

氏名(本籍)	加世多 美 怜 (石川県)
学位の種類	博士 (獣医学)
学位記番号	甲第110号
学位授与年月日	平成19年3月15日
学位授与の要件	学位規則第3条第2項該当
学位論文題名	オランウータン (<i>Pongo pygmaeus</i>) 頭頸部および上下肢の形態学的研究
論文審査委員	(主査) 浅 利 昌 男 (副査) 二 宮 博 義 山 本 雅 子 早 川 敏 之 (東京慈恵会医科大学医学部医学科解剖学第二講座助教授)

論 文 内 容 の 要 旨

【序論】

アジアに現存する唯一の大型類人猿オランウータンは、現在、地理的分布、形態および遺伝学的研究から2種に分類され、絶滅危惧種とされている。大型類人猿としては唯一ほぼ完全な樹上性で、四肢を全て用いる特有の移動様式により木から木へ移動する。そのため、手足は把握やぶら下がりに優れ、手首は他の大型類人猿より可動性に富む。地上を歩く際、下肢は屈曲し外旋した状態で、足の外側を接地する。

オランウータンの形態に関する研究は古くから行われ、顎二腹筋・前腹の欠如、大腿骨頭靭帯の欠如、母趾の退化もしくは消失等の形態学的特徴が知られている。しかし、これまでの報告における研究対象部位は限局的で、記載も断片的である。全身構造を完全に解説したものは少なく、調べた限り、Sonntag (1924) の報告が存在するのみであるが、これは若齢メス1個体の解剖所見であり、骨格筋の記載も不十分である。また、Straus (1941) は、前腕伸筋群について報告しているが、屈筋群に関する報告は認められない。

大型類人猿が絶滅の危機に瀕する現在、その検体は大変希少で、オランウータンの形態に関する詳細な記載が、あらゆる大型類人猿・霊長類研究、人類学研究において、有用なデータとなることは疑う余地がない。また、オランウータンは現生大型類人猿のうち最初に分岐した類人猿で、その特徴は大型類人猿の現代化を分析する上で重要である。さらにはこの先、望まざるも野生オランウータンが絶滅し、飼育下のみで生存する動物となった場合、その健康管理は現在以上に重要となり、詳細な解剖学的情報は必要不可欠となる。近年、各動物園が取り組むエンリッチメントや行動展示に寄与することもできる。

本研究では、オランウータンの形態学的特徴を明らかにするため、筋系、脈管系を中心に肉眼解剖学的に精査し、他の霊長類との比較解剖学的検討を行った。特に、いまだ検討の余地がある部位の特徴を明らかにし、それらが生息環境や特有の移動様式に対する適応によるものなのか、それとも霊長類としての系統発生的なものなのかといった関連性や、それらがもつ機能について考察した。また、上下肢の動脈についてのX線解剖学的検討や、肉眼解剖学的手法では精査が困難な部位の非破壊的観察も行った。

【材料および方法】

オランウータン（オス、メス各1頭：成熟個体 仙台・八木山動物園より入手）および、チンパンジー（オス1頭：未成熟個体 横浜・京浜鳥獣（株）より入手）を用いた。オランウータンは、入手時、動物園にて病理解剖が終了し凍結された状態にあり、解凍後、腋窩、大腿動脈より造影剤を注入し、上下肢のX線撮影を行った。固定後、頭頸部、上下肢を肉眼解剖学的に観察し、他の霊長類を含めた文献データとの比較検討を行った。上下肢の動脈をX線解剖学的にも検討し、さらに、CTを用いてオスの頭頸部、上下肢を撮影し、副鼻腔および動脈について3次元的解析を行った。チンパンジーについては、比較検討のため、頸部、下肢を肉眼解剖学的に観察した。

