

骨孔・骨管（前頭蓋底）

慶應義塾大学医学部脳神経外科

水谷克洋

Key words: Bone canal, foramen, ethmoid, cribriform, caecum

はじめに

脳神経領域における骨孔・骨管は頭蓋骨を貫通する穴状・管状の構造物であり、内部を神経や脈管が通過する。解剖を理解する重要な構造物であり、手術時のメルクマールとしても重要である。骨孔は英語・ラテン語で foramen/foramina と表記される。単数型が foramen (e.g. foramen magnum, foramen ovale) であり複数形(plural)が foramina (e.g. anterior sacral foramina) である。Foramen と Bone canal との違いは Grey`s anatomy[1]で”A hole in the bone is a foramen and becomes a canal when lengthy.”と記載されているように明確な基準があるわけではないがある程度の距離骨内を走行すれば bone canal と表現されるようである。また文献によっては canal の開口部を foramen、構造物としての管を canal として terminology を使い分けている文献[2]もある。

前頭蓋底の発生

骨孔・骨管・及び内部を走行する脈管・神経を理解する上で、同部位の発生の知識は欠かすことができないため、局所解剖の各論の前にここで触れることとする。

頭蓋骨の発生

前頭蓋底は前頭骨、篩骨、および蝶形骨（体部および小翼）で構成される[3, 4]。胎生 4 週ごろに神経管（原始脳）が円軸中胚葉や神経堤に起源を持つ疎な間葉組織で取り囲まれる。神経管は元々表皮外胚葉と連続しており、神経管が閉鎖するにしたがって徐々に表皮外胚葉から切り離されていく。神経管は胎生 25 日に最も前方側(anterior neuropore)が閉鎖されるが、その付近では神経管を覆う間葉組織もその表層外胚葉と直に接している[5, 6]。

胎生 40 日ごろに軟骨性頭蓋の形成が始まる。軟骨形成が最も早いのは将来 basi-occipital, exo-occipital を形成する後頭体節由来の軟骨である。ほぼ同時期にラトケ囊（将来の下垂体）の両側にできる下垂体軟骨(hypophyseal (postsphenoid) cartilage)が形成され、さらにその前方に trabecular (pre-sphenoid) cartilage が形成される。左右の Hypophyseal cartilage は癒合して basi-sphenoid cartilage となり、左右の trabecular cartilage が癒合して pre-sphenoid bone の前駆体となり、最終的に蝶形骨(sphenoid bone body)の前方部分を形成する。最も前方には nasal capsule が鼻腔付近から anterior neuropore の付近までに出現する。Nasal capsule は天井と外側壁そして正中の軟骨中隔からなる箱状の軟骨塊を形成する。正中付近は mesethmoid cartilage と呼ばれ、外側は ectethmoid cartilage と呼ばれる。前者は最終的には篩骨の垂直板を形成し、その最も上方は左右の嗅球を隔てる鶏冠 (crista galli) となる。後者は将来の篩骨迷路や下鼻甲介となる。

8 週までに Nasal capsule, pre-sphenoid, post (basi)-sphenoid, basi-occipital は癒合して一つの大きな基板(basal plate)を形成する[6, 7]。この時期までに主要な神経や血管は発生を終えており、軟骨はそれらを避けるようにして形成され、そうした神経や血管の走行部位が骨孔を形成していくことになる[6, 7]。

8 週以降に軟骨内骨化により最終的に骨化が起こる。蝶形骨の後頭骨の basi-occipital は 11 週ごろに、蝶形骨の post-sphenoid, pre-sphenoid、篩骨は 16 週ごろから骨化する。篩骨の Mesethmoid と Ectethmoid はそれぞれ別に骨化し、癒合して単一の篩骨になるのは 2 歳ごろになる。また垂直板の前方は骨化せず鼻中隔軟骨を形成する[6]。

Anterior neuropore の付近で表皮外胚葉と接していた原始髄膜は硬膜憩室(dural diverticulum)と呼ばれているが発生が進むにつれてこの硬膜憩室は退縮し、繊維組織や硬膜の遺残組織によって満たされて閉鎖されるとされる。この孔が foramen caecum である。生理的な閉鎖は幼児期に起こる[3]。前述の通り硬膜憩室の退縮不全や盲孔の閉鎖不全により dermoid cyst, glioma, encephalocele などの先天性異常が生じうる[5]。

前頭蓋底の脈管発生

胎生 29 日ごろに内頸動脈の cranial division に primitive olfactory artery が出現し、鼻腔や olfactory area を栄養する。元々嗅神経領域を栄養していた primitive olfactory artery は胎生 35 日にはその medial branch が anterior cerebral artery を形成し、終脳の主要な動脈になる。胎生 47-48 日ごろには内側枝を除いて primitive olfactory artery は次第に退縮する。代わりに

stapedial artery の supraorbital division が栄養するようになる。続いて胎生 50 日 (20–24mm) に達すると内頸動脈の分枝である眼動脈と吻合し、胎生 57 日 40mm 以降までに stapedial artery の根本が退縮し、内頸動脈からの栄養が眼球・眼窩の主要な環流路となることで前頭蓋底の領域は眼動脈の分枝である anterior / posterior ethmoid artery が栄養するようになる [8]。Primitive olfactory artery が退縮せず、遺残すると ethmoidal artery が頭蓋内の内頸動脈から分岐する primitive olfactory artery によって栄養されることになる (Persistent primitive olfactory artery type 2) [9, 10]。前頭蓋底軟骨がある程度完成するのは 8 週以降のためそれまでに主要な血管は発生を終えている。前篩骨動脈が頭蓋内、眼窩内、頭蓋内、鼻腔と頻回に解剖学的位置が変化するが、これは骨が形成される前に血管発生が終わっていること、複数の原始動脈がその発生に関わっているためである。

