

令和 3 年 5 月 20 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04750

研究課題名(和文) 予測的姿勢制御活動の学習メカニズムの解明と機能的姿勢制御トレーニングの開発

研究課題名(英文) Investigation on motor learning mechanisms for anticipatory postural control and development of functional postural training

研究代表者

進矢 正宏 (Shinya, Masahiro)

広島大学・人間社会科学研究科(総)・准教授

研究者番号：90733452

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 20,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、さまざまな環境で運動を実行するための基盤である姿勢制御活動の学習メカニズムを明らかにすることであった。前方へ正確にステップする課題を用いた実験では、正確なステップが要求される際は、遅いステップ動作のための準備を行うとともに、予測的姿勢制御のばらつきも減少させるという制御が行われることが明らかとなった。障害物跨ぎ歩行実験では、跨ぎ越す足の鉛直クリアランスのみが制御対象となっているのではなく、複雑な環境を総体として捉え、安全な歩行戦略がとられるということが明らかとなった(Miura and Shinya, Gait and Posture, accepted)。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々が日常生活やスポーツ現場で行う運動は、複雑な環境下でさまざまな目的を持って行われる。従来の姿勢制御研究では、単純な実験系を用いられることが多かったのに対して、本研究では、複雑な障害物を跨いだり正確なステップをおこなったりといった、複雑な環境下での運動を対象として実験を行い、予測的姿勢制御活動とその学習機構の柔軟性の一端を明らかにした。これらの基礎研究の成果は、スポーツパフォーマンスの向上や、高齢者の転倒予防のための、科学的な姿勢制御トレーニングやリハビリテーション方法の開発に繋がるものと期待される。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to elucidate the learning mechanism of postural control, which is the basis for various voluntary movements. Our experiment using the task of accurately stepping forward revealed that when accurate stepping is required, the variability in the anticipatory postural adjustments was reduced. In the obstacle straddling experiment, it was found that not only the vertical clearance of the straddling foot was controlled, but also the complex environment was considered as a whole for the secure walking strategy (Miura and Shinya, Gait and Posture, accepted).

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：姿勢制御 予測的姿勢制御 障害物跨ぎ歩行 運動学習 モーションキャプチャ

1. 研究開始当初の背景

サッカーのシュートや野球の打撃などのアスリートの運動は、動作の目的として意識される意図的な運動 (focal movement) に先行して無意識的に行われる姿勢制御活動 (予測的姿勢制御活動: Anticipatory postural adjustment: APA) に支えられている。APA では自身の意識的な運動に伴って生じる外乱を予測し、外乱に応じた姿勢制御活動が行われる (reviewed in Horak, 2014)。申請者はこれまで、APA に関して、歩行中に外乱が予測された際には注意深い歩行戦略がとられること (Shinya and Oda, 2010)、ジャンプ後の着地に先行して生じる下肢の筋活動には注意資源が必要であること (Shinya et al., 2011)、股関節置換手術後の患者は、患者自身の運動能力に合わせた適切な APA が行われること (Tateuchi et al. 2011)、といったことを明らかにした。しかしながら、申請者の研究も含めた APA に関するこれまでの研究では、比較的単純な環境や動作を対象としており、多様な環境下で、様々な四肢の運動が実行可能となるのだが、どのような姿勢制御が行われるのか、それがどのように獲得されるのか、といったことは明らかになっていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、当初、新規に外乱装置を開発して実験を行う予定であったが、申請者の異動により、モーションキャプチャーやフォースプレートなどの姿勢制御研究に必要な実験装置を購入する必要に迫られたため、外乱装置の開発を断念した。また、助成期間 3,4 年目において、トレーニング実験を実施することを予定していたが、新型コロナウイルスの影響により当初の研究計画とは大幅な変更を余儀なくされた。

以上の研究計画の変更を踏まえて、本研究では、多様な環境やタスク制約の例として、正確性が求められる前方ステップと、変則的な形状をした障害物を跨ぎ越すという 2 つの運動課題を設定し、それぞれの環境に適応した姿勢制御が獲得されていく過程を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 正確性が求められる前方ステップ

