

令和 2 年 9 月 9 日現在

機関番号：34447

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07590

研究課題名(和文)ヒトのブラキエーション動作の運動学的・筋電図学的分析

研究課題名(英文)Kinematical and electromyographical analysis of human brachiation

研究代表者

岡 健司(Oka, Kenji)

大阪河崎リハビリテーション大学・リハビリテーション学部・講師

研究者番号：70629633

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、ヒトの雲梯でのブラキエーション時における体幹・下肢活動を運動学的、筋電図学的に分析し、ヒトのロコモーション全般における姿勢調節機序の一端を明らかにすることを目的として行われた。ブラキエーション時の脊柱起立筋は、体幹姿勢を安定させて体肢の振り出しに備えていると考えられた。また、ヒトのブラキエーションは、規則的な下肢運動を伴っていた。推定身体質量中心の上下方向運動は、ストライド長が長い場合と短い場合で振り子運動の形が異なり、ブラキエーションは2パターンに分かれることが示された。ヒトのブラキエーションは非日常的な動作だが、体幹・下肢が規則的に活動して姿勢を調節することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ブラキエーションは、ヒトと近縁な類人猿が行うロコモーションである。ヒトのブラキエーションに関する定量的データは、類人猿の運動データと比較するための基礎情報として有用であり、霊長類ロコモーションの進化・適応という人類学の大きな問題に一助しうる。また、懸垂型のロコモーション時に下肢・体幹の働きが確認されたことから、脊髄損傷や下肢切断の患者による上肢優位のロコモーションの円滑な遂行や下肢の賦活化をはかるうえで、応用的な示唆を与えると期待される。

研究成果の概要(英文)：To elucidate some of the common mechanism for postural control of human locomotion, human brachiation under the horizontal ladder was analyzed by kinematical and electromyographical measurements of the trunk and hind limbs. As a result of this study, it is thought that erector spinae muscles during brachiation act to stabilize trunk posture and swing limbs. Additionally, human brachiation included phasic hind limbs motions. Vertical motion pattern of the estimated center of body mass was divided into two patterns owing to stride length. It is suggested that trunk and hind limbs phasically act to adjust posture during human brachiation though this type of locomotion is not a daily activity for humans.

研究分野：自然人類学

キーワード：ブラキエーション 腕渡り 雲梯 ロコモーション 表面筋電図 三次元動作解析

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ヒトは基本的に地上を二足歩行で移動し、その身体構造・機能は二足歩行に適応している。しかし、ヒトは、二足歩行以外のロコモーションを行うこともできる。たとえば、上肢で懸垂して手を交互に振り出すことで前進する「ブラキエーション(腕渡り)」と呼ばれるロコモーションは、公園の遊具の一種である雲梯での遊びに示されるように、一定の距離にわたり円滑に行うことができる。

ブラキエーションは、ヒトに近縁な類人猿、特にテナガザル類が常用するロコモーションである。テナガザルはブラキエーションに適応しているとされるが、地上に降りた際には二足歩行を行う。また、テナガザルのブラキエーション時には、活動量は小さいものの、下肢運動が生じている(Oka et al., American Journal Physical Anthropology 142 (2010); 岡・熊倉, 大阪河崎リハビリテーション大学紀要7 (2013))。

二足歩行とブラキエーションの間には共通点がありそうである。たとえば、ヒトの二足歩行時には、脊柱起立筋は、足の接地のタイミングに合わせて左右交代性の活動を示すとされている。そして熊倉(生産と技術 65(2013))によると、テナガザルにおいても二足歩行時に脊柱起立筋が左右交代性に活動することが示唆されており、背筋群の交代性の活動パターンはヒトが類人猿と分岐する以前から共有していた可能性が考えられる。

ヒトのブラキエーションについての研究は、ロコモーションの進化と適応を解明することに一助しうる。

2. 研究の目的

本研究は、ヒトを対象として、懸垂型移動行動であるブラキエーション時の体幹・下肢筋の働きを運動学および筋電図学的に分析し、移動動作全般における推進と姿勢の調節機序の一端を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では3つの実験を行った。実験1では、ブラキエーション動作時における体幹筋の筋活動を解析した。実験2では、ブラキエーション動作時の下肢の関節運動と筋活動を解析した。また、ストライド長の大きさによって身体質量中心の動きが異なると考えられるので、実験3として、ブラキエーション時における身体質量中心の動きをストライド長の異なる試行間で比較した。