前頭蓋底部の静脈発生は動脈ほど詳細には明らかになっていない [11, 12]。胎生 31 日ごろ primitive maxillary vein が出現し嗅部や視胞の腹側を栄養する毛細血管網を環流する。この段階では顔面静脈系はまだ発達しておらず、ventral pharyngeal vein として発達中の下顎・舌骨・咽頭弓などの血液を排出する役割を担っている。胎生 40 日に primitive superior orbital vein が primary head sinus もしくは anterior dural plexus に流入する静脈として形成され、眼窩の背側を環流する。Ventral pharyngeal vein は primitive maxillary vein の末梢と吻合 (anterior facial vein) を形成し、Linguofacial vein (成人の linguofacial vein) と呼ばれるようになる。同時期に anterior neuropore の閉鎖後の硬膜憩室と鼻腔側と頭蓋内の接続 (foramen caecum) を利用して矢状静脈洞に注ぐ frontal emissary vein が鼻腔の静脈環流に関与するとされる [11]。胎生 50 日前後にはこの結果として鼻腔の主要な環流路は facial vein 側に移管され、primitive maxillary vein は徐々に消退する。ただ胎生 60 日以降に primitive superior orbital vein の近位部が primitive maxillary vein の近位幹へと二次的な吻合によって合流するようになり、primitive maxillary vein の近位部が眼窩内の全静脈の共通の流出路となり、superior orbital vein となる。Foramen Caecum を通る Frontal Emissary vein は幼児期では Zuckerkandl's の静脈として機能的とされる [11, 13] が、同部位付近の骨化が完成する成人では基本的に閉塞し、静脈として機能している症例は 1% 未満とされる [14, 15]。

骨孔・骨管各論

Foramen Caecum / 盲孔

前頭骨と篩骨の境界、鶏冠の前方正中に位置する。胎生期には硬膜の憩室がここを通過していたが、出生後は繊維組織で満たされ幼児期までに閉鎖することが多い[3]。成人では孔の底部が閉じている目盲の穴(blind pit)であることが多いが、1.4%の症例で開存している[15]。開存している場合は成人で4-15mmとされる[16]。内部に鼻粘膜と上矢状静脈洞を結ぶ盲孔静脈(vein of foramen caecum)が通過することがあることが報告されている。この孔は鼻腔や副鼻腔炎への感染、あるいは腫瘍が頭蓋内へと波及する潜在的な経路になる。また硬膜憩室の退縮不全や盲孔の閉鎖不全により dermoid cyst, glioma, encephalocele などの先天性異常が生じうる[5]。盲孔に組織的瘻孔が生じる場合に特発性の髄液漏が生じることがある[17]。

Cribriform foramina / Olfactory foramina/ 篩孔

篩骨の篩板(laminate cribrosa)に存在する複数の小孔である。Cribriform はラテン語の cribrum に由来し、Ethmoid はギリシア語の ἠθμός (ēthmós) に由来するがどちらも「篩：ふるい」が語源となっており同じものを指し示しているのが興味深い。紀元2世紀ごろにすでに篩骨は os ethmoides と呼ばれており、それ以前からこの小孔が多く開いた篩のような構造であることは認識されていたようである[18]。また16世紀にカッパドキアのアレタイオスが書いた2世紀のギリシア語の本をラテン語で紹介した中で篩骨に触れている部分があり、「篩(cribri)に似ているため ethmoeide と呼ばれている骨」という記載が見られる[19]。また16世紀のファロピオの記述ですでに cribrosa との terminology を用いていることから、ルネッサンス期にギリシア語をラテン語に翻訳する中で cribrosa という terminology が定着していったと考えられる。

Cribriform foramina が存在する篩板の部分は前頭蓋底から少し下方に窪んだようになっており、olfactory fossa と呼ばれる。Olfactory fossa はその深さによって Keros らによって三種類に分けられている。1-3mm 以内のほぼ前頭蓋底と Olfactory fossa がほぼ同じ平面上に位置する症例(全体の30%程度)、4-7mm で中等度に窪んだ症例(49%)、olfactory fossa が非常に深く沈み込んだ症例(21%)[20]。Olfactory fossa の外側は非常に薄い骨(Lateral lamellae)で篩骨洞との間が境されており、この部分は頭蓋底で最も骨が薄い部分であり、頭蓋内の空間が鼻腔、篩骨洞側に張り出しており、鼻腔・副鼻腔手術時の髄液漏のリスクが高い部位とされる[21]。Cribriform foramina を嗅神経の神経線維束である約20本の嗅糸が通過する[22]。後述の Anterior / posterior ethmoid foramen を通過する前篩骨動脈および後篩骨動脈が篩板の周囲の硬膜を栄養している。その分枝(nasal branch)は鼻腔の栄養も担うとされ、複数の教科書で nasal branch が篩板を通過し鼻腔に入ることが記載されている[1, 23]が、正確には cribriform plate (foramina)ではなく、その前方の cribroethmoidal foramen を通過する(後述)。Cribriform plate を通過する静

脈の存在は一部の文献で記載[1, 24, 25]はあるが、その頻度や詳細な接続については明らかではなかった (Figure 3)。我々は CT -DSV を用いてこの領域の静脈構造の解析を行なった。Cribriform plate の“付近”を通過する静脈は 6.7% で認められた。この静脈は頭蓋外の鼻腔粘膜の静脈や anterior facial vein と頭蓋内の皮質静脈を接続していた。