【頭頸部についての肉眼解剖学的検討】

性成熟過程でオスにのみ現れるフランジは、顔を大きくし、他のオスに対し自分を強く見せるための構造といわれる。観察の結果、頬部両側に結合組織や脂肪からなる発達したフランジがみられた。フランジ下には広頸筋が入り込み、フランジそのものには、筋系組織や神経等の構造はみられないが、その下の表情筋や広頸筋を動かすことで、フランジを動かすことが可能であることが明らかとなった。また、硬い食物を引き裂き、噛み砕くのに適した強大な顎をもち、咀嚼筋や口裂周辺の表情筋が非常に発達していた。この表情筋の発達は、口や唇を使って巧みに物を操ることや、咀嚼や感情表現の際に口を器用に動かすことを可能としていた。視覚にも優れていることから、コミュニケーションや生活環境において、顔面形態が果たす役割は大きいと考えられた。

【喉頭嚢についての肉眼解剖学的検討】

喉頭嚢は、声帯付近に開口部をもつ嚢状器官で、ヒトを除く多種の霊長類にみられる。発声や移動様式との関係が示唆されるものの、その機能は明らかではない。観察の結果、オランウータンの喉頭嚢は、喉頭室の外側壁から左右に独立して起こり、顎下、頸部、さらに鎖骨を境に、浅層から胸部、深層から背側や腋窩へと、広範囲に広がっていた。各々の嚢はさらに深部で分岐し、筋、骨格、これらを支配する脈管、神経を包含する鞘のような形態をしていた。オランウータンの場合、喉頭嚢は発声よりも樹上での移動様式に深く関わり、ブラキエーション（腕渡り）の際、軟部組織にかかる負荷を和らげるクッションや呼気流を緩衝させることで粘膜等を守る装置としての役割を果たす可能性が

高いと考えられた。

【頸部・環椎鎖骨筋についての比較解剖学的検討】

環椎鎖骨筋（以下MAC）は、霊長類にみられる頸部の筋であり、ヒトには存在せず、これまで存在は報告されているが、作用に関する明確な報告はない。MACをもつ種を明らかにし、その作用を考察するため、各種霊長類および四足歩行動物（イヌ）の頸部の筋を比較検討した。観察の結果、オランウータン、チンパンジーには共にMACが認められ、各種霊長類の環椎、肩甲骨、鎖骨周辺筋の有無を分類すると、類人猿では全種にMACが存在し、MACをもつ種は樹上性が強いことがわかった。また、MACは樹上生活に適応する過程で前環椎肩甲筋の停止部位が変化したものであると考えられた。さらに、MACには上肢帯の挙上だけでなく、頭頸部を安定させる作用もあると考えられた。

【上肢についての肉眼解剖学的検討】

深部指伸筋群において、固有第二指伸筋、固有第五指伸筋に加え、固有第三指伸筋、固有第四指伸筋がみられ、第二指から第五指それぞれに終わる指伸筋が存在した。また、深指屈筋は尺骨頭と橈骨頭からなり、尺骨頭の腱は第三、第四、第五指に、橈骨頭の腱は第二指に終わっていた。ヒヒ、チンパンジー等には、深指屈筋腱から分かれ母指に終わる腱が存在し、ヒトには、長母指屈筋という特有の筋が存在し、その腱は母指に終わる。オランウータンの深指屈筋・橈骨頭はヒトの長母指屈筋に相当すると考えられたが、その腱は第二指に終わり、母指に終わる腱はみられなかった。この腱の欠如は、樹上性による母指退行性変化の筋学的特徴であると考えられた。

【指背腱膜に関する肉眼解剖学的検討】

指背腱膜は、指伸筋、骨間筋、虫様筋の腱で構成され、指の伸展・屈曲をスムーズに行なうため、指骨の背側に存在する腱膜である。観察の結果、オランウータンもヒトとほぼ同様の指背腱膜構造をもつことが明らかとなった。しかし、中央索の幅はヒトより広く、固有第三、第四指伸筋腱の一部も加わるため、さらに幅が広がっていた。また、横支靭帯と斜支靭帯はPIP関節とDIP関節の伸展・屈曲に同時性を持たせていたが、これは、横1列に並んだ第三、第四、第五指のPIP関節とDIP関節が同時に伸展・屈曲することで、ブラキエーションの際、把握をよりスムーズにし、枝を瞬時に確実に捉えるために役立つと考えられた。

