

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：34411

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26882053

研究課題名(和文)重力作用を考慮した運動制御の中枢メカニズム解明

研究課題名(英文)Mechanism of motor control by accounting for the gravitational effect

研究代表者

山本 真史(YAMAMOTO, Shinji)

大阪体育大学・体育学部・助手

研究者番号：40736526

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：地上において、重力はヒトの身体を鉛直下方向に牽引する。それゆえ、ヒトが目的とする運動を達成するためには、中枢神経系は運動中に身体に働く重力の作用を考慮して運動を制御する必要がある。本研究はその機序の一端を明らかにすることを目的とした。鉛直上方向および下方向への上肢ポインティング運動を対象に研究を行った結果、中枢神経系は、運動方向および運動局面に応じて、上肢に働く重力作用を考慮して上肢運動を制御していることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Since gravity pulls the body downward, in order to execute a movement, the central nervous system (CNS) has to control the movement while taking into account the gravitational effect on the body. The present study tries to elucidate the underlying mechanism by studying vertical pointing movements. Our results suggest that the CNS controls the movement by taking into account the gravitational effect according to direction and phase of the movement.

研究分野：身体教育学

キーワード：重力 運動制御

1. 研究開始当初の背景

日常生活において、ヒトは目的とする様々な運動を概ね達成することができる。地上には身体を鉛直下方向に牽引する重力が存在する。重力は、鉛直上方向への運動を減速させる一方で、下方向への運動を加速させる。それゆえ、ヒトが目的とする運動を達成するためには、運動中に身体に働く重力の作用を中枢神経系が適切に考慮して運動を制御する必要がある。

このような中枢神経系による身体に働く重力作用の考慮について、先行研究は鉛直上方向（抗重力）および鉛直下方向（沿重力）への上肢指差し（ポインティング）運動を対象に進められてきた（e.g. Gaveau and Papaxanthis 2011 *PLoS One*; Gaveau et al. 2014 *J Neurophysiol*）。本研究もまた先行研究と同様に、鉛直上方向および鉛直下方向への上肢ポインティング運動を対象とし、運動中に上肢に働く重力の作用を中枢神経系がどのように考慮しているのか、その機序を種々の観点から解明することを大きな目的としていた。

2. 研究の目的

上述のように、ヒトが地上で目的とする運動を達成するためには、中枢神経系が運動中に身体に働く重力の作用を適切に考慮する必要がある。これまでの先行研究は、鉛直上方向および下方向への上肢ポインティング運動を対象としてきた。

本研究もまた、同様の上肢ポインティング運動を研究対象とした。このような鉛直方向への上肢ポインティング運動（単関節運動）は、関節トルクおよび重力トルクによって運動学的特性（キネマティクス）が生成されているものと考えられる。それゆえ、それら関節トルクおよび重力トルクが生成するキネマティクスの様相を調べることで、中枢神経系がどのように上肢に働く重力の作用を考慮して運動を制御しているのか、その制御機序の一端を明らかにする目的で研究を遂行した。

また、先行研究は鉛直上方向および下方向への上肢ポインティング運動のキネマティクスが運動方向に特異的であることを示している（e.g. Gaveau and Papaxanthis 2011 *PLoS One*; Gaveau et al. 2014 *J Neurophysiol*）。このような鉛直方向への上肢ポインティング運動における方向特異性はどのような機序で引き起こされているのか。この解明を通して、鉛直上方向および下方向への上肢ポインティング運動における中枢制御機序のさらなる理解を試みる目的で研究を遂行した。

3. 研究の方法

鉛直上方向および下方向への上肢ポインティング運動（肩関節まわりの運動）を実験参加者に遂行させた。実験参加者の上肢に反射マーカーを貼付し、マーカーの経時的な位置座標を、光学式動作計測システム（OptiTrack）を用いて、サンプリング周波数 100Hz で取得した。取得した位置座標に基づき、上肢のキネマティクス（角加速度など）を算出した。その後、逆動力学計算を用いて、関節トルクおよび重力トルクを算出した。さらに、順動力学計算を行い、関節トルク、重力トルクおよび正味のトルク（関節トルクと重力トルク）それぞれが生成する上肢のキネマティクス（角加速度）を算出し、鉛直上方向と下方向との間で比較を行った。

4. 研究成果

実験の結果、鉛直上方向へのポインティング運動における減速局面、および下方向へのポインティング運動における加速局面では、重力トルクにより生成された角加速度が、関節トルクにより生成された角加速度よりも、正味のトルクに由来する角加速度（角変位を2階微分して得られた実測としての角加速度に類似）の生成に優位に寄与していることが明らかとなった（図1）。

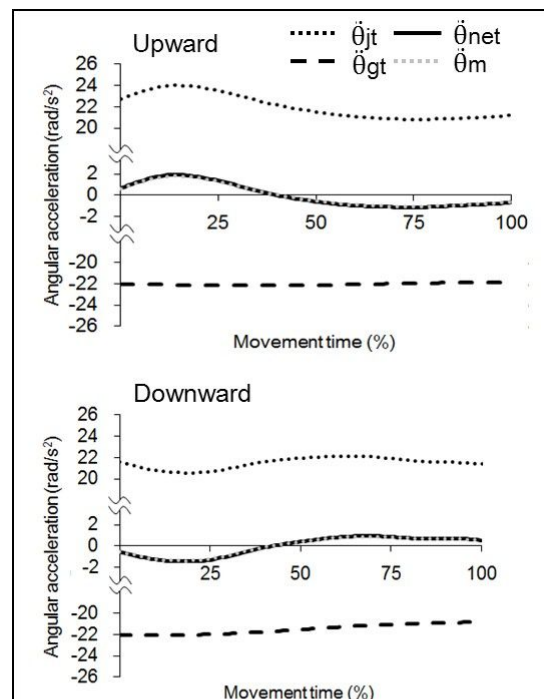


図1 鉛直上方向および下方向へのポインティング運動における角加速度
 $\ddot{\theta}_{jt}$ 、 $\ddot{\theta}_{gt}$ 、 $\ddot{\theta}_{net}$ はそれぞれ関節トルク、重力トルクおよび正味のトルクが生成した角加速度であり、 $\ddot{\theta}_m$ は角変位を2階微分して得られた実測としての角加速度である。