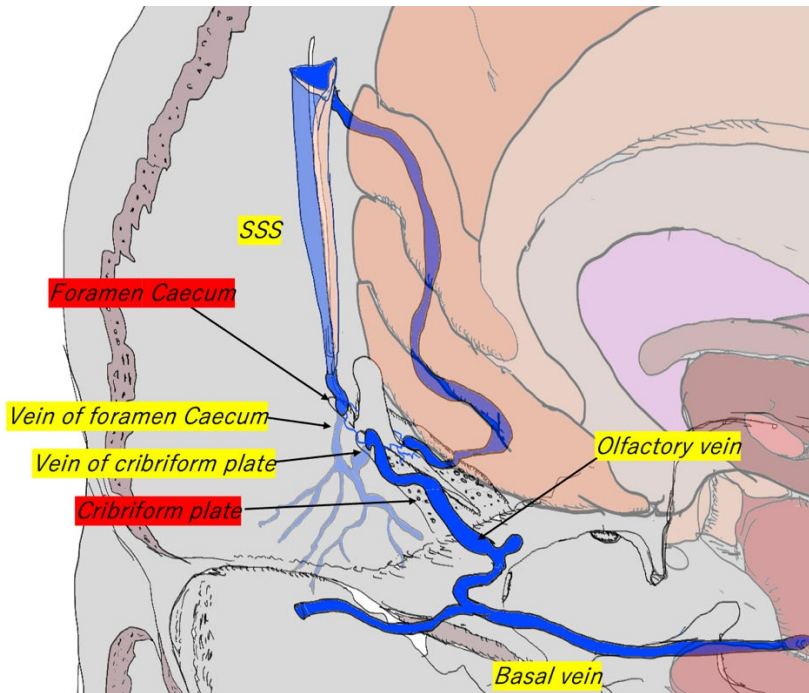


Figure 1. Foramen Caecum と周囲の静脈

Cribo-ethmoidal foramen/篩板篩骨孔

前頭蓋底の篩板の最も前方に存在する 1.6-1.7mm、幅 0.8mm の卵円形の孔で内部を anterior ethmoidal artery と anterior ethmoidal nerve が走行する[26, 27]。後述の Ethmoidal slit の外側前方に位置し、骨の隔壁で仕切られているが、個体によってはこれらが癒合していることが報告されている[28]。全例で存在する安定した解剖構造物である[28]。Johannes Lang がこの名称を最初に用いたとされる[27, 28]。Anterior ethmoidal artery と Anterior ethmoidal nerve はこの孔を通過した後、鼻腔の外側、前篩骨粘膜に向かう external nasal branch と鼻中隔側に向かう septal (internal) branch に分かれる。Internal branch はさらに cribo-ethmoidal groove という篩骨の下面の骨溝を走行する。前方では canal 上になっており、cribroethmoidal canal 呼ばれ、最終的に鼻骨の ethmoidal groove にいたり鼻粘膜に至る。Anterior ethmoidal artery/nerve と

もに内頸動脈→眼動脈、もしくは三叉神経→眼神経、前篩骨動脈・神経が眼窩から頭蓋内にいたり、nasal branchがcribroethmoidal foramenを通り頭蓋内から頭蓋外にいたり、更にcribroethmoidal canalを通過して鼻腔粘膜に至る。このように頭蓋内、眼窩、頭蓋内、頭蓋外（鼻腔）と解剖学的位置がさまざまに変化していくことは特筆すべきである。

後述の ethmoidal slit とともに篩板の前端に位置するため手術の際のランドマークとしても重要である。内視鏡下頭蓋底手術、特に前頭洞の開放術においてこの骨孔は篩板の前端を示す重要な指標となる。鼻側から見た際にこの骨孔（裂孔）より前方のCriboethmoidal grooveまでは安全に骨が削除できるが、この骨孔より後方では頭蓋内へ侵入することになる[26]。