健常成人男性 16 名を対象に、床面に貼付されたテープで指定された狭い領域にステップする課題 (図 1B) と、狭い台の上に乗って立位を維持する課題 (図 1C) を用いた実験を行った。床面上のターゲットにステップする課題では、被験者は、前方に設置された LED に反応して、できるだけ早くかつ正確にステップするよう教示された。ターゲットまでの距離は、被験者の身長長の 20% (Short) と 40% (Long) の 2 種類とし、ターゲットのサイズは、一辺 2 cm (Small) と 10 cm (Large) の正方形の 2 種類とした。各条件 40 試行ずつの計 160 試行を行った。モーションキャプチャーシステム (Qualisys 社製, 250 Hz) を用いて、三次元動作データを計測し、フォースプレート (Bertec 社製, 1000 Hz) 2 台を用いて、両足の床反力と足圧中心を計測した。APA における重心制御は、先行脚の離地時において、逆振り子モデル (図 1A) に基づいて重心速度を考慮して将来の重心位置として推定される extrapolated center of mass (xCoM) を用いて評価した。各条件における xCoM の位置と、そのばらつきを、二要因反復測定分散分析により比較した。より正確に重心の位置と速度を制御することが求められる課題として、狭い台の上に乗って立位を維持する課題を行った。台までの距離は、身長長の 40% とし、台の幅は、2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm の 4 条件 (以後, D2, D4, D6, D8 とする) とした。各条件 20 試行ずつの計 80 試行を行った。APA 終了時の xCoM を分析項目とし、一要因分散分析を行った。

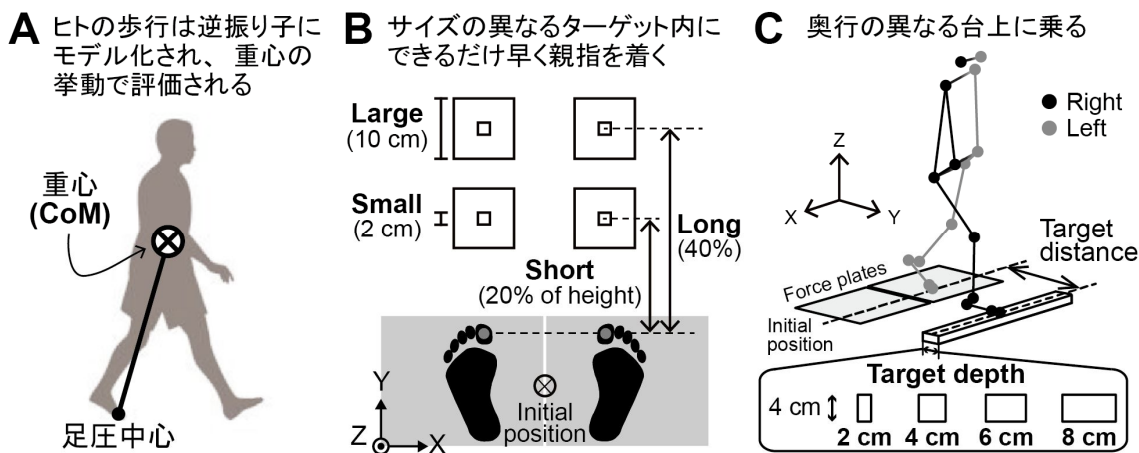


図 1. ヒトの歩行は逆振り子にモデル化され、ステップ開始までに要求される課題に応じた重心制御が必要である (A). 本研究では、床面上のターゲットに親指を合わせる課題 (B) と、狭い台の上に乗って立位を維持する課題 (C) を設定した.

(2) 不定形な障害物を乗り越える課題

健常成人 16 名を対象に、歩行中に障害物を跨ぐ課題を用いて実験を行った (図 2A)。高さが異なる 2 つのブロック (図 2B) を組み合わせることで、4 種類の障害物を作成した (図 2C)。各障害物を跨いで歩く試行を、20 試行連続で行った。障害物の順序は、被験者間でカウンターバランスをとった。つま先に貼ったマーカーの位置を、モーションキャプチャシステムによって計測した。足部軌跡は、障害物直上における、障害物とつま先との鉛直距離であるクリアランスを用いて評価した。20 試行を 5 試行ずつ 4 つのエポックに分け、各エポックにおけるクリアランスを、一要因分散分析を用いて各障害物条件間で比較した。