先行研究 (e.g. Gaveau and Papaxanthis 2011 *PLoS One*; Gaveau et al. 2014 *J Neurophysiol*) で認められているキネマティクスの鉛直上下方向間の相違は、本研究でも同様に確認された。図2は、正味のトルクが生成した角加速度の最大値、および角変位の2階微分を通して得られた(実測値としての)角加速度の最大値を示している。先行研究と同様に、鉛直上方向へのポインティング運動における角加速度は、下方向への運動における角加速度に比べて、大きな値を示し、鉛直上方向と下方向間のキネマティクスの相違を示している。

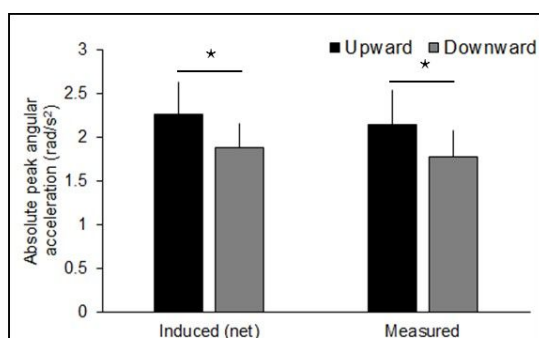


図2 鉛直上方向および下方向へのポインティング運動における角加速度の最大値
Induced (net) は正味のトルクが生成した角加速度の最大値であり、Measuredは角変位を2階微分することで得られた角加速度の最大値を示す。
(*: $p < 0.05$)

さらに、このようなキネマティクスの鉛直上下方向間の相違が引き起こされる機序を調べるために、関節トルクが生成する角加速度プロファイルに着目した。運動開始前の準備局面における角加速度に対して、正味のトルクに由来する角加速度の最大値の発生時点における角加速度を Gain として算出し、鉛直上下方向間の比較を行った。その結果、鉛直上方向への上肢ポインティング運動における Gain は、下方向へのポインティング運動における Gain に比べて、大きな値であることが確認された(図3)。この結果は、正味のトルクに由来する角加速度プロファイル(角変位の2階微分を通して得られた実測としての角加速度プロファイルに類似)における鉛直上下方向間の相違が、主に関節トルクが生成する角加速度プロファイルの鉛直上下方向間の相違に起因することを示唆するものである。

以上の研究の結果から、中枢神経系は、運動方向および運動局面に応じて、上肢に働く重力作用を考慮して上肢運動を制御していることが示唆された。また、先行研究で報告されている鉛直上下方向間のキネマティクス(角加速度など)の相違が、関節トルクに由来するキネマティクスの鉛直上下方向間

の相違に、主として起因することも明らかとなった。これらの知見は、鉛直上方向および下方向への上肢ポインティング運動において、中枢神経系が、上肢に働く重力の作用を考慮して運動を制御する中枢機序の一端を明らかにするものである。

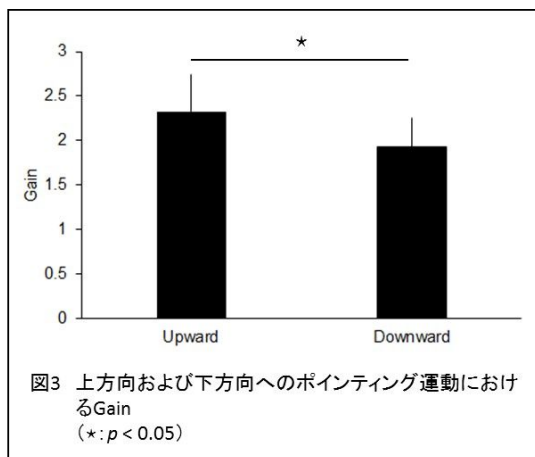


図3 上方向および下方向へのポインティング運動におけるGain
(*: $p < 0.05$)

身体に働く重力作用を考慮した運動制御機序に関する本研究知見はまた、上肢運動だけではなく、全身性の起立・着座動作をはじめとする身体運動制御全般において、有用となり得る知見を与えるものと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

山本真史、實宝希祥、久代恵介、荒木雅信：上肢運動の生成に対する重力の寄与—誘起加速度解析を用いた鉛直方向への上肢運動研究—、日本スポーツ心理学会第42回大会、2015年11月23日、九州共立大学(福岡県北九州市)

山本真史、藤井慶輔、實宝希祥、久代恵介、荒木雅信：角加速度に着目した鉛直方向への上肢運動解析、平成26年度JAXA宇宙環境利用科学委員会第10回「宇宙環境へ適応するための感覚—運動ゲインコントロール」についての研究チーム(RT)会合、2015年3月6日、倉敷中央病院総合保健管理センター(岡山県倉敷市)

〔図書〕(計 1 件)

山本真史、久代恵介 他、化学同人、運動生理学第3版、2014年、97-104頁

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

山本 真史 (YAMAMOTO Shinji)

大阪体育大学・体育学部・助手

研究者番号：40736526