

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：32669

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25840171

研究課題名(和文) オランウータンの前肢における筋骨格モデル作成のための基盤研究

研究課題名(英文) Anatomical and kinematic characteristics of the forelimb in orangutans: Basic information for development of a musculoskeletal model

研究代表者

大石 元治 (Oishi, Motoharu)

日本獣医生命科学大学・獣医学部・講師

研究者番号：40549557

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：オランウータンの前肢の筋骨格モデル作成のために必要な解剖学的、運動学的データの収集を行った。肘関節においては屈筋の最大発揮筋力が伸筋よりも優位であると推測された。回内-回外可動域は 156.7° (回内域： 79.3° ，回外域： 77.4°)であった。垂直木登り時の前肢の支持期後半においては、肘関節の角度はほとんど変わらないにもかかわらず、肩関節は屈曲していることが観察された。これらのデータは限られたサンプル数から得られた結果であるが、今後オランウータンの筋骨格モデル作成に有用な情報となる。

研究成果の概要(英文)：In order to construct its musculoskeletal model we described the anatomical and kinematic characteristics of the forelimb in orangutans. The force-generating capacities of the elbow flexor muscles were larger than those of the elbow extensors. The range of forearm rotation was 156.7° (pronation: 79.3° , supination: 77.4°). During the later part of the support phase the elbow joint maintained the flexion angle of about 80° , while the angle of the shoulder joint decreased. Within the limitations set by a small sample size, the present data is useful for development of a mathematical model of the forelimb musculoskeletal systems.

研究分野：生物学、人類学、自然人類学

キーワード：オランウータン 前肢 筋 回内-回外可動域 垂直木登り 肘関節の可動域

1. 研究開始当初の背景

オランウータンは樹上を主な生息環境とする動物のなかでは数少ない大型種である。そのロコモーションパターンは他の一般的な小型樹上性動物とは異なっており、懸垂型運動を多用する点で特徴的である。オランウータンの運動器にはこのロコモーションの特性を反映した形態が知られているが、我々はチンパンジーとの比較からオランウータンの肘関節の運動に関係する筋群において、その機能からは予想に反した筋の発達を明らかにした (Oishi et al., 2008, 2009)。すなわち、樹上傾向の強いオランウータンにおいて肘関節の屈筋群がアフリカ類人猿よりも発達していることが予測された。しかし、我々の結果は、屈筋群のうち、上腕筋、腕橈骨筋は予想通りオランウータンにおいてよく発達しているが、上腕二頭筋はオランウータンよりもアフリカ類人猿でより発達していることを示した。

近年、霊長類を含めたさまざまな動物において数理モデルを用いた研究が進められており、運動器を研究する上で有用な手法となっている。しかし、筋骨格モデルには筋や骨の定量的データだけでなく、関節の可動性や運動学的データなどバイオメカニクスの観点からみたオランウータンの情報も必要であるが、チンパンジーと比較して、オランウータンについてはそのような研究は少なく、彼らの運動器の特性をより深く理解することを困難なものにしていた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、オランウータンの前肢における筋骨格モデルを作成するための基礎的データを収集するとともに、オランウータンの運動器についてバイオメカニクスの観点から解析を加え、前肢の形態とロコモーション能力の関係を明らかにすることにある。

3. 研究の方法

(1)筋パラメーターの計測

オランウータン2個体の片側前肢と、比較対象としてチンパンジー1個体の片側前肢の解剖を行った。筋を骨から分離し重量を計測した。その後、筋束長を計測し、筋生理学的断面積 (PCSA) を算出した。これらの筋パラメーターは、以前の我々のデータを加えて2種の比較を行った。

(2)前腕の回内-回外可動域の計測

オランウータンと、比較対象としてチンパンジーのそれぞれ1個体の片側前肢を用いた。前腕の回内時、回外時それぞれでCT撮影を行った。

3次元データ (DICOM データ) はソフトウェア (Analyze 12.0) で筋や血管などの軟部組織のデータを除去し、骨格サーフェイスのみを抽出した (Ogihara et al., 2009)。さらに、ソフトウェア (Geomagic XOS) で回

