

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26882015

研究課題名(和文) 立位姿勢制御における感覚予測と実感覚入力の統合

研究課題名(英文) Integration of actual and predicted sensory information during quiet standing

研究代表者

進矢 正宏 (SHINYA, Masahiro)

東京大学・総合文化研究科・助教

研究者番号：90733452

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、姿勢制御における感覚予測の貢献を明らかとすることを目的として行った。仮想現実(VR)空間内での予測可能な周期的視覚外乱に対して、前方の壁が近づいてくると姿勢を前に倒すという応答が観察された。これは、自らが積極的に動くことによって運動と感覚との間の矛盾を解消する、という方略を示唆している。これらの結果は、2つの国際学会(ISPGR, SfN)で発表された。また、歩行中の外乱に対する姿勢制御では、外乱のタイミングが予測可能な際には、反射的姿勢制御活動の潜時が短縮することを示した。この成果は2016年2月に、Frontiers Human Neuroscience誌に掲載された。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the role of sensory prediction on postural control. Participants were exposed to predictable periodic visual perturbation in a virtual reality space. We observed that people leaned forward in response to expanding visual stimulation, suggesting that inconsistency between action and sensory information was resolved by actively changing the phase of their own motion. This was presented in two scientific conferences, ISPGR and SfN. We also investigated the role of prior knowledge on reflexive postural activities in response to the mechanical perturbation during walking. The reflex latency was shortened if participants had known when the perturbation would occur. This was published in Frontiers Human Neuroscience.

研究分野：身体運動科学

キーワード：立位姿勢制御 視覚外乱 引き込み現象

1. 研究開始当初の背景

静止立位中あるいは歩行中の姿勢制御活動は本質的に閉回路システムであり、リアルタイムの感覚入力を処理して現在の運動コマンドが決定されていると考えられている。このような閉回路システムのメカニズムを明らかにするためには、姿勢制御中に外乱を与え、その外乱に対する応答を観察する必要がある。本研究では、リアルタイムの感覚入力に加えて、感覚予測の役割を示すことを特色としている。すなわち、与えられる外乱の振幅やタイミングなどの情報を事前に知っていることが姿勢制御においてどのような役割を果たすかを明らかにする。

運動制御のシステムが感覚予測と実感覚入力を統合していることは、サッケードやリーチングなどを対象とした研究で明らかになっており、姿勢制御系も同様であると予想される。姿勢制御において感覚予測が重要な役割を果たすことが示せれば、全身運動制御研究の新たな理論的フレームワークを提唱するととなり、スポーツ動作や、原因不明のめまいや乗り物酔いなどの症状が生じるメカニズムの研究にも応用が期待されるため、専門的・学術的な意義のみならず社会的意義も大きな研究であると考えられる。

2. 研究の目的

立位姿勢制御および、歩行中の外乱に対する反射的姿勢制御において、リアルタイムの感覚入力に加えて、感覚予測が貢献していることを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 立位姿勢中の感覚予測の役割を調べるため、周期的視覚外乱が立位姿勢制御に与える影響を調べる実験を行った。被験者は、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を装着し、仮想現実(VR)空間での静止立位を行った(図1)。被験者の頭部に貼付した反射マーカーをモーションキャプチャシステムでトラッキングすることで、頭部の位置と向きを測定し、リアルタイムでVR空間内の視点に反映した。予測可能な視覚外乱としてVR空間内での視点を、前後方向に周期的に振動させる。視覚外乱の周期は、姿勢動揺の固有振動数に近い0.2 Hzとした。

(2) 歩行中の外乱に対する姿勢制御活動における感覚予測の役割を調べるため、健康成人男性11名を被験者とし、トレッドミル歩行中の外乱に対する反射的筋活動を計測する実験を行った(図2)。トレッドミル歩行中に右側のベルトを着地直後に急加減速させることによって外乱とした。被験者に外乱の方向(加速あるいは減速)あるいは外乱のタイミング(3歩前からピープ音で警告)の事前知識を与えた。下肢筋群から表面筋電図を計測し、外乱に対する反射的筋応答の潜時を分析した。

