

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：33918

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K17872

研究課題名（和文）運動制御における重力利用の検証

研究課題名（英文）Utilization of gravity for motor control

研究代表者

山本 真史（YAMAMOTO, Shinji）

日本福祉大学・スポーツ科学部・助教

研究者番号：40736526

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：日常生活において、重力は私たちの身体を常に鉛直下方向に牽引する。そのため、重力が身体を牽引することを私たちは考慮して運動を制御しなければならない。鉛直方向への上肢運動を対象としたこれまでの研究は、脳が重力の作用をうまく利用して運動制御することを示唆している。本研究では、これまでの知見を拡張して、鉛直方向への上肢運動における重力利用の特性が、運動方向および運動速度に応じるかについて行動学的および生理学的アプローチから検証した。研究の結果、鉛直方向への上肢運動において、重力利用の特性が運動方向および運動速度に応じ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

本研究の結果は、鉛直方向への上肢運動において、重力を利用する特性が運動方向および運動速度に応じることが示唆するものであった。重力を利用した運動制御は、例えば筋収縮に伴うエネルギーコストを抑制し、長時間の高い運動パフォーマンスを可能にし得る。そのため、スポーツにおける運動パフォーマンス向上の試金石になり得るものと考えられ、本研究の知見は運動制御における重力利用の有用性を検証するための一助になる。

研究成果の概要（英文）：In our daily lives, gravity pulls our bodies downward. Therefore, we need to control the movement taking into account the effect of gravity. The previous studies for vertical arm movement suggest that the brain controls the movement taking advantage of the effect of gravity. In the present study, I investigated whether the utilization of gravity for vertical arm movement depends on movement direction and velocity from behavioral and physiological perspectives. The results suggest the direction- and velocity-dependent utilizations of gravity for vertical arm movement.

研究分野：スポーツ心理学

キーワード：重力 運動制御 筋活動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

スポーツ場面におけるアスリートの精巧な運動に限らず、日常生活場面における私たちの様々な運動において、重力は私たちの身体を鉛直下方向に牽引する。そのため、重力が身体を牽引することを私たちは常に考慮して運動を制御しなければならない。例えば、机の上にあるコーヒーカップに手を伸ばす時も、私たちは上肢に働く重力の牽引作用を考慮して運動を制御しなければならないが、私たちは特別な苦勞もなくコーヒーカップに手を伸ばすことができる。このことは、私たちの脳が身体に働く重力の作用を考慮して運動を制御できていることに他ならない。

これまでの研究から、重力の機能的な作用の異なる鉛直上方向と下方向への上肢運動において、それぞれ減速局面および加速局面で重力の作用が利用されることが示唆されている。しかしながら、この鉛直方向への上肢運動における重力利用について、その利用特性が運動方向や運動速度に依存するかを検証した研究は十分無く、本研究ではこの点に着目し、行動学および生理学的アプローチから検証を行うこととした。

2. 研究の目的

鉛直方向への上肢運動を対象としたこれまでの研究は、鉛直上方向への運動では減速局面が長くなり、鉛直下方向への運動では加速局面が長くなるというキネマティクスの方角特異的なデータを示し、脳が重力の力学的な作用を活かして鉛直方向への運動を制御していることを示唆してきた。本研究では、これまでの研究で得られてきた知見を拡張して、鉛直方向への上肢運動における重力利用の特性が、運動方向および運動速度に依存するかについて、行動学および生理学的アプローチを組み合わせることで検証することを目的とした。

3. 研究の方法

鉛直方向への上肢運動における重力利用の特性が、運動方向および運動速度に特異的であることを検証するために、実験参加者は鉛直上方向および下方向への上肢到達運動を3種類の運動速度(高速、中速および低速)で遂行した。各条件(運動方向2条件および運動速度3条件の計6条件)につき、実験参加者は12回の到達運動を実施した。なお、実験参加者の上肢にモーションキャプチャ用の反射マーカを貼付し、鉛直方向への上肢運動の様子を記録・分析した。また、鉛直方向への上肢運動に伴う筋活動も測定・分析を行った。なお、筋活動の分析においては、Gaveau et al. (2019)を参考に、表面筋電データを phasic 成分と tonic 成分に分離した。後述する筋活動のデータは、phasic 成分に基づくものである。