すべての実験において、ブラキエーション動作は、実験室内に設置した雲梯(グリップ直径2.8 cm、グリップ間隔30 cm、全長3 m、有限会社智寛)を支持基体として実施した。

なお、すべての実験は、本学の研究倫理審査委員会の承認を受け、実験参加者への説明と同意のもとに行われた。

実験1: 体幹筋の筋活動

健康成人8名(男性6名、女性2名)を対象に、両側の脊柱起立筋に表面電極を貼付し、ストライド長60 cmのブラキエーションを行う際の体幹筋活動を、表面筋電図計P-EMG plus(追坂電子機器)で記録した。

ブラキエーション1周期における筋活動(各実験参加者1-4試行の計18試行)を解析対象とした。筋電データは、ハイパスフィルタ(遮断周波数20Hz)、全波整流、ローパスフィルタ(遮断周波数500Hz)で処理した。

ブラキエーション1周期(左手接地から次の左手接地まで)を、両手支持期(1)、左片手支持期、両手支持期(2)、右片手支持期の4相に分け、相ごとに、動作時の脊柱起立筋の筋活動量(時間あたりの平均値)を静止立位時の平均筋活動量で除した相対的筋活動量を求めた。各相の相対的筋活動量をFriedman検定および下位検定(Scheffe法)で比較した。有意水準は5%とした。

実験2: 下肢の関節運動と筋活動

成人男性9名を対象に、体幹・下肢の主要関節点に赤外線反射マーカを貼付し、赤外線検出式三次元運動解析装置MAC3D System(Motion Analysis)を用いて、ブラキエーション時の股関節および膝関節の三次元角度変化を計測した。

さらに、表面筋電図計P-EMG plus(追坂電子機器)で、下肢筋(大殿筋、大腿二頭筋、大腿直筋、内側広筋)の筋活動を記録した。得られた筋電図にバンドパスフィルタ(20-500Hz)をかけて全波整流平滑化し、最大随意収縮時の筋活動に対する相対的筋活動量を求めた。

雲梯のグリップに右手がついてから、次に再び右手がつくまでをブラキエーション1周期とし、この1周期を両手支持期(1)、右片手支持期、両手支持期(2)、左片手支持期の4相に分けた。相ごとに実験参加者間の時間軸を揃え、4相それぞれにおける下肢関節角度と筋活動の平均値を求め、ブラキエーション時の下肢関節運動および下肢筋活動の特徴を定性的に評価した。

実験3: ストライド長の動作への影響

成人男性7名を対象に、全身の主要関節点に赤外線反射マーカを貼付し、ブラキエーション時の各マーカの運動を、赤外線検出式三次元運動解析装置MAC3D System(Motion Analysis)で計測し、身体質量中心の上下方向位置を推定した。

実験参加者は、ストライド長 60 cmと 120 cmの、2つの動作タイプのブラキエーションを行った。各動作タイプ 1 試行を分析対象とした。

実験 2 と同様にブラキエーション周期を定義し、1 周期を両手支持期(1)、右片手支持期、両手支持期(2)、左片手支持期の 4 相に分けた。相ごとに実験参加者間の時間軸を揃え、身体質量中心運動の平均値を動作タイプ間で比較した。

4. 研究成果

実験 1 の成果

左側の脊柱起立筋の相対的筋活動量は、両手支持期(1)より左片手支持期に有意に大きく ($p<0.01$) また、両手支持期(2)より左片手支持期に有意に大きかった ($p<0.05$)。右側の脊柱起立筋の相対的筋活動量は、両手支持期(2)より右片手支持期で有意に大きかった ($p<0.05$) (図 1)。

すなわち、ブラキエーション時の脊柱起立筋は、同側手での片手支持期に活動が増加し、両手支持期に活動が減少するといった規則的な活動を示した。脊柱起立筋は、同側手での懸垂時に体幹傾斜を引きとめ、体肢の振り出しに備えて体幹を固定させていると考えられる。

ブラキエーション時の脊柱起立筋の活動は、二足歩行時のような予測的・瞬発的な筋活動ではなかった。しかし、ブラキエーションのような非日常的なロコモーション時においても、体幹筋活動が外力に応じて適切なタイミングで生じることで、連続した動作が達成されるということが示唆された。

