

令和 3 年 5 月 18 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K06440

研究課題名(和文) ヒトの中硬膜動静脈の系統発生を記述・解明するための評価枠組みの確立

研究課題名(英文) Development of a framework to assess and clarify the phylogeny of the middle meningeal artery and vein in the human lineages

研究代表者

久保 大輔 (Kubo, Daisuke)

北海道大学・医学研究院・准教授

研究者番号：00614918

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：現代日本人頭骨の中頭蓋窩と眼窩壁を經由する脈管に関する諸特徴とその複合的類型の出現頻度を調査し、脈管の骨学的痕跡から頭頂部の硬膜に分布する動脈の経路を推定する方法を考案した。また、現代人とジャワ原人の頭蓋窩を經由する脈管の痕跡を比較し、眼窩と頭蓋腔間を走行する動脈系の差異を明らかにした。すなわち、現代人では外頸動脈系の中硬膜動脈が卓越し、蝶形骨大翼を貫通する小孔がある場合、そこを經由する動脈は中頭蓋窩から眼窩に向かう傾向が強く、ジャワ原人では相対的に内頸動脈系の眼動脈または涙腺動脈から起こる硬膜枝が発達し、大翼を貫通する小孔經由で眼窩から中頭蓋窩に入り、頭頂前部の硬膜に至る傾向がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

内頸動脈系の眼動脈から起こる硬膜枝が頭頂部に分布する変異は現代人では稀だが、類人猿では高い頻度で観察されることが知られていた。ヒトの派生形質の進化史解明には化石証拠が重要になる。化石標本では硬組織に残る痕跡を分析するほかに、眼窩壁付近の脈管の痕跡は個体差が大きく、変異に関する研究が未発展であったため、化石標本から頭頂部硬膜への供血路を適切に推定できる状態ではなかった。そこで本研究では、当該部位の変異を体系的に整理し、動脈の経路を推定する方法を考案した。これにより、化石の脈管研究の手段が得られ、一部のジャワ原人から祖先的ともいえる特徴を検出することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：This study examined the prevalence of the cranial features related to vessels across the middle cranial fossa and orbital wall and their composite patterns in a Japanese cranial sample primarily to develop a method to estimate the route of the artery which supplies blood to the parietal meninges based on cranial vascular traces. Comparison of the vascular traces between Homo sapiens and Indonesian H. erectus specimens revealed the following interspecies difference; in modern humans, if the cranio-orbital foramen is present, it generally provides a pathway for the meningo-lacrimal artery, which arises from the middle meningeal artery of external carotid origin. On the other hand, Indonesian H. erectus tends to have the recurrent meningeal artery of internal carotid origin which enters the middle cranial fossa via the cranio-orbital foramen and reaches the parietal meninges.

研究分野：形質人類学

キーワード：眼動脈系硬膜枝 cranio-orbital foramen 中硬膜動脈 Homo erectus ジャワ原人

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

中硬膜動脈は硬膜の栄養血管の一つで、伴行する静脈とともに頭蓋腔骨表面上に溝を形成する。そのため乾燥頭骨や化石資料でもその軌跡を観察することが可能である。現代人では、ほとんどの場合、頭頂部に分布する中硬膜動脈の複数の枝の起始を顎動脈に辿ることができるが、ヒト以外の真猿類では眼動脈系(内眼動脈系)と顎動脈系(外眼動脈系)の硬膜枝が相補的に頭頂部に分布する例が高頻度で見られる。したがって、中硬膜動脈の進化的変遷を明らかにするためには、人類化石資料においても両系の分布域と相互関係を調査する必要があるが、旧来の研究では眼動脈系硬膜枝の存在が軽視され、眼窩から中頭蓋窩にかけての脈管の走行経路と合流分岐に関する変異の研究は殆ど行われていなかった。また、化石に見られる形態特徴を解釈するための前段階として、まずは現生種で観察される骨学的変異を体系的に整理し、血管に関する既存の知見をもとにそれらに適切な解釈を与える必要があった。