内位、回外位それぞれのスキャンデータにおいて、前腕骨格のみになるように上腕骨や手根骨を除去し、回内位、回外位を同一座標系に挿入して、尺骨で位置合わせを行うことで3次元サーフェイスの再構築を行った。

可動域の計測には下記のようにソフトウェア (Geomagic XOS) を用いて入手した参照点の3次元座標から算出した。

U1: 尺骨切痕の中央点

U2: 尺骨切痕の曲面を近似して得られた円の中心点

U3: 尺骨遠位橈尺関節面の曲面を近似して得られた円の中心点

RP: 回内時の橈骨茎状突起の頂点

RS: 回外時の橈骨茎状突起の頂点

RPS: U1, U2, U3によって定義される面とRPとRSを結ぶ直線の交点

回内-回外可動域: U3とRPを結ぶ直線とU3とRSを結ぶ直線のなす角度

回内域: U3とRPを結ぶ直線とU3とRPSを結ぶ直線のなす角度

回外域: U3とRSを結ぶ直線とU3とRPSを結ぶ直線のなす角度

(3)オランウータンの運動学的データの収集

動物園飼育個体のオランウータンにおける行動パターン

オランウータンの動物園における一般的な行動の特性を理解するために、千葉県内の動物園で飼育されている若齢のオランウータン (雌, 4歳) のポジショナル・ビヘイビアをデジタルビデオカメラで記録した。ロコモーションとポスチャーはそれぞれ19種類分類され、頻度と時間のそれぞれの比率を算出した。また比較対象として成体のオランウータン (雌, 26歳) の行動も記録した。

オランウータンの垂直木登り時の肩関節と肘関節の関節角度の変化

(3)と同様の若齢個体の同一の行動を3台のデジタルビデオカメラで記録した (60fps)。空間のキャリブレーションは放飼場内のパイプの枠物を利用して、3次元DLT法によって行った。

得られた動画はソフトウェア (Frame-DIAS IV) に挿入し、コマ送りにしながら各関節の回転中心に点を打つことによってデジタル化を行った。得られた各関節の回転中心の3次元座標を用いて、肩関節と肘関節の角度の変化を算出した。

4. 研究成果

(1)筋パラメーターの計測

以前の報告と同様に、オランウータンの肘関節の屈筋群のうち、肘関節のみを屈曲させる一関節筋である上腕筋、腕橈骨筋はチンパンジーよりも発達していたが、肩関節と肘関節の二つの関節に跨る二関節筋である上腕二頭筋はチンパンジーでよく発達していた (Figs. 1-4)。

本研究において貴重なサンプルを追加することによって、オランウータンの肘関節に関する筋群には、単に樹上環境への適応という大きなロコモーションの分類からは説明することができない特徴を、より多くのサンプル数で確認することができた。