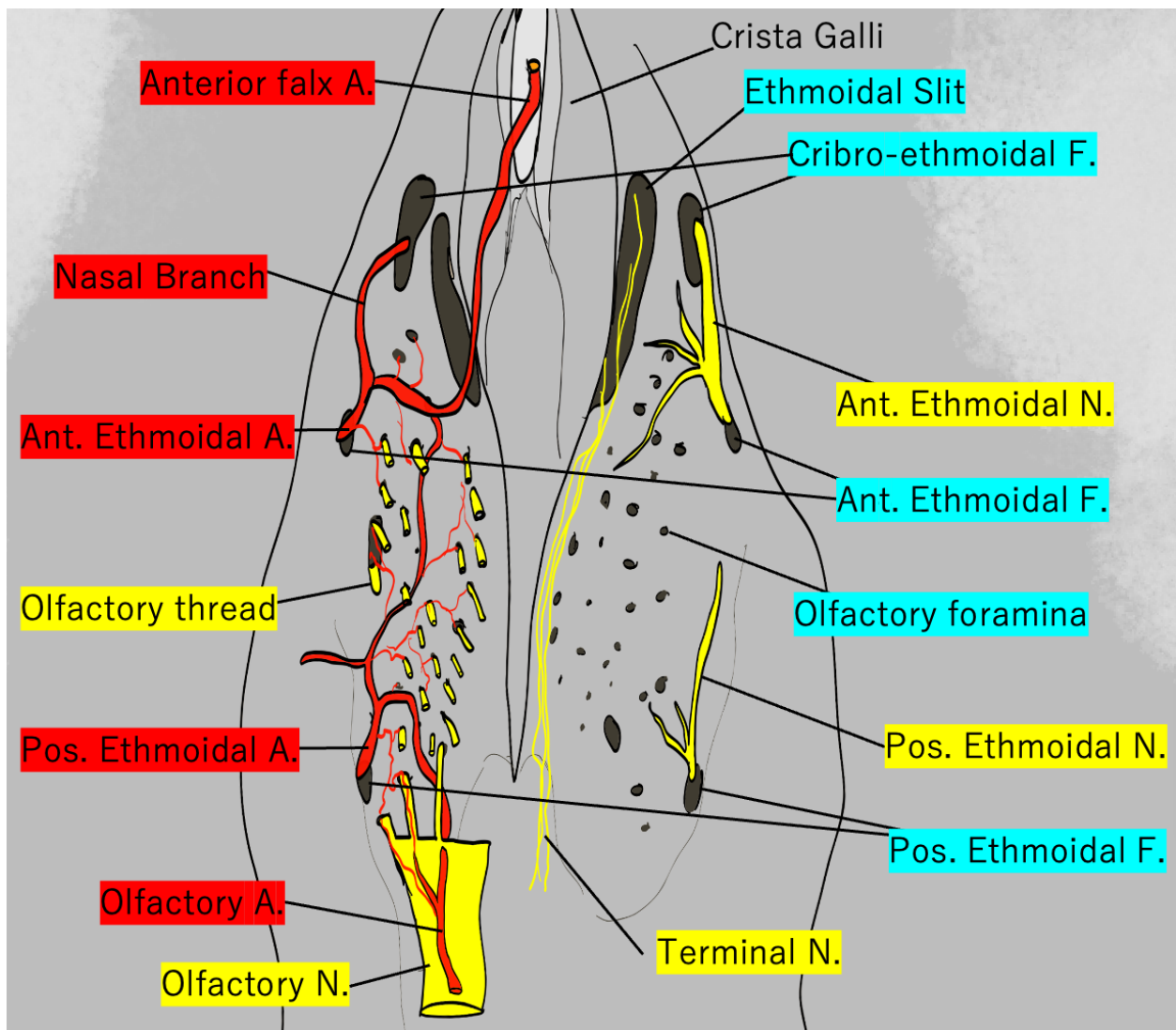


Figure 2. 頭蓋内側からみた前頭蓋底の骨孔と動脈及び神経

Ethmoidal slit / Nasal slit / Ethmoidal foramen of Rouviere / 篩骨裂孔

篩板の内側前方に鶏冠に接するようにその外側に存在する 3.6-4.2mm の長さ、幅 1mm 前後の骨孔であり[26, 28]、全ての症例に存在するとされている[26]。歴史的には Rouviere が最初に 1911 年に内部に硬膜組織 (process of the dura mater)を含んだ孔として報告し、ethmoidal foramen[28]と名付けられた。過去には Nasal slit と教科書等で一般的に呼称したこともあった[29]。最近の報告では anterior/ posterior ethmoidal foramen と区別するために ethmoidal slit とする文献もある[26]。内部を終神経(nervus terminalis)が走行している。(終神経については説明が必要と思われるため別項で説明する。) またほかの cribriform の孔と異なり唯一、くも膜やリンパ管が孔内に連続している[26]。そのためこの部位が髄液漏の起こりやすい部位であると考えられている。Berryman らは髄液漏の症例で開頭で直視下で瘻孔部を確認したところ Cribriform plate のうち嗅神経が通過していない孔に瘻孔があったと報告しており、Ethmoid slit からの髄液漏を見ていた可能性がある[30]。リンパ管に関してはラットやウサギでは olfactory nerve を介した経路が髄液の主要な吸収経路とみなされている[31, 32]が、ヒトでもこの部位が Glymphatic system の機能を担っていることを示唆しているのかもしれない[26, 33]。

Anterior ethmoid canal (foramen) / 前篩骨管 (孔)

古くから眼窩、篩骨洞、前頭蓋底の非常に重要な解剖学的構造物として認識されてきた。古代の解剖学者である Galenius は眼窩内に鼻に隣接する骨孔があり、内部を動静脈が通過していることを報告している[18]。またイタリアの解剖学者である Gabriele Falloppio は眼動脈の分枝(Nasales arteriae)が眼窩から頭蓋内へ向かったのちに篩板を貫通し鼻腔に至ることを報告しており、17 世紀にはある程度正確にその走行は知られていた[34, 35]。

Anterior ethmoidal canal は前頭骨と篩骨の間の前頭篩骨縫合に概ね沿って存在する平均で長さ 8.2mm の骨管であり[36]、全ての症例で存在する[37]。内部に前篩骨動脈、前篩骨神経が走行する。眼窩と頭蓋内を接続する。眼窩側の位置は Rule of Seven(7 の倍数)として知られている。Anterior ethmoidal canal は Lacrimal crest(涙骨稜)の 21mm 後方の前頭篩骨縫合上にあり、その 14mm 後方に posterior ethmoid canal が存在し、さらに 7mm 後方に視神経管が存在するとの報告がある[38]。(なお眼窩の解剖学的特徴として 7 つの骨、7 つの眼窩内筋、7 つの神経が存在するという Rule of Seven が元々知られており引き合いに出されることも多い[39]) なおこの数字については 24mm, 12mm, 6mm[40]であるとか、23mm, 10mm, 4mm[41]など別の数字を報告している文献もあり個人差が大きいようである。

眼窩から篩骨洞の天井部、前頭骨と篩骨の境界付近を通る。その走行はかなり変異が大きい。文献では前篩骨孔（前篩骨動脈）と頭蓋底との位置関係を3型に分類されている[42, 43]。
Type A：動脈が頭蓋底内に埋没している。Type B：頭蓋底レベルを走行し、骨性隆起を形成する
Type C：天蓋より最大5mm下の篩骨洞内を自由に走行し、薄い骨性間膜（mesentery）によって頭蓋底と連結する。これらのうち type A/B が 52.2-64.4%, type C が 35.7-47.8%と報告[42]されている。第2-第3 lamella 間(篩骨胞-Basal lamella 間)に半分以上が存在するとされている。篩骨洞内を浮遊した走行をする場合には、同部位を経由する前頭蓋底腫瘍に対する経鼻内視鏡アプローチ時に損傷すると anterior ethmoid artery が眼窩側に引き込まれ、眼窩内血腫などの深刻な合併症の原因になるため注意が必要である[21, 38]。Anterior ethmoid canal の下方に裂隙が 11-40%で存在する[43]ことが知られている。骨管内部の構造物が直接的に篩骨洞内に露出されている状態であり、副鼻腔炎が存在する場合には眼窩や頭蓋内への感染経路になりうるとされている。