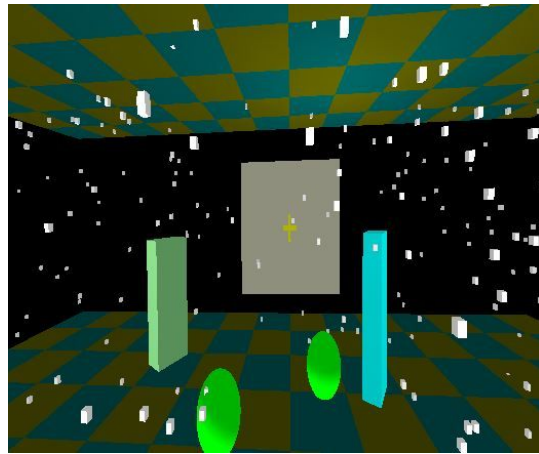
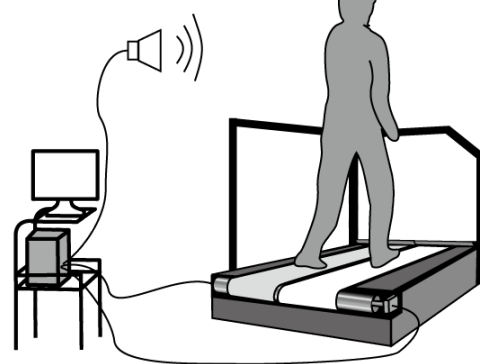


図1 仮想空間内での静止立位。この空間を映すカメラの位置を前後させることによって、予測可能な周期的視覚外乱を作成した。

ピープ音で外乱タイミングを教示



右足のベルトを加減速して二種類の外乱を誘発

図2 歩行中の外乱に対する姿勢制御活動を計測するための実験系。

4. 研究成果

(1) これまでの研究では、視覚的外乱が与えられると、それを自己運動の結果と解釈する錯覚(Vection)が生じ、それに対して、時間遅れを伴う同位相でのフィードバック的姿勢応答が観察されることが知られている。すなわち、前方の壁が近づいてくると、自分が前に倒れているという錯覚が生じ、それに対して姿勢を後方に倒す応答が観察される。本研究では、通常同位相での姿勢応答に加えて、特に外乱の振幅が大きい条件において、逆位相での姿勢応答が観察された(図3)。中枢神経系の働きとして、自信の運動結果に伴う感覚予測と、実感覚入力を統合する際に、その差が最小になるような制御が行われると考えられる。本研究で観察された逆位相の姿勢応答は、このような感覚運動統合の結果であると解釈される。すなわち、被験者はあるタイミングで前方へ倒れるかのような視覚入力が得られることが予測できる状況で、自らが積極的に前方に倒れることによって、運動と感覚との間の矛盾を解消する、という方略があり得る、ということが示された。これらの結果は、2つの国際学会(ISPGR, SfN)

で発表された。

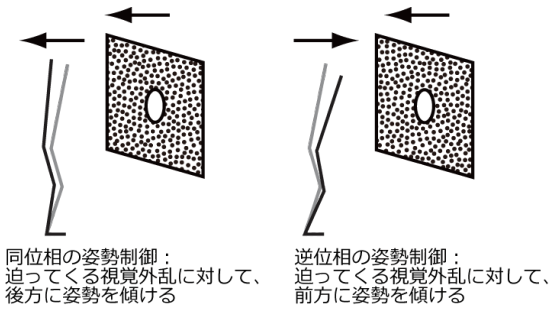


図3 予測可能な周期的視覚外乱に対して、同位相と逆位相、両方の姿勢制御活動が観察された。

(2) 歩行中いつ・どのような外乱が加えられるかを教示することにより、外乱に対する時間的・空間的事前知識を与えた上で、誘発される反射的筋活動を計測した。その結果、外乱のタイミングに関する事前知識を有していた場合、内側腓腹筋の筋活動開始までの時間が短縮する(タイミング知識なし: 72ms、タイミング知識あり: 57ms)ことが明らかとなった(図4)。外乱の方向に関する事前知識は、反射的筋応答の振幅には影響を与えたものの、潜時には影響を与えなかった。これまで、タスクに応じて反射的筋活動の振幅が変調されることは広く知られていたが、潜時が短縮するという報告は少なかった。以上のように、本研究は中・長潜時反射の驚くべき柔軟性を示すものであると言える。この成果は2016年2月に、Frontiers Human Neuroscience誌に掲載された。