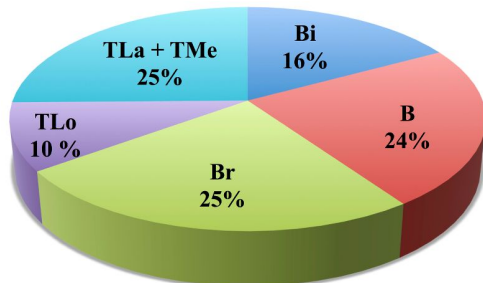


Fig. 1 オランウータンの肘関節に関する筋の重量比

Bi: 上腕二頭筋, B: 上腕筋, Br: 腕橈骨筋, TLo: 上腕三頭筋長頭, TMe: 上腕三頭筋外側頭+内側頭

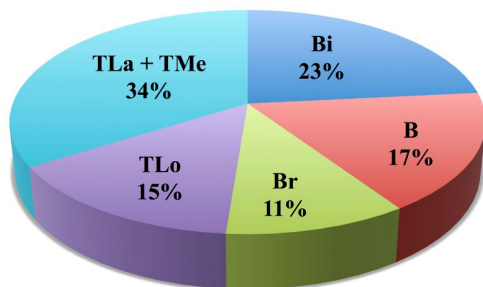


Fig. 2 チンパンジーの肘関節に関する筋の重量比. 筋の略語は Fig. 1 を参照

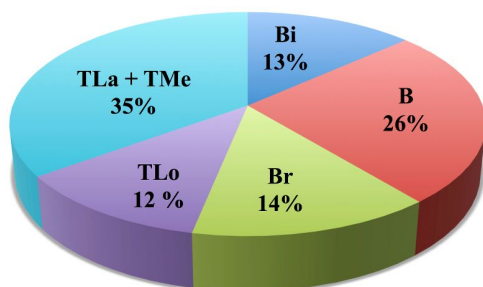


Fig. 3 オランウータンの肘関節に関する筋の PCSA 比. 筋の略語は Fig. 1 を参照

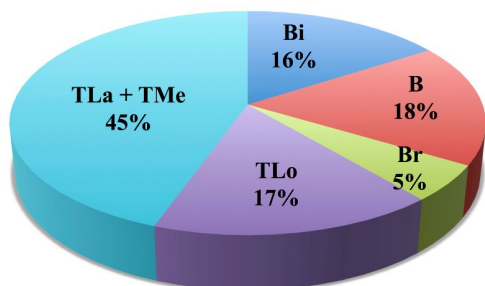


Fig. 4 チンパンジーの肘関節に関する筋の PCSA 比. 筋の略語は Fig. 1 を参照

(2)前腕の回内・回外域の計測

オランウータンの前腕の回内・回外可動域は 156.7°であり、O'connor & Rarey, 1979 による屍体を用いたオランウータンの報告 (150°: n=1) とほぼ一致していた。回内域、回外域はほぼ等しく、それぞれ 79.3°, 77.4°であることが明らかとなった (Figs. 5, 6)。チンパンジーの前腕の回内・回外可動域、回内域、回外域はオランウータンとほぼ等しく、それぞれ 159.9°, 78.2°, 81.7°であった。今後、サンプル数を増やし検討を進める必要があるが、樹上傾向の強いオランウータンと、地上傾向のチンパンジーにおける前腕の回内・回外運動の特性は類似していた。

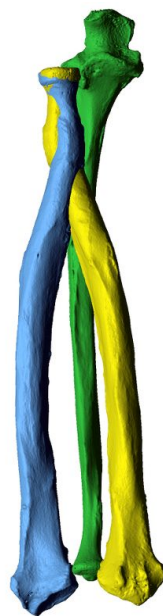


Fig.5 オランウータンの右前肢における回内・回外運動時の前腕骨格の前面
青色: 橈骨 (回外), 黄色: 橈骨 (回内), 緑色 (尺骨)

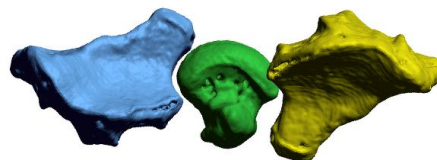


Fig. 6 オランウータンの右前肢における回内・回外運動時の前腕骨格の遠位観
青色: 橈骨 (回外), 黄色: 橈骨 (回内), 緑色 (尺骨)

(3)オランウータンの運動学的データの収集

動物園飼育個体のオランウータンにおける行動パターン

観察されたポジショナル・ビヘイビアのなかでロコモーションとポスチャーの時間の比は、若齢個体において 18 : 82 であり、成体では 4 : 96 と両者でポスチャーの比率が多くを占めていた。しかし、若齢個体では成体よりもロコモーションの占める割合が高く、若齢個体は、大人よりも活発に活動していることが示された。これは野生個体の観察結果と一致する。

オランウータンの垂直木登り時の肩関節と肘関節の関節角度の変化

観察された垂直木登りにおける片側前肢の支持期は1周期の約40%、すなわち遊脚期は約60%であった。

手が支持基体を握った直後から肩関節と肘関節は屈曲を開始した。肩関節は手が支持基体から離れるまで徐々に屈曲するが、肘関節は手が離れる前に屈曲が止り、約80°の角度を維持していた。

手が支持基体から離れた後、肩関節は伸展を開始した。一方、肘関節はさらに屈曲してから伸展に転じていた。腕を拳上させるため肩関節は約120°まで、肘関節は約160°まで伸展するが、再び手を支持基体に着地させる直前に両関節ともわずかに屈曲した。