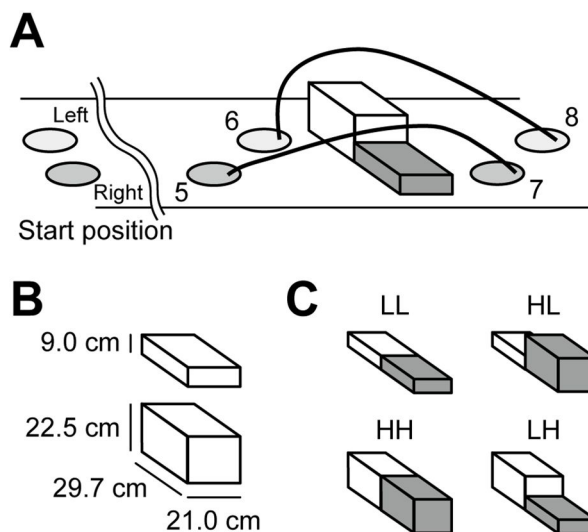


図 2. 被験者は右脚左脚の順に障害物を跨いだ (A)。高さの異なる 2 種類のブロック (B) を組み合わせ、複雑な形状の障害物を設けた (C)。

4. 研究成果

(1) 正確性が求められる前方ステップ

床面上のターゲットに親指を合わせる課題、狭い台の上に乗る課題、いずれの課題においても、APA 終了時の xCoM のばらつきは、より正確性が求められる条件では小さくなっていった (図 3, 4)。このことは、課題の要求に応じて、APA の段階で、正確性が制御されていることを示唆している。また、時系列データを分析したところ、このような姿勢制御は、学習過程のごく初期においても観察されたことから、新たに APA を学習したというよりは、これまでの生活における運動経験を通じて学習された姿勢制御方略が呼び出される、というような形で環境への適応が行われることが示唆された。

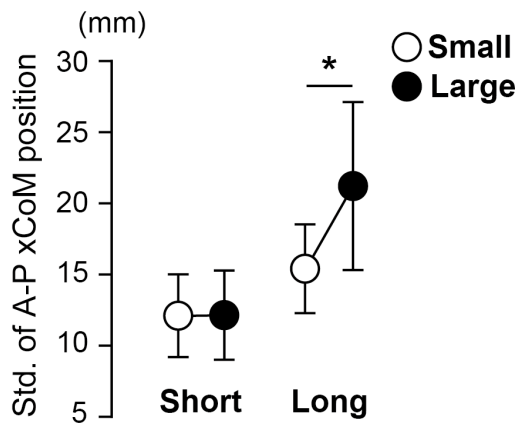


図3. 先行脚離地時の前後方向のxCoMの標準偏差はLongLarge条件よりLongSmall条件で小さかった。(*: $p < .05$)

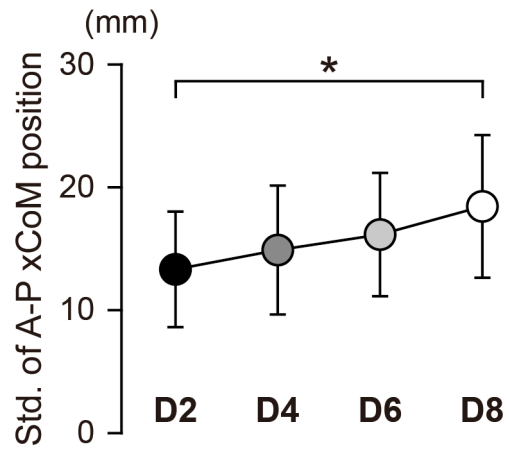


図4 先行脚離地時の前後方向のxCoMの標準偏差はD8条件よりD2条件で小さかった。(*: $p < .05$)

(2) 不定形な障害物を跨ぎ越す課題

図5に示す通り、LL条件とHL条件では、後続脚は異なる軌跡を描いた。これらの条件では、後続脚が越える障害物の高さは、共通して9.0 cmであり変わらないため、この軌跡の違いは、先行脚が跨ぐ障害物の高さの影響であると考えられる。同様に、先行脚の軌跡においても、後続脚が越える障害物の高さによる影響が観察された。これらの結果は、障害物跨ぎ動作の制御が、複雑な環境全体を認知した上で包括的に行われているということを示唆している (Miura and Shinya, Gait and Posture, accepted)。反対脚側の障害物の高さによる影響は、一度も練習を行っていない最初の試行から観察されたため、足部運動制御はトップダウン的に計画されたものと考えられる。一方で、試行を重ねるとともに、クリアランスは低下するという傾向が見られたことから、障害物へ接触しない限り、より楽をしようという方向へ、姿勢制御学習が進むという可能性が示唆された。