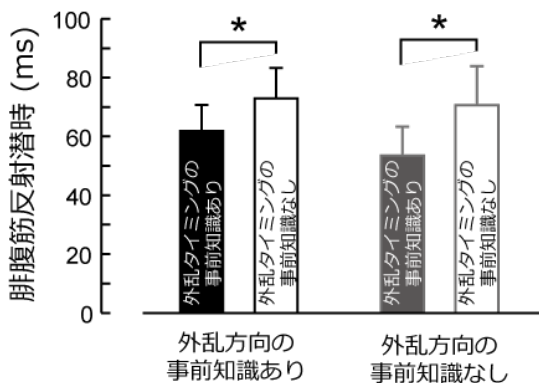


図4 歩行中の外乱に対する姿勢制御において、外乱のタイミングを事前に知っている場合、潜時が短縮した。Shinya et al. (Front. Human Neurosci. 2016より)

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4件)

Shinya M., Kawashima N. & Nakazawa K. Temporal, but not Directional, Prior Knowledge Shortens Muscle Reflex Latency in Response to Sudden

Transition of Support Surface During Walking. Front. Human Neurosci. 査読あり, 2016 Feb 8:10:29. doi: 10.3389/fnhum.2016.00029.

eCollection 2016.

Milosevic, M., Shinya, M., Masani, K., Patel, K. McConville, K.M.V., Nakazawa, K., and Popovic, M.R., Anticipation of timing and direction of perturbation modulates trunk muscle reflexes, Journal of Electromyography and Kinesiology, 査読あり, 2016 Feb 26:94-101. DOI: 10.1016/j.jelekin.2015.12.003

Pearson KG, Arbabzada N, Gramlich R, Shinya M. Leg mechanics contribute to establishing swing phase trajectories during memory-guided stepping movements in walking cats: a computational analysis. Front Comput Neurosci. 査読あり, 2015 Sep 24;9:116. doi: 10.3389/fncom.2015.00116.

eCollection 2015.

Ota K., Shinya M., & Kudo K. Motor planning under temporal uncertainty is suboptimal when the gain function is asymmetric. Front Comput Neurosci. 査読あり, 2015 Jul 15;9:88. doi: 10.3389/fncom.2015.00088.

eCollection 2015.

[学会発表](計4件)

進矢正宏・小室理沙・小林裕央・小幡博基・中澤公孝 「小学・中学・高校生野球選手のバッティング反応時間」 第66回日本体育学会 国士館大学(東京都世田谷区) 2015年8月25-27日

Shinya M., Komuro L, Kobayashi H, Obata H & Nakazawa K, "Batting and button-press reaction time in primary, junior high and high school baseball players", Jun-30 2015, Poitiers, France, The 33rd International Society of Biomechanics in Sports (ISBS2015) Shinya M., Susawa M, Nozaki D & Nakazawa K "Phase-relationship between periodic visual perturbation and postural sway", November-15 2014, Washington Convention Center, Washington DC, USA. Society for Neuroscience (SfN2014)

進矢正宏, 山本暁夫, 笹川俊, 船谷浩之, 柴田智広, 中澤公孝 「Kinectによる子どものバランス能力評価」 第69回日本体力医学会大会 長崎大学文教キャンパス(長崎県長崎市) 2014年9月19日

6 . 研究組織

(1)研究代表者

進矢 正宏 (SHINYA, Masahiro)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号 : 90733452