ヒトにおいて肘関節の屈筋群のモーメントアームが最も長くなるのは肘関節が約90°のときと考えられている。ヒトとオランウータンの肘関節に関係する筋群の配置は類似していることから、それらのモーメントアームが最大となる肘関節の角度も類似すると推測される。すなわち、支持期の後半において肘関節の角度が約80°に維持されることは肘関節の屈筋の収縮力を効率的に回転力に変換するために有利なのかもしれない。

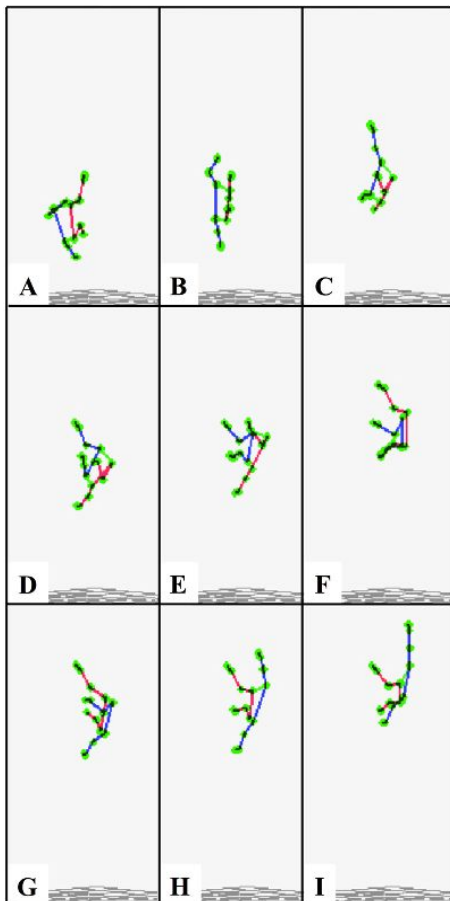


Fig. 7 オランウータンの垂直木登り時の動画から作成したスティックピクチャ
青色: 右側の前後肢, 赤色: 左側の前後肢



Fig. 8 オランウータンの垂直木登り時における肩関節と肘関節の関節角度の変化
黄緑色: 肩関節, 紫色: 肘関節, 矢印: Liftoff

さらに、支持期後半においては、肘関節の角度はほとんど変わらないにもかかわらず、肩関節は屈曲していた。上腕二頭筋は肘関節を屈曲させると同時に肩関節を伸展させる機能をもつため、上腕二頭筋は支持期後半においては、肩関節の動きとは拮抗することになる。もしオランウータンが大きな上腕二頭筋をもっていた場合、支持期後半において肩関節を屈曲するためにより大きな筋力が必要となる。すなわち、オランウータンにおいて肘関節の屈筋群のなかでも上腕二頭筋だけが、チンパンジーと比較して発達が悪かったことはこの支持期後半の肩関節の屈曲と関係しているのかもしれない。

本研究で得られた運動学的データは若齢個体の1サンプルであり、限られた情報であるが、オランウータンの肘関節に関係する筋の特徴的な発達を説明できる可能性を示した。今後はさらにオランウータンのサンプル数を増やし、詳細な検討が期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 2 件)

Eishi Hirasaki, Motoharu Oishi. Arrangement of the foot interosseous muscles in great apes. 84th Annual Meeting of the American Association of Physical Anthropologists. March 25 – 28, 2015. St. Louis (USA).

大石元治、荻原直道、清水大輔、菊池泰弘、尼崎肇. 大型類人猿における下腿部と足部の筋について. 第67回日本人類学会大会. 2013年11月1日-4日. 国立科学博物館 筑波研究施設 (茨城県)

[図書](計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

大石元治. 手も足も出る話 大型類人猿の四肢の秘密. 動物園講演会. 2015年3月24日. 武蔵野プレイス（東京都）

大石元治. 類人猿の比較解剖学. 第四回オランウータン飼育担当者会議. 2015年2月1日. 福岡市動物園（福岡県）

ホームページ

<http://tlo.nms.ac.jp/researcher/1383.html>

6. 研究組織

(1)研究代表者

大石 元治（OISHI MOTOHARU）

日本獣医生命科学大学 獣医学部 講師

研究者番号：40549557

(2)研究分担者

（ ）

研究者番号：

(3)連携研究者

（ ）

研究者番号：