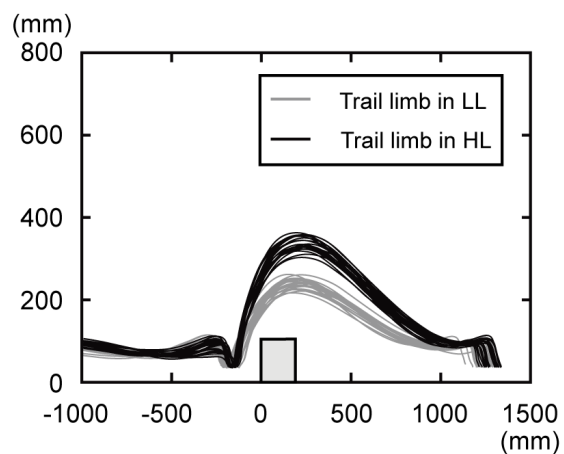


図5. 後続脚(左脚)が跨ぐ高さと同じであっても、後続脚の軌跡は先行脚(右脚)が跨ぐ高さの影響を受けた。

我々が日常生活やスポーツ現場で行う運動は、複雑な環境下でさまざまな目的を持って行われる。従来の姿勢制御研究では、単純な実験系を用いられることが多かったのに対して、本研究では、複雑な障害物を跨いだり正確なステップをおこなったりといった、複雑な環境下での運動を対象として実験を行い、予測的姿勢制御活動とその学習機構の柔軟性の一端を明らかにした。これらの基礎研究の成果は、スポーツパフォーマンスの向上や、高齢者の転倒予防のための、科学的な姿勢制御トレーニングやリハビリテーション方法の開発に繋がるものと期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Miura Y., Shinya M.	4. 巻 accepted
2. 論文標題 Foot clearance when crossing obstacles of different heights with the lead and trail limbs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Gait and Posture	6. 最初と最後の頁 -
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 Yamamoto K., Shinya M., Kudo K.	4. 巻 9
2. 論文標題 Asymmetric adaptability to temporal constraints among coordination patterns differentiated at early stages of learning in juggling.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Front Psychol.	6. 最初と最後の頁 807
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2018.00807	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 進矢正宏	4. 巻 22
2. 論文標題 運動のばらつきの定量とその意味	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 バイオメカニクス研究	6. 最初と最後の頁 125-130
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 -

1. 著者名 Yamamoto, H., Shinya, M., & Kudo, K.	4. 巻 6
2. 論文標題 Cognitive bias for the distribution of ball landing positions in amateur tennis players.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J Mot Behav.	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1080/00222895.2018.1440523.	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 -

1. 著者名 Kawamura K, Shinya M, Kobayashi H, Obata H, Kuwata M, Nakazawa K.	4. 巻 16
2. 論文標題 Baseball pitching accuracy: an examination of various parameters when evaluating pitch locations.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Sports Biomech.	6. 最初と最後の頁 399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/14763141.2017.1332236.	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 -

1. 著者名 Yokoyama H., Ogawa T., Kawashima N., Shinya M., & Nakazawa K.	4. 巻 29
2. 論文標題 Speed dependency in -motoneuron activity and locomotor modules in human locomotion: indirect evidence for phylogenetically conserved spinal circuits.	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc Biol Sci.	6. 最初と最後の頁 1851
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rspb.2017.0290.	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 -

1. 著者名 Okano M., Shinya M., & Kudo K.	4. 巻 9
2. 論文標題 Paired synchronous rhythmic finger tapping without an external timing cue shows greater speed increases relative to those for solo tapping	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Sci Rep.	6. 最初と最後の頁 43987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep43987.	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10件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 進矢正宏
2. 発表標題 ヒトの姿勢・歩行の神経制御
3. 学会等名 第23回日本基礎理学療法学会学術大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山田 浩貴、進矢 正宏
2. 発表標題 正確性およびスピードを要求されるステップの運動制御
3. 学会等名 第25回日本バイオメカニクス学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 進矢正宏
2. 発表標題 非利き手投球の学習初期における関節角度の再現性と協調性
3. 学会等名 第25回日本バイオメカニクス学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinya M., Ogawa N.
2. 発表標題 Improved coordination and reduced variability contribute to accurate overarm throwing at an early stage of learning
3. 学会等名 8th World Congress of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yamada H., Shinya M.
2. 発表標題 The effect of anteroposterior location of center of pressure during initial posture on the sidestep
3. 学会等名 8th World Congress of Biomechanics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 進矢正宏
2. 発表標題 ヒト姿勢制御における予測の役割
3. 学会等名 ヒューマンロコモーション評議会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 進矢正宏
2. 発表標題 姿勢制御における予測の役割
3. 学会等名 姿勢と歩行研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinya M., Takiyama K., Sakurada T., Muramatsu S., Ogihara S., Sato T., Komatsu T.
2. 発表標題 Application of Portable Motor learning Laboratory (PoMLab): cross-syndrome comparison of implicit visuomotor adaptation among patients with stroke and Parkinson's disease.
3. 学会等名 Society for Neuroscience（国際学会）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 進矢正宏
2. 発表標題 投手はどこを狙って投げるべきか 投球誤差分布を考慮に入れたシミュレーション
3. 学会等名 第5回野球科学研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小川夏弥、進矢正宏
2. 発表標題 投球の学習における関節間協調の変化
3. 学会等名 第5回野球科学研究会
4. 発表年 2017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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関