4. 研究成果

実験の結果、上肢のキネマティクスおよび筋活動が、運動方向および運動速度に特異的であることが確認された。図1左は、鉛直上方向へ高速で到達運動を実行した時の肩関節の角速度、および三角筋前部の活動の一例を示している。同様に、図1右は鉛直下方向へ高速で到達運動を実行した時の肩関節の角速度、および三角筋前部の活動の一例を示している。

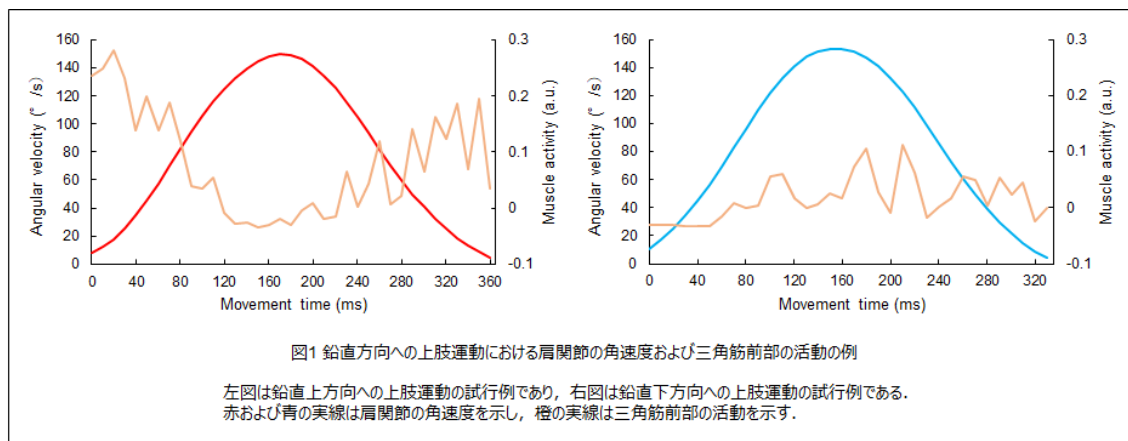


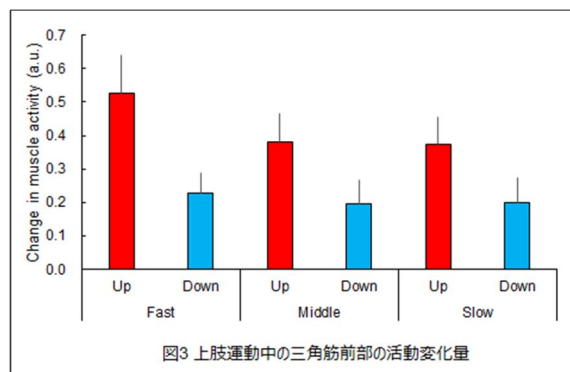
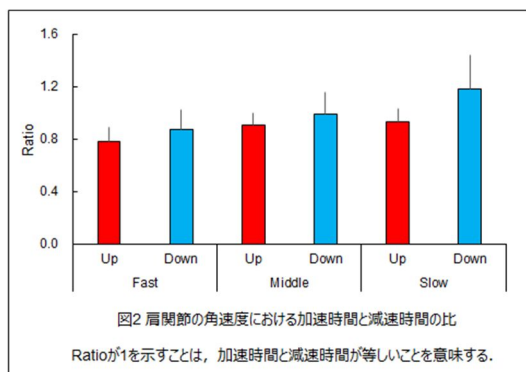
図1 鉛直方向への上肢運動における肩関節の角速度および三角筋前部の活動の例