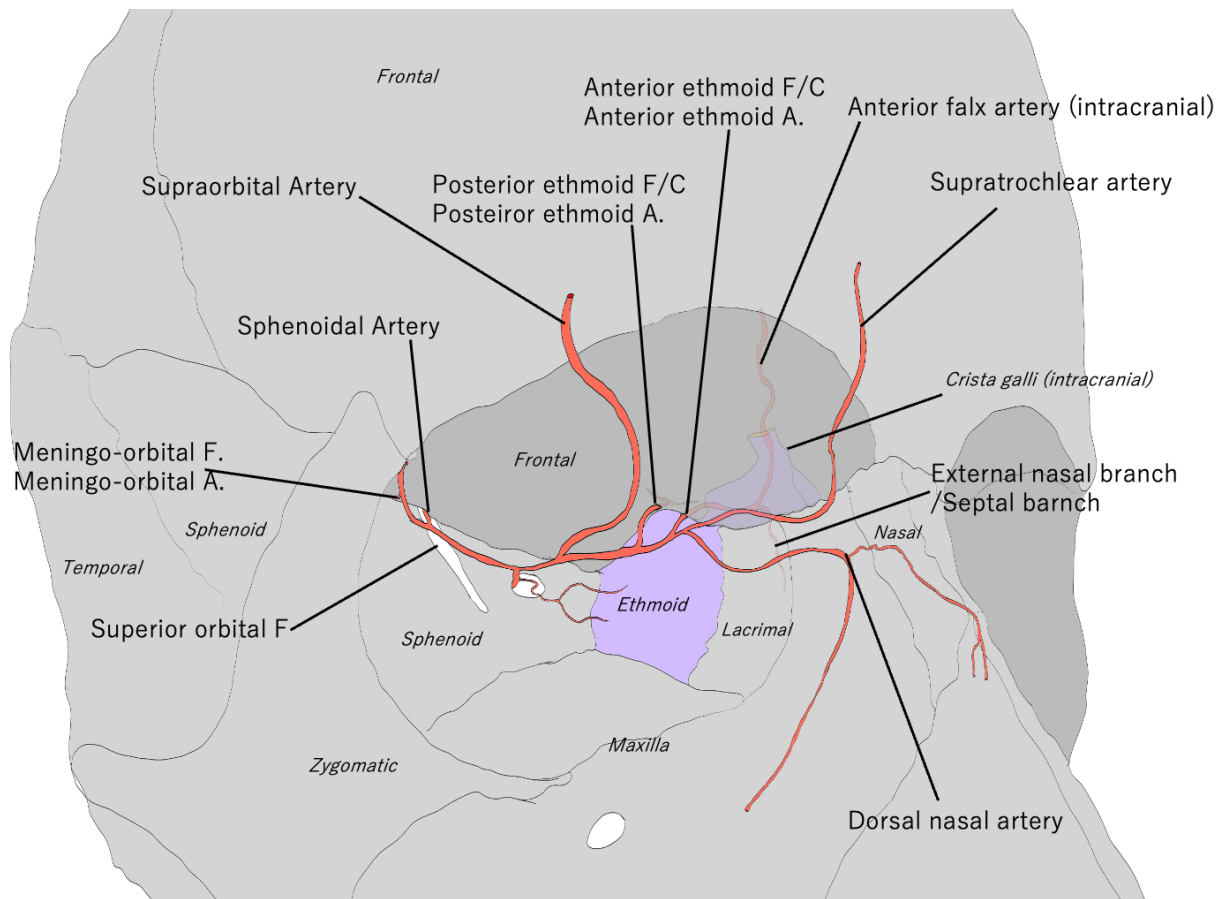


Figure 3. Ethmoidal Foramen と周囲の動脈構造

Posterior ethmoidal canal (foramen) /後篩骨管(孔)

眼窩内側壁、前頭篩骨縫合上あるいはその付近に位置する重要な骨孔とされる[44]。縫合線外に存在するのが4%とされ、縫合線上に77%が存在し、残りの19%では欠損していた[37]。他の報告でも15%で篩骨孔が一つのみ一側に存在する場合は57%が前篩骨孔、43%が後篩骨孔出会ったという報告[44]や97%が前篩骨孔で3%が後篩骨孔であったとの報告がある[2]。前篩骨孔の方が解剖学的に安定した構造物であるようだが、両篩骨孔は機能的にはほとんど差がなく、あくまで相対的に前後どちらにあるかによるため、一つが欠損していたときに前・後どちらの篩骨孔かを厳密に決めるのは難しいかもしれない。平均長7.6mmの骨管とされる[36]。8%で独立したCanalを形成しているが、92%の症例では篩骨の天井を走行している[36]。内部を後篩骨動脈および後篩骨神経が走行する[44]。

Accessory (middle) ethmoidal canal (foramen)/副篩骨孔

眼窩内側壁において標準的な前篩骨管と後篩骨管以外に存在する骨孔をさす[37]。Middle ethmoidal foramenとも呼ばれる。存在する確率は文献によるが、16.5-31.5%で3つ、0.5-1.9%で篩骨孔が4つ篩骨孔が存在すると報告されている[45]。通常は前篩骨孔と後篩骨孔の間に存在し、その多くは前頭篩骨縫合上ではなく縫合から2.5mm以内の縫合外(extra-sutural)に存在すると言われている[37]。内部には神経や血管が走行し、鼻腔や篩骨洞の知覚や血流を補完していると考えられている[37]。