2. 研究の目的

現代人頭骨の眼窩壁、中頭蓋窩、頭頂骨の内表面に見られる脈管の軌跡の変異を調査し、化石資料で観察される個々の形態学的特徴が、現代人で全くあるいは稀にしか観察されない特徴なのか、それともありふれた特徴なのかを判定するための評価の枠組みを確立する。また、頭頂部の硬膜への供血を担う動脈が、眼動脈と顎動脈のどちらと関連しているのかを、脈管の骨学的痕跡から判定する方法を考案する。考案した方法を用いて、ジャワ原人化石で観察される形態特徴に適切な解釈を与え、当該形質の進化的変遷の一端を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 頭蓋冠を取り外すことのできる日本人の頭骨標本 78 個体左右 156 例を対象に、眼窩及び中頭蓋窩底から頭頂前部に至る脈管の軌跡を観察記録し、諸特徴の出現頻度を算出した。眼窩と中頭蓋窩間を交通する血管の経路には、上眼窩裂のほかに蝶形骨大翼を貫通する小孔(COF, cranio-orbital foramen)があり、また眼窩と前頭蓋窩間を交通する血管の経路として眼窩上面外側を貫通する小孔(POF, periorbital foramen)がある。これらの小孔については有無と数を記録し、径の測定を行うとともに、小孔に達する骨表面上の脈管の軌跡を記録した。

(2) COFの有無とCOF・上眼窩裂・頭頂前部のそれぞれを連絡する血管の軌跡の有無に着目し、中頭蓋窩前部で観察される脈管溝パターンを体系的に分類し、出現頻度を算出した。本研究では、既存の解剖学的知見を踏まえたうえで各パターンの供血路を次のように推定した。第一に、動脈を伴わない静脈がCOFを経由することは稀であると報告されているため、COFには動脈または動静脈が通過すると仮定する。第二に、中頭蓋窩底からCOFに至る血管溝が、小翼直下に達する前に頭頂へ向かう血管溝と分岐する場合、COFを経由するのは中硬膜動脈の眼窩枝である可能性が高い(図1中央)。一方COFの径が十分大きく、かつ、そこからの軌跡が頭頂部に直接向かうのであればCOFを経由するのは眼動脈系の硬膜枝である可能性が高い(図1左)。棘孔に至る溝が上眼窩裂と頭頂前部間を走る溝と小翼直下で合流する場合(図1右)、顎動脈系と眼動脈系どちらが頭頂部への供血を担っていたか判断がつかない。COF経由で眼動脈系硬膜枝が頭蓋腔に入っていたと判定できる事例が日本人頭骨で確認できなかったため、追加でチンパンジー頭骨標本5個体左右10例の調査を行い、それに相当する事例を確認した(図1左)。

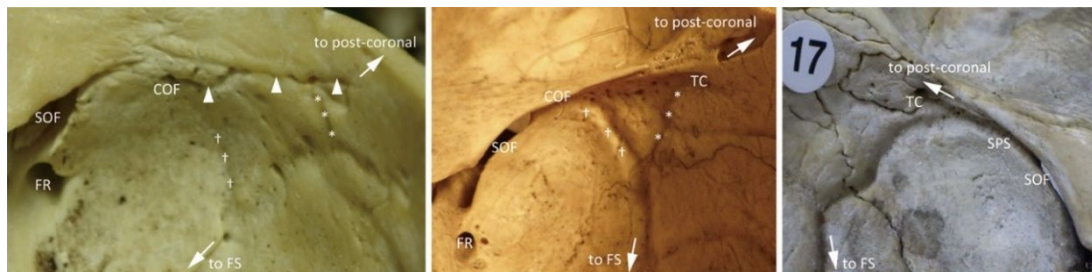


図1. 中頭蓋窩前部に見られる脈管の痕跡。棘孔(FS)と頭頂骨前部に続く溝を矢印で示している。(左)チンパンジー頭骨。図2のJ型に該当。(中央、右)日本人頭骨。

(3)ジャワ原人12例(両側観察可能な4個体と片側のみ観察可能な4個体)の当該部位に見られる脈管の形態的特徴を調査し、現代人頭骨及びチンパンジー頭骨の観察結果と比較した。ジャワ原人資料の形態観察においては、化石の頭蓋腔をシリコンで型取りした模型のほか、化石の連続CT像及びCT像から再構築した光造形モデルを用いた。眼動脈系硬膜枝が頭頂前部に供血する頻度について、先行研究で報告されている現代人及び現生類人猿のデータと比較した。

4. 研究成果

(1) 日本人の頭骨標本から、COF・POF・上眼窩裂から頭蓋腔の頭頂部にかけての骨表面に近接し

た血管の走行経路と合流・分岐パターンに関する変異の詳細を明らかにした。眼窩あたり少なくとも一つのCOFが存在する頻度は54%、複数のCOFが存在する頻度は15%で、他の現代人集団に関する報告値（それぞれ28-59%、4.3-15%）と比べると種内変異の範囲の上限に近かった。POFの出現頻度を調べた研究は少なく、南欧の現代人で8.2%と報告されているが、今回調査した日本人標本では18%と高頻度であった。