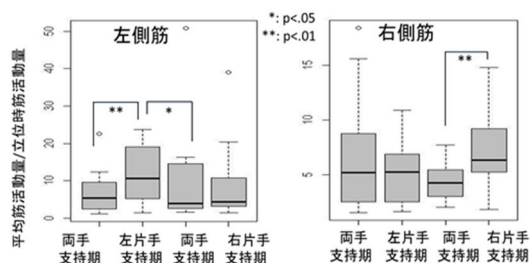


図 1: ブラキエーション時の脊柱起立筋の活動

実験 2 の成果

ブラキエーション時の股関節の三次元角度は、右側は右片手支持期後半に屈曲し始め、左片手支持期に伸展した。左側は左片手支持期後半に屈曲し始め、右片手支持期に伸展した (図 2)。この、両側の下肢関節を交互に屈曲、伸展させる規則的な運動は、足踏み動作時に類似した動きであった。膝関節角度の変化パターンについては、同側の股関節とほぼ同パターンであった。膝関節は股関節運動に伴って受動的に動いていた可能性が考えられる。

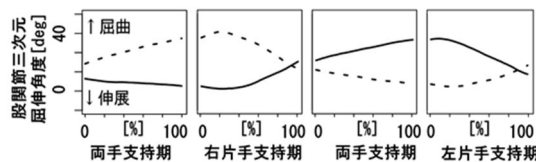


図 2: ブラキエーション時の股関節角度変化
実線: 右股関節角度 点線: 左股関節角度

テナガザルのブラキエーションは、支持基体に懸垂する手を支点とした、全身の上下動を伴う身体質量中心の振り子運動として説明される。ブラキエーション時の股・膝関節は、身体が上行するときに屈曲し、下行するときに伸展するように両側が同時に動く、下肢質量を持ち上げることができて全身の振り子運動の効率が良いと考えられる (Fleagle, Nature 248 (1974))。しかし、本実験では、片側の下肢関節が屈曲するときに対側の下肢関節が伸展していたことから、両下肢全体の質量の上下方向運動が全身の振り子運動を補助する働きは小さいことが示唆された。

下肢筋活動のパターンと大きさについては、いずれの筋においても個人差があり、下肢の関節角度と筋活動の対応は明瞭ではなかった。

ブラキエーションのような非日常的なロコモーションにおいても、規則的な下肢関節運動がパターン化されていると考えられた。下肢筋活動タイミングが個人ごとに不規則であったことは、筋力等の要素が個々で異なるため、規則的な下肢関節運動を実現するための筋出力が一見不規則になると考えられた。

下肢関節は、規則的なタイミングで屈曲・伸展したが、身体質量中心の上下動・振り子運動を補助するとは考えにくい運動であった。この点については、今後、上肢運動も含めた全身の協調運動という点から解析を深める必要があると考える。

実験 3 の成果

ストライド長の異なるブラキエーションで、身体質量中心の運動を比較した。ストライド長 60 cmのブラキエーションでは、身体質量中心は、両手支持期に下行し、片手支持期に上行した。左右方向では、両手支持期(1)から右片手支持期にかけて左方に、両手支持期(2)から左片手支持期にかけて右方に動く傾向が見られた (図 3)。

ストライド長 120 cmのブラキエーションは、身体質量中心が両手支持期に一度後退してから再び前進する試行(4 試行)と、両手支持期における後退が見られない試行(3 試行)に分かれた。身体質量中心の後退のない試行での運動の特徴は、ストライド長 60 cmの試行と類似していたので、ここでは身体質量中心の後退の生じたストライド長 120 cmの試行について述べる。

両手支持期に身体質量中心の一時的後退を伴うストライド長 120cm のブラキエーションでは、身体質量中心は片手支持期の前半に下行し、後半に上行する傾向を示した。左右方向では、両手支持期(1)から右片手支持期にかけて右方へ、両手支持期(2)から左片手支持期にかけて左方へと動いた。

身体質量中心は、重力により受動的に動くならば、上下方向では片手支持期において振り子様に動き、左右方向では支持手の側へ移行すると考えられる。しかし、ストライド長 60 cmのブラキエーションの身体質量中心は、上下・左右方向とも、そのような動きを示さなかった。ストライド長が短いと、片手支持期に身体の振り子様運動が生じても、上下運動の幅が小さく、運動効率に貢献できないため、両手支持期に下行した身体の運動量や下肢運動を利用して、片手支持期に身体質量中心を上方に保ち、手のリーチ距離が短くなるように試みていた可能性が考えられる。