Ethmoid/Cribriform の骨孔の Terminology とその理解の整理

Cribriform plate の付近には cribroethmoidal foramen など類似した名称が多く登場する。前述の通り Cribro-も Ethmoid もどちらも篩という意味のギリシア語、ラテン語の由来であり、cribriform foramen も ethmoid foramen もほとんど同じ意味である。日本語では日本語では Ethmoid も Cribriform もどちらも篩と訳され、前者は主に篩骨、後者は篩板と区別している。Cribroethmoidal foramen は同じ意味の言葉が重複した名称であり、仮に日本語に訳すると篩板篩骨孔となってしまう少しセンスがない名称のようでもあるが、歴史的に別々の著者によって名付けられたものを現在でも追従している。系統発生としては cribriform plate は3つのコンパートメントからなっていると思われる。①終神経の通過する孔、②嗅神経の通過する孔、③anterior ethmoidal artery/nerve nasal branch の通過する孔である。それぞれ全く別の発生的背景を持つ神経・脈管であるが、隣接しており、骨が周囲に形成され比較的比較に foramen を形成するように

なったと思われる。血管は常に脳神経に伴走する[46]ため、いずれの孔も（微小）血管が通過しうる。また篩板の上でそれぞれの孔を通過する血管はお互いに少なからず吻合すると考えられる。

Meningo-orbital foramen

眼窩と頭蓋内をつなぐ骨孔で上眼窩裂外側におおよそ 60%の症例で左右のどちらかに存在する[2]。稀（頻度 8.4%）に蝶形骨縁ではなく前頭蓋底の後外側に孔を作ることがあり、A-type Orbito-meningeal foramen と呼ばれる。一方で中頭蓋窩をつなぐ通常の type は M-type と呼ばれる。平均直径は 0.5mm, 長さは 9.9mm とされる。内部を涙腺動脈もしくは眼窩上動脈から分岐する分枝が通過するとの文献があるが詳細は不明である[2, 45]。

Anterior ethmoidal artery 前篩骨動脈

眼動脈の主要な分枝であり、3rd portion の末梢で分岐する[47]。前頭蓋底の硬膜・篩骨洞および鼻腔の前上部（中鼻甲介、鼻中隔）に血液を供血する。眼窩内では上斜筋と内直筋の間を通り前篩骨孔へ入り、前篩骨管を前方内側に向かって走行し篩骨洞を通過する。篩骨洞の天蓋部に埋没して走行することもあれば天蓋部から最大で 5mm 下方を浮遊したような状態で走行することもある[21]。篩板外側(lateral lamella)を貫き頭蓋内・前頭蓋底に至る。その後前方に方向を変えて前篩骨動脈溝（3-16mm）を走行する。ここでいくつかの分枝を出す。Anterior meningeal artery は Crista galli を介して大脳鎌へ供血する。Nasal branch は Cribri-ethmoidal foramen を通り、鼻腔側に入り、そこで septal branch と external nasal branch に分岐する。Septal branch は鼻中隔を上方から供血し鼻中隔のキューゼルバツハ部位の血流にも寄与する[21, 23]。External nasal branch は鼻腔の側壁や中鼻甲介を栄養し最終的に鼻骨と鼻軟骨の間から外鼻の皮膚まで供血する[1]。前篩骨動脈は副鼻腔手術で損傷すると動脈が眼窩内へと引き込まれ眼窩内血腫をきたし、眼窩内血腫による失明のリスクがある[21]。前篩骨動脈の欠損は、通過する前篩骨孔は基本的に全例で認めるとの報告されていることから、極めて稀だと考えられるが具体的な数字は報告されていない。前・後に限定せず篩骨動脈が片側で欠損する割合は 14%で両側で欠損する場合は 2%と報告されている[21]。

Posterior ethmoidal arter/ 後篩骨動脈

眼動脈の細い分枝である。通常、眼動脈が視神経を跨いで内側に移動する 2nd portion と視神経の内側を前方に走行する 3rd portion の移行部もしくは 3rd portion の中枢側で分岐する[47]。Anterior ethmoidal artery と同様に上斜筋と内直筋の間を走行し後篩骨孔から後篩骨管に入り、篩骨天蓋内を走行し、蝶形骨洞の前壁の最も上方のすぐ前を横切り頭蓋内・前頭蓋底に至る[21]。

前篩骨動脈と異なり、天蓋から浮遊して走行することはないため篩骨洞内で損傷するリスクは前篩骨動脈より低いとされる[21]。前述の通り後篩骨孔の欠損は 19%で認められるため、そこを走行する後篩骨動脈の欠損はそれ以上に存在すると考えられる。[37]

Vein of Foramen Caecum

19 世紀後半にイタリアの解剖学者である Giuseppe Sperino によって初めて記載された[48]。前頭骨と crista galli の間の正中にある Foramen Caecum を通り、上矢状静脈洞と鼻腔の静脈を接続する。VFC が走行する foramen caecum は通常、線維組織で満たされ、小さく盲端状の陥凹として観察される（名称の通り）。この構造は前頭骨と crista galli の間の正中に位置する。発生の項で述べたが、出生時、幼児期までは Zuckerkandl's の静脈と呼ばれ機能的とされる[11, 13]が、同部位付近の骨化が完成する成人では基本的に閉塞し、静脈として機能している症例は 1%未満とされる[14, 15]。Tsutsumi らは造影 MRI を用いて 27.7%の症例で Foramen caecum を通過する造影病変を認めたと報告[49]しているが、硬膜の造影効果を見ているのか、それとも真の脈管を見ているのかは不明である。私たちの CTV を用いた解析では foramen caecum を通過する静脈を 2.1%で認めている。