COF・POF・上眼窩裂に関連する骨表面の血管の軌跡を調べることで、血流方向を推定するうえで有用な情報が得られた。一つの眼窩に複数のCOFが観察された24例中6例では、中頭蓋窩側の単一のCOFが眼窩壁内で分岐して眼窩側の2箇所まで開口していたが、逆に眼窩側の単一のCOFが眼窩壁内で分岐して中頭蓋窩側の2箇所まで開口する事例は1例も確認されなかった。また、COFに至る中頭蓋窩上の溝に着目すると、顎動脈系から眼窩方向への供血路と見なせるものが68%を占め、残る32%は血流方向を判定できず、眼窩側から頭蓋腔側への供血路と判定できる事例は1例も観察されなかった。これらの観察結果は現代人ではCOFを経由する動脈が頭蓋腔側から眼窩側に向かう傾向があることを示唆する。

POFとCOFの出現頻度には関連があり、COFがある眼窩ではPOFの出現頻度が統計的に有意に高かった。またPOFが観察された28例中17例では、眼窩側のCOFとPOFの開口部を連絡する脈管の軌跡が確認された。これらの結果は、現代人ではPOFを通る動脈は、多くの場合、眼動脈系ではなく、COF経由で眼窩に入る中硬膜動脈の枝であることを示唆する。

上眼窩裂を経由する中硬膜動脈の眼窩枝の保有率に関しては、遺体解剖に基づく研究報告がいくつかあるが、13%から100%と報告によって大きなばらつきがある。今回の骨学的調査では、76%の半頭で当該血管の存在を示唆する溝が確認され、顎動脈系から眼窩方向への供血路と見なせるものが少なくとも58%を占めていた。この結果は、上眼窩裂を経由する中硬膜動脈の眼窩枝の比較的高い保有率を反映していると考えられる。

眼窩または棘孔から中頭蓋窩を経て頭頂骨前部に至る脈管溝パターンを図2のように分類した場合、眼窩方向からの頭頂部への供血を示唆するのは、J型とK型であるが、日本人頭骨標本ではこれらの型に分類される事例が確認できなかった。本研究で得られた知見は、既存の解剖学的知見とともに、現生種と化石種の比較を行う際の基礎となる。