左図は鉛直上方向への上肢運動の試行例であり、右図は鉛直下方向への上肢運動の試行例である。
赤および青の実線は肩関節の角速度を示し、橙の実線は三角筋前部の活動を示す。

角速度曲線において、運動開始から最大角速度までの時間は加速時間(加速局面の時間)に相当し、また最大角速度から運動終了までの時間は減速時間(減速局面の時間)に相当する。これら加速時間と減速時間の比を求めることで、各条件における角速度の曲線形状の特性を示すことができる。図2は、各条件における加速時間と減速時間の比を示している。統計分析の結果、運動方向間(傾向)および運動速度間の相違(高速と中速条件間、および高速と低速条件間の差異)が確認された。鉛直上方向への運動では減速時間が長く、鉛直下方向への運動では加速時間が長いことを示しており、これらはこれまでの種々の先行研究と同様の結果である(例えば、Yamamoto and Kushiro 2014 *Exp Brain Res*)。

上述のように、図1は各運動方向における肩関節の角速度および三角筋前部の活動の例を示しているが、それらは運動方向に特異性が存在することを示唆している。上肢運動中の三角筋前

部の活動最小値を算出したところ、運動方向および運動速度すべての条件において負の値を示した。これら負の値は、三角筋前部で発揮される力が、重力補償のために必要な力よりも小さいことを示しており、鉛直方向への運動において重力が利用されていることを示唆するものである (cf. Gaveau et al. 2019 *bioRxiv*)。また、この最小値を迎えるタイミングを算出した結果、全ての運動速度条件において、鉛直下方向に比べて鉛直上方向への運動でタイミングが遅いことが確認された。この結果は、上述の運動方向間での異なる角速度曲線に対応するものと考えられる。なお、各運動方向において、運動速度間でタイミングが異なることも確認された。



また、上肢運動中の筋活動における最大値および最小値の差分を活動変化量として定量化したところ、三角筋前部において、全ての運動速度条件で、鉛直下方向に比べて鉛直上方向への運動で変化量大きいことが確認された (図 3)。また、各運動方向において、低速および中速に比べて高速条件で変化量大きいことも確認された。三角筋前部と同じく抗重力筋である上腕二頭筋でも同様の分析を行った結果、高速条件において、鉛直下方向に比べて鉛直上方向で変化量大きいことが確認された。さらに、鉛直上方向への運動において、低速および中速に比べて高速条件で変化量大きいことも確認された。このような上肢運動中の筋活動の変化は、筋活動が相対的に小さくなる局面が存在することを示唆しており、鉛直方向への上肢運動において、重力利用の特性が運動方向および運動速度に応じることを補足するものと考えられる。

本研究の結果は、重力利用の特性が運動方向および運動速度に応じることを示唆しているが、三角筋前部および上腕二頭筋はそれぞれ鉛直方向への上肢運動の発現に寄与する一要素であり、他の筋での分析・検証をさらに進める必要がある。

< 引用文献 >

- Gaveau, J., Grospretre, S., Angelaki, D., and Papaxanthis, C. (2019) A cross-species neural integration of gravity for motor optimisation. *bioRxiv* 728857.
 Yamamoto, S., and Kushiuro, K. (2014) Direction-dependent differences in temporal kinematics for vertical prehension movements. *Exp Brain Res* 232, 703-711.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 山本真史	4. 巻 84
2. 論文標題 重力と運動制御	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 心理学ワールド	6. 最初と最後の頁 9, 12
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山本真史, 久代恵介, 荒木雅信
2. 発表標題 鉛直方向への上肢運動制御における生理学的機序
3. 学会等名 第15回「空間認知と運動制御」研究会学術集会（誌上開催）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

山本真史, 巧みに動きを制御すること, 2019年度神戸学院大学心理学部学術講演会（招待講演）, 2019

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
---------------------------	-----------------------	----