Nervus Terminalis/終神経

神経は Fritsch によって 1878 年にツノザメの脳において嗅神経より頭側で脳より起始する”überzähliger nerv” (余剰神経)と最初に報告されている[50]。続いて肺魚でも同様の神経が 1894 年に報告[51]される。1905 年に Locy らがサメの終神経が Lamina terminalis に接続することを報告し nervus terminalis (終神経)と呼ばれるようになった。のちにヒトでも終神経の存在が明らかになった[52]。嗅神経と同様に無髄神経であるが、嗅神経と異なり鼻から直接前脳の特定領域に直接投射し、かつ嗅神経の近傍を走行するが、独立した走行をするため独立した脳神経としてみなされてきた。他の脳神経より頭側にあることから cranial nerve zero (0 番脳神経) [53]と呼ばれることもある。元々 LHRH (GnRH) 免疫陽性であることから生殖行動やホルモン調節に関与していることが疑われていた[53]が、最近の研究で二酸化炭素を感知する機能があることがゼブラフィッシュなどの研究で明らかになってきている[54]。

まとめ

前頭蓋底には様々な foramen/bone canal が存在する。本質的に骨孔や骨管を神経や脈管が通過するのではなく、頭蓋内と頭蓋外にまたがって神経や脈管が存在し、その周囲に骨が形成する際にこれらの組織を避けて骨化が進むことで骨孔や骨管が形成される。したがってそれぞれの骨孔や骨

Niche Neuro-Angiology Conference 2026

管は必ず内部を走行する神経や脈管が、少なくとも発生段階で存在する。骨孔や骨管は外科治療の重要なメルクマールになる。発生学的背景や、骨孔・骨管内にどのような解剖構造が走行しているかは理解を深める上で非常に重要である。

References

1. Standing S (2020) *Gray's Anatomy : The Anatomical Basis of Clinical Practice*. Elsevier Health Sciences
2. Macchi V, Regoli M, Bracco S, et al (2016) Clinical anatomy of the orbitomenigeal foramina: variational anatomy of the canals connecting the orbit with the cranial cavity. *Surg Radiol Anat* 38:165–177
3. Di Ieva A, Bruner E, Haider T, et al (2014) Skull base embryology: a multidisciplinary review. *Childs Nerv Syst* 30:991–1000
4. Kerr DA, Rosenberg AE (2018) Embryology of the skull base and vertebral column. In: Harsh GR, Vaz-Guimaraes F (eds) *Chordomas and Chondrosarcomas of the Skull Base and Spine*. Elsevier, pp 3–9
5. Barkovich AJ, Vandermarck P, Edwards MS, Cogen PH (1991) Congenital nasal masses: CT and MR imaging features in 16 cases. *AJNR Am J Neuroradiol* 12:105–116
6. Sperber GH (1976) *Craniofacial embryology*, 2d ed. Wright, Oxford, England
7. Ricciardelli EJ (1995) Embryology and anatomy of the cranial base. *Clin Plast Surg* 22:361–372
8. PADGET, DH (1948) The development of the cranial arteries in the human embryo. *Contrib Embryol* 32:205–261
9. Nozaki K, Taki W, Kawakami O, Hashimoto N (1998) Cerebral aneurysm associated with persistent primitive olfactory artery aneurysm. *Acta Neurochir (Wien)* 140:397–401; discussion 401–2
10. Uchino A, Baba Y (2021) Type 2 persistent primitive olfactory artery associated with bilateral ophthalmic arteries arising from the middle meningeal arteries diagnosed by magnetic resonance angiography. *Surg Radiol Anat* 43:1947–1950
11. Padget DH (1957) The development of the cranial venous system in man: From the viewpoint of comparative anatomy. *Contribution to Embryology* 36:79–140
12. Padget DH (1956) The cranial venous system in man in reference to development, adult configuration, and relation to the arteries. *Am J Anat* 98:307–355
13. Lindenberg R (1956) Die Gefäßversorgung und ihre Bedeutung für Art und Ort von kreislaufbedingten Gewebsschäden und Gefäßprozessen. In: Otto Lubarsch, Robert Rössle, Friedrich Henke, W. Scholz (ed) *Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie und Histologie* Vol.13. pp 1071–1164
14. Sinnatamby CS (2011) *Last's Anatomy: Regional and Applied*. Churchill Livingstone/Elsevier
15. Boyd GI (1930) The emissary foramina of the cranium in man and the anthropoids. *J Anat* 65:108–121