【下肢についての肉眼解剖学的検討】

大腿二頭筋・長頭と短頭に結合はなく、坐骨結節から起こる長頭は、遠位に向かって二分し、一方は大腿骨に、一方は腓骨頭および外側膝蓋支帯に終わっていた。このうち、大腿骨に終わる部分は、文献によっては大殿筋の一部とされるが、観察の結果、長頭や半腱・半膜様筋と同じ坐骨神経枝の支配を受け、大殿筋とは神経支配が異なっていた。したがって、この部分は、神経支配から見ると、大

腿二頭筋・長頭の一部とみなすのが妥当である。このような特有の形態は、特有の移動様式を反映していると考えられた。また、薄い腓腹筋や短いアキレス腱等、下腿の形態も特有の移動様式を反映し、さらに、足底筋はみられなかったが、足底腱膜はみられたことから、オランウータンは足底腱膜の役割を議論する上で重要な分化を遂げていると考えられた。

【上下肢の血管系に関する形態学的研究】

上肢の動脈では、肘窩部において、ヒトでは橈骨動脈の枝として分岐する橈側反回動脈が上腕動脈から直接分岐し、また、ヒトでは総骨間動脈の枝として分岐する前・後骨間動脈が、それぞれ尺骨動脈から直接分岐していた。

下肢の動脈では、大腿深動脈の終枝である貫通動脈が認められず、大腿方形筋枝と内側大腿回旋動脈にそれぞれ大腿後面への分枝があり、これが貫通動脈の役割を補っていた。また、ヒトでは退化した伏在動脈が存在し、これが足背に至り足背動脈となっていた。さらに、ヒトでは膝窩筋下縁から骨間に入り込む前脛骨動脈が、上縁から入り込んで骨間膜を貫き下腿前面へ至っていた。

【副鼻腔の3次元画像解析】

CT画像から3次的に観察した結果、眼窩底と齒槽骨に挟まれ上顎骨全体に広がる上顎洞、眼窩間に位置する前頭洞、蝶形骨洞前方に位置する篩骨洞、外側方向へ広がる蝶形骨洞が認められた。基本的に全洞で左右対称の広がりが見られたが、前頭洞は眼窩間にわずかに認められたのみで、領域、形態ともにヒトとは大きく異なっていた。また、上顎骨が前方に突出した形態であるため、上顎洞前端は鼻腔前端より前方に位置していた。さらに、副鼻腔とは別に、項稜を形成する骨内部に無数の骨洞が認められ、これはメスにはみられないことから、頭蓋骨を軽くするために存在し、ロングコールの際、共鳴腔となっていると考えられた。

【総括】

本研究では、以上のようなオランウータンの形態学的特徴が明らかとなった。これらを他の霊長類と比較し、特有の移動様式や生息環境を加味して検討することで、それぞれの特徴は、霊長類としての系統発生的特徴や、環境への適応により固有に獲得した形態であると考えることができた。特に、その特有の移動様式を反映したと考えられる特徴が多く認められた。また、系統発生的要因と環境的要因はそれぞれ単独に働くのではなく、系統発生的に備わっている構造が環境的要因によってより特有の形態へと変化するといったように、それぞれの要因が複雑に絡み合うことで固有の特徴を作り上げていた。

論文審査の結果の要旨

本研究は、アジアに現存する唯一の大型類人猿であるオランウータンの形態について調べたもので、本研究で得られた詳細な記載が、今後実施される霊長類研究において有用なデータとなり、さらに、オランウータンの健康を管理する上での必要不可欠な情報となることを念頭において実施されたものである。このことから、研究では、筋系、脈管系を中心にオランウータンの頭頸部および上下肢を肉眼解剖学的およびX線解剖学的に詳細に解析し、また、CTを用いて頭部の三次元画像解析を行い、得られた情報を積み上げ、さらにそれらの役割や比較解剖学的な見地に立っての意味について考察している。また、知見の幅を広げるために、チンパンジーをはじめとする他の霊長類との比較解剖学的解析も行っている。