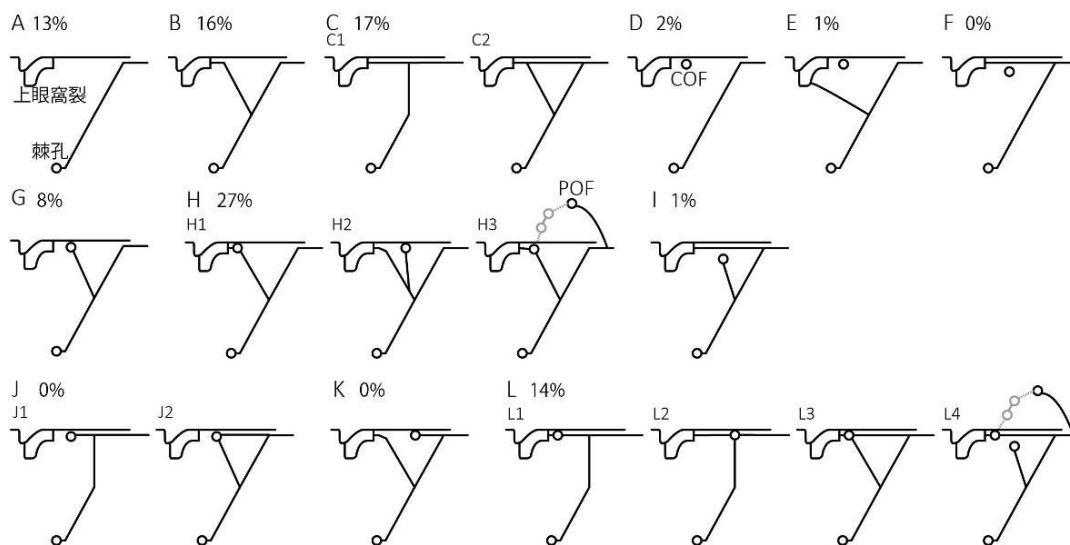


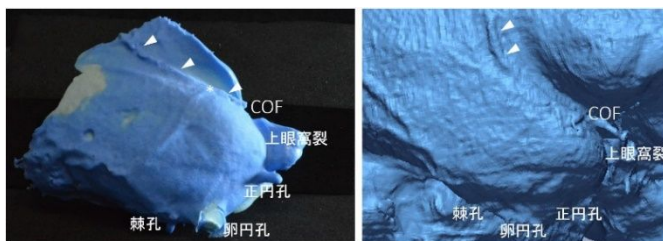
図2. COFの有無とCOF・上眼窩裂・頭頂骨前部のそれぞれを連絡する血管の軌跡の有無の組み合わせからなる脈管溝パターンの分類。頭骨の右側における上眼窩裂と前頭蓋窩の後縁、棘孔、COF、POF、中硬膜動脈の頭頂骨前部に向かう枝、COF・POF・上眼窩裂・頭頂骨前部を連絡する血管の軌跡を模式的に示している。図中の百分率は、現代日本人頭骨標本において、各類型が観察された頻度を示している。

(2) ジャワ原人では、COFの径と中頭蓋窩上の脈管の軌跡から、眼動脈系の硬膜枝が頭頂前部への供血を担っていたと解釈できる形態が12例中2例(17%)で確認された。日本人標本のCOFの径は平均0.6mmで、径が1mm以上のものは108例中7例のみだった。それに対し、ジャワ原人では1mm径のCOFが2個体の片側で観察され、うち1例は上記J型の脈管溝パターンと関連していた(図3左)。もう1例は、顎動脈系の中硬膜動脈の前枝に相当する溝が不明瞭で、COF経由の動脈が頭頂前部への供血を担っていたことはより明らかだった(図3右)。現代人で眼動脈系硬膜枝が頭頂部に至る頻度はせいぜい3%と報告されている。ジャワ原人の当該形質の保有率は、現代人に比べて統計的に有意に高く、類人猿に比べて低かった。

眼動脈系硬膜枝が発達する頻度だけでなく、それが眼窩から頭蓋腔に入る経路にも現代人とジャワ原人の違いが確認された。現代人において眼動脈系の硬膜枝が発達する場合、一般的には上眼窩裂を経由して頭蓋腔に入り、COFを経由することは稀である。本研究の観察結果が示すように、現代人のCOFは、頭蓋腔から眼窩へ向かう動脈の経路として機能している。それに対し

て、本研究で眼動脈系硬膜枝の発達が認められた2例のジャワ原人では、どちらもCOFが眼動脈系硬膜枝の経路として機能していた。ヒト以外の真猿類に関しては、少数例の遺体に基づく観察によって、眼動脈と中硬膜動脈の吻合枝が上眼窩裂を經由することは稀であり、専らCOFを經由すると報告されている。真猿類に関する解剖学的知見に照らし合わせると、本研究の結果は、ジャワ原人が当該形質に関して祖先的特徴を保持していたことを示唆し、上眼窩裂経由の硬膜枝はジャワ原人よりも現代人に近い系統で派生的に進化した可能性を示唆する。

図3. 眼動脈系が頭頂前部への供血を担っていたと解釈できる形態が観察された2例のジャワ原人の右中頭蓋窩の鋳型。(左) 眼動脈系硬膜枝に中硬膜動脈前枝が吻合する例。合流点を*で示した。(右) 中硬膜動脈前枝の痕跡を欠く例。



(3) 本研究では、時代的・地域的に限定された人類化石を対象としたが、進化的変遷を詳細に復元するには、より広範な時代・地域に由来する化石資料を分析することが求められる。また、現生類人猿に関しては、眼動脈系が頭頂部硬膜を供血する頻度や、硬膜枝が頭蓋腔に入る経路に関する信頼に足るデータが揃っておらず、先行研究間で結果の相違や矛盾が目立つ。本研究で考案した血管溝パターンの分類方法や供血路の推定基準は、他の化石人類や類人猿頭骨にも適用可能であり、先行研究における相違や矛盾を緩和するための有効なツールとなりうる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 久保大輔、海部陽介
2. 発表標題 日本人頭骨を対象にした中硬膜動脈前部とCOFの連絡に関する予備的研究
3. 学会等名 第73回日本人類学会大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 久保大輔、海部陽介
2. 発表標題 ヒトの中頭蓋窩前部で観察される脈管溝形態の変異と解釈
3. 学会等名 第74回日本人類学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------