ね合わせた図，下段：正中矢状断 CT 画像)

A) 三角型

B) 多形型：黄の矢印は蝶篩骨縫合を示す。

C) 介入型：緑の点線は前頭骨と蝶形骨が混在する領域を示す。蝶篩骨縫合は存在しない。青の矢頭は最後方の篩板孔を示す。