今回の研究で明らかとなった形態学的特徴は以下のごとくである。

【頭頸部についての肉眼解剖学的検討】

筆者は性成熟過程でオスにのみ現れるフランジを観察した結果、頬部両側に結合組織や脂肪からなる発達したフランジを確認し、フランジ下には広頸筋が入り込み、フランジそのものには、筋や視認できる神経等の構造は認められないが、その下の広頸筋などの表情筋を動かすことで、フランジを動かすことが可能であることを明らかにした。また、オランウータンは硬い食物を引き裂き、噛み砕くことに適した強大な顎をもつが、それに合わせて咀嚼筋や口裂周辺の表情筋が非常に発達していたことも確認した。これらの顔面の特徴とあわせて、オランウータンは視覚にも優れていることから、コミュニケーションや生活環境において、このような顔面形態が果たす役割は大きいと考察している。

【喉頭嚢についての肉眼解剖学的検討】

オランウータンの喉頭嚢は喉頭室の外側壁から左右に独立して起こり、顎下、頸部、さらに鎖骨を境に、浅層から胸部、深層から背側や腋窩へと、広範囲に広がっていることを明らかにした。また、各々の嚢はさらに深部で分岐し、筋、骨格、これらを支配する脈管、神経を包含する鞘のような形態をしていることも確認した。筆者は喉頭嚢の複雑な形態を、各筋肉やその他の構造との相互位置関係が明らかになるように、本研究で初めてデジタル画像にて立体的に示した。オランウータンの場合、他の霊長類と異なり、喉頭嚢は発声よりも樹上での移動様式に深く関わり、ブラキエーション（腕渡り）の際、軟部組織にかかる負荷を和らげるクッションや呼気流を緩衝させることで粘膜等を守る装置としての役割を果たす可能性が高いと考察している。

【頸部・環椎鎖骨筋についての比較解剖学的検討】

霊長類にみられる環椎鎖骨筋（以下MAC）の作用に関する明確な報告がないことから、MACをもつ種を明らかにし、その作用を本研究では考察している。まず、オランウータン、チンパンジーには共にMACが存在することを確認し、文献的に得られた各種霊長類の環椎、肩甲骨、鎖骨周辺の筋の有

無に関する知見からそれを分類することで、類人猿では全種にMACが存在し、MACをもつ種は樹上性生活習慣が強いことを明らかにした。また、MACは樹上生活に適應する過程で前環椎肩甲筋の停止部位が変化したものであると考え、さらに、MACには上肢帯の挙上だけでなく、頭頸部を安定させる作用もあると考察している。

【上肢についての肉眼解剖学的検討】

オランウータンの深部指伸筋群の観察では、固有第二指伸筋、固有第五指伸筋に加え、固有第三指伸筋、固有第四指伸筋を確認し、第二指から第五指それぞれに終わる指伸筋の存在を認めた。また、深指屈筋は尺骨頭と橈骨頭からなり、尺骨頭の腱は第三、第四、第五指に、橈骨頭の腱は第二指に終わることも明らかにした。ヒヒ、チンパンジー等には、深指屈筋腱から分かれ母指に終わる腱が存在し、ヒトには、長母指屈筋という特有の筋が存在し、その腱は母指に終わることから、オランウータンの深指屈筋・橈骨頭はヒトの長母指屈筋に相当すると考えたが、ヒトと異なり、その腱は第二指に終わることから、この腱の欠如は、樹上性生活による母指退行性変化の筋学的特徴であると考察している。