Niche Neuro-Angiology Conference 2026

16. Tutar O, Kandemirli SG, Yildirim D, et al (2016) Vein of foramen caecum: imaging findings. *Surg Radiol Anat* 38:615–617
17. Gaffey MM, Friedel ME, Fatterpekar GM, et al (2012) Spontaneous cerebrospinal fluid rhinorrhea of the foramen cecum in adulthood. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 138:79–82
18. Galen (2010) Galen on Anatomical Procedures: The Later Books. Cambridge University Press
19. Rufus (Ephesius.), Theophilus (Protospatharius.), Stephanus (Atheniensis.), Augustinus Gadaldinus (1581) *Medici antiqui Graeci*. P. Perna
20. Adeel M, Ikram M, Rajput MSA, et al (2013) Asymmetry of lateral lamella of the cribriform plate: a software-based analysis of coronal computed tomography and its clinical relevance in endoscopic sinus surgery. *Surg Radiol Anat* 35:843–847
21. Lund VJ, Stammberger H, Fokkens WJ, et al (2014) European position paper on the anatomical terminology of the internal nose and paranasal sinuses. *Rhinol Suppl* 24:1–34
22. 伊藤隆 (2001) 解剖学講義. 南山堂
23. Paulsen F, Waschke J (2019) *Sobotta Atlas of Anatomy, Vol. 3, 16th Ed.* Elsevier Health Sciences
24. Zuckerkandl E (1884) Über den Circulations-Apparat in der Nasenschleimhaut. K. Gerold's son,
25. Baltsavias G, Parthasarathi V, Aydin E, et al (2015) Cranial dural arteriovenous shunts. Part 1. Anatomy and embryology of the bridging and emissary veins. *Neurosurg Rev* 38:253–63; discussion 263–4
26. Roussel L-M, Patron V, Maubert E, et al (2020) New landmarks in endonasal surgery: from nasal bone to anterior cribriform plate including branches of anterior ethmoidal artery and nerve and terminal nerve. *Int Forum Allergy Rhinol* 10:395–404
27. Lang J (1989) *Clinical Anatomy of the Nose, Nasal Cavity and Paranasal Sinuses*. Thieme
28. Patron V, Berkaoui J, Jankowski R, et al (2015) The forgotten foramina: a study of the anterior cribriform plate. *Surg Radiol Anat* 37:835–840
29. Hooper AC (1982) The cribriform plate and cerebrospinal fluid rhinorrhoea. *Ir J Med Sci* 151:31–35
30. Berryman GH (1955) Cerebrospinal rhinorrhea simulating allergic rhinitis. *J Allergy* 26:71–74
31. Bradbury MW, Westrop RJ (1983) Factors influencing exit of substances from cerebrospinal fluid into deep cervical lymph of the rabbit. *J Physiol* 339:519–534
32. Kida S, Pantazis A, Weller RO (1993) CSF drains directly from the subarachnoid space into nasal lymphatics in the rat. Anatomy, histology and immunological significance. *Neuropathol Appl Neurobiol* 19:480–488
33. Cserr HF, Harling-Berg CJ, Knopf PM (1992) Drainage of brain extracellular fluid into blood and deep cervical lymph and its immunological significance. *Brain Pathol* 2:269–276
34. von Haller A (1750) *Icones anatomicae quibus praecipuae aliquae partes corporis humani*. Gottingae : Apud viduam B. Abrami Vandenhoeckii, MDCCLVI
35. Falloppio G, Sigfridus J, Bokelius J (1610) *Observationes anatomicae*. Lucias
36. Cankal F, Apaydin N, Acar HI, et al (2004) Evaluation of the anterior and posterior ethmoidal canal by computed tomography. *Clin Radiol* 59:1034–1040
37. Kazak Z, Celik S, Ozer MA, Govsa F (2015) Three-dimensional evaluation of the danger zone of ethmoidal foramens on the frontoethmoidal suture line on the medial orbital wall. *Surg Radiol Anat* 37:935–940

Niche Neuro-Angiology Conference 2026

38. Cecchini G (2015) Anterior and posterior ethmoidal artery ligation in anterior skull base meningiomas: A review on microsurgical approaches. *World Neurosurg* 84:1161–1165
39. Martins C, Costa E Silva IE, Campero A, et al (2011) Microsurgical anatomy of the orbit: the rule of seven. *Anat Res Int* 2011:468727
40. Rontal E, Rontal M, Guilford FT (1979) Surgical anatomy of the orbit. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 88:382–386
41. Piagkou M, Skotsimara G, Dalaka A, et al (2014) Bony landmarks of the medial orbital wall: an anatomical study of ethmoidal foramina: A Morphometric Study of Ethmoidal Foramina. *Clin Anat* 27:570–577
42. Szczepanek E, Toppich J, Ostrowski P, et al (2024) The complete anatomy of the anterior ethmoidal artery: A meta-analysis with implications for sinus and skull base surgery. *J Clin Med* 13:1695
43. Moon HJ, Kim HU, Lee JG, et al (2001) Surgical anatomy of the anterior ethmoidal canal in ethmoid roof. *Laryngoscope* 111:900–904
44. Iwanaga J, Dindial R, Hage D, et al (2024) Are the ethmoidal foramina through the frontal bone, ethmoid bone, or frontoethmoidal suture? *Kurume Med J* 69:195–199
45. Regoli M, Bertelli E (2017) The revised anatomy of the canals connecting the orbit with the cranial cavity. *Orbit* 36:110–117
46. Leblanc A (2000) *Encephalo-Peripheral Nervous System: Vascularisation Anatomy Imaging*. Springer Berlin Heidelberg
47. Hayreh SS (1963) ARTERIES OF THE ORBIT IN THE HUMAN BEING. *Br J Surg* 50:938–953
48. Sperino G (1884) *Circolazione venosa del capo : rapporto fra la circolazione endo ed extra-craniana, avuto riguardo alle applicazioni pratiche*. Torino
49. Tsutsumi S, Ono H, Yasumoto Y (2016) A possible venous connection between the cranial and nasal cavity. *Surg Radiol Anat* 38:911–916
50. Fritsch G (1978) *Untersuchungen über den feineren Bau des Fischgehirns*. Gutmann Verlag, Augsburg, Germany
51. Pinkus F (1894) *Die Hirnnerven des Protopterus annectens*. Fischer,
52. Brookover C (1914) The nervus terminalis in adult man. *J Comp Neurol* 24:131–135
53. Demski LS, Schwanzel-Fukuda M (1987) The terminal nerve (nervus terminalis): structure, function, and evolution. Introduction. *Ann N Y Acad Sci* 519:ix–xi
54. Koide T, Yabuki Y, Yoshihara Y (2018) Terminal nerve GnRH3 neurons mediate slow avoidance of carbon dioxide in larval zebrafish. *Cell Rep* 22:1115–1123