一方、両手支持期に身体の後退を伴うストライド長 120cm のブラキエーションでは、身体質量中心は、片手支持期に振り子様運動を示し、左右方向においては支持手側に移行した。これは、テナガザルのブラキエーションで知られている状態と類似しており、相対的に力学的損失の少ない振り子様運動となっていると考えられた。

本研究から、ヒトのブラキエーションでは、体幹筋が身体位置に応じて左右交代性に活動すること、下肢関節が規則的なパタンで動くこと、身体質量中心の上下方向変位はストライド長が長い場合と短い場合とで異なるパタンに分かれることが示された。ヒトが日常的に行わないロコモーションにおいても、移動が円滑になされるように、体幹や下肢の活動が外力に応じて適切に姿勢安定と推進を補助するということが示唆された。本研究では、児童のブラキエーションの運動データも取得しており、現在解析を進行中である。

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 2 件)

岡健司、小峯武陞、ヒトにおける腕渡り動作の三次元運動解析の試み、大阪河崎、リハビリテーション大学紀要、査読有、13 巻、2019 年、55-61 頁

岡健司、テナガザルとヒトのブラキエーション、バイオメカニズム学会誌、査読無、44 巻 2 号、2020 年、84-89 頁

〔学会発表〕(計 4 件)

岡健司・小峯武陞 ロコモーション時における上肢運動の解析 第 38 回バイオメカニズム学術講演会 2017 年

岡健司・小峯武陞 ヒトの懸垂型ロコモーション時における体幹筋の活動 第 72 回日本人類学会大会 2018 年

岡健司・小峯武陞 ステップ長の異なるヒト腕渡り動作の比較 第 73 回日本人類学会大会 2019 年

岡健司・小峯武陞 ヒト腕渡り動作における下肢・体幹の運動解析 第 40 回バイオメカニズム学術講演会 2019 年

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

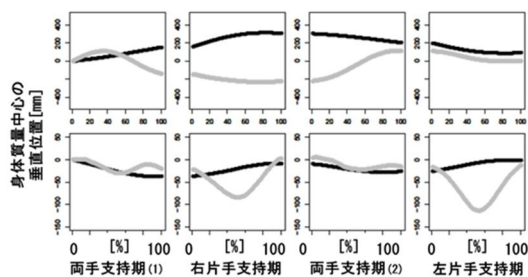


図3: 身体質量中心の位置変化。
上図が左右方向変位、下図が上下方向変位。運動周期の開始時点の座標を原点とする。黒色: ストライド長60cm、灰色: ストライド長120cm (両手支持期に身体質量中心の一時的後退を伴う試行)

番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡 健司 (OKA, Kenji)

大阪河崎リハビリテーション大学・リハビリテーション学部・講師

研究者番号：70629633

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

小峯 武隆 (KOMATSU, Takenori)

大阪河崎リハビリテーション大学・リハビリテーション学部・准教授

研究者番号：70441152

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 岡健司, 小姿武陸	4. 巻 13
2. 論文標題 ヒトにおける腕渡り動作の三次元運動解析の試み	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 大阪河崎リハビリテーション大学紀要	6. 最初と最後の頁 55-61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 岡健司	4. 巻 44(2)
2. 論文標題 テナガザルとヒトのブラキエーション	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 バイオメカニズム学会誌	6. 最初と最後の頁 84-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岡健司, 小姿武陸
2. 発表標題 ロコモーション時における上肢運動の解析
3. 学会等名 第38回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡健司, 小姿武陸
2. 発表標題 ヒトの懸垂型ロコモーション時における体幹筋の活動
3. 学会等名 第72回日本人類学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡健司、小忒武陸
2. 発表標題 ステップ長の異なるヒト腕渡り動作の比較
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 岡健司、小忒武陸
2. 発表標題 ヒト腕渡り動作における下肢・体幹の運動解析
3. 学会等名 第40回バイオメカニズム学術講演会
4. 発表年 2019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
研究協力者	小忒 武陸 (Komatsu Takenori) (70441152)	大阪河崎リハビリテーション大学・リハビリテーション学部・准教授 (34447)	