【指背腱膜に関する肉眼解剖学的検討】

指背腱膜の観察の結果、オランウータンもヒトとほぼ同様の指背腱膜構造をもつことを明らかにし、中央索の幅はヒトより広く、他の伸筋腱の一部も加わるため、さらに幅が広がっていることを確認した。横支靭帯と斜支靭帯は近位指間関節（PIP関節）と遠位指間関節（DIP関節）の伸展・屈曲に同時性を持たせており、これは、横1列に並んだ第三、第四、第五指のPIP関節とDIP関節が同時に伸展・屈曲することで、ブラキエーションの際、把握をよりスムーズにし、枝を瞬時に確実に捉えるために役立つと考察している。

【下肢についての肉眼解剖学的検討】

下肢の筋については、大腿二頭筋・長頭と短頭に結合はなく、坐骨結節から起こる長頭は、遠位に向かって二分し、一方は大腿骨に、一方は腓骨頭および外側膝蓋支帯に終わることを観察した。このうち、大腿骨に終わる部分は、文献によっては大殿筋の一部とされるが、観察の結果、大腿二頭筋・長頭や半腱様筋、半膜様筋と同じ坐骨神経枝の支配を受け、大殿筋とは神経支配が異なっていたことを確認し、この部分は、神経支配から見ると、大腿二頭筋・長頭の一部とみなすのが妥当であると分類している。

【上下肢の血管系に関する形態学的研究】

上肢の動脈では、肘窩部において、ヒトでは橈骨動脈の枝として分岐する橈側反回動脈が、オランウータンでは上腕動脈から直接分岐し、また、ヒトでは総骨間動脈の枝として分岐する前・後骨間動

脈が、それぞれ尺骨動脈から直接分岐していることを観察した。

下肢の動脈では、大腿深動脈の終枝である貫通動脈が認められず、ヒトでは退化した伏在動脈がオランウータンでは存在し、これが足背に至り足背動脈となっていることを観察した。

【副鼻腔の3次元画像解析】

CTを用いてオランウータンの頭部を三次元的に観察した結果、眼窩底と齒槽骨に挟まれ上顎骨全体に広がる上顎洞、眼窩間に位置する前頭洞、外側方向へ広がる蝶形骨洞、蝶形骨洞前方に位置する篩骨洞を確認した。基本的に全洞で左右対称の広がりを観察したが、前頭洞は眼窩間にわずかに広がるのみで、領域、形態ともにヒトとは大きく異なっていることを明らかにした。また、上顎骨が前方に突出した形態であるため、上顎洞前端は鼻腔前端より前方に位置していることも明らかにした。さらに、副鼻腔とは別に、項稜を形成する骨内部に無数の骨洞を認め、これはメスにはみられないことから、頭蓋骨を軽くするために存在し、ロングコールの際、共鳴腔となっていると考えた。

本論文において著者は、以上のようなオランウータンの形態学的特徴をひとつひとつ詳細に明らかにし、この結果を他の霊長類と比較し、文献や調査によって得られた特有の移動様式や生息環境を加味して検討することで、それぞれの特徴が、霊長類としての系統発生的特徴や、環境への適応により固有に獲得した形態的特徴であると考察したが、特に、その特有の移動様式を反映したと考えられる特徴がオランウータンの体に多く認められたと述べている。また、系統発生的要因と環境的要因がそれぞれ独立して形態変化に影響するものではなく、系統発生的に備わっている構造が環境的要因によってより種特有の形態へと変化するといったように、それぞれの要因が複雑に絡み合うことで、今の固有の形態的な特徴を作り上げてきたと考えている。

本研究は、解剖学的情報が極めて少ない上、絶滅の危機に瀕する大型類人猿であるオランウータンの形態学特徴を詳細に観察し、記載したものである。これらの積み上げられた詳細な記載が、今後の大型類人猿・霊長類研究、人類学研究に有用なデータを示すことになり、さらにオランウータンの健康管理上必要な解剖学的情報を提供しているという意味からも、獣医学上意義ある業績として、博士（獣医学）の学位を授与するにふさわしい研究であると判定した。