

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：32702

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18191

研究課題名(和文) 動的身体適応力の向上に有効なトレーニング要素の解明

研究課題名(英文) Effective factors of training for dynamic embodied adaptability

研究代表者

児玉 謙太郎 (Kodama, Kentaro)

神奈川大学・経済学部・准教授

研究者番号：20734411

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、動的身体適応力の向上に有効なトレーニング要素を解明することを目的とした。そこで、若年健康者を実験群(支持面が全方向に動揺するスラックラインを用いたトレーニング)と、統制群(姿勢動揺方向が限定された地面の上でのトレーニング)にランダムに分け、1か月/1日のバランス・トレーニングの効果を調べた。その結果、1か月のトレーニングでは、その前後で実験群のほうが統制群より、支持面が軟らかく不安定な条件下で、1)姿勢の動揺量が減少し、2)動的安定性が高まることが示唆された。一方、1日のトレーニング効果など、他のデータ(動的バランス評価、熟達者データなど)については現在結果をまとめている状況である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、近年、動的なバランス能力のトレーニング方法の1つとして注目されているスラックラインのバランス・トレーニングとしての効果、要素を調べた。とくに、その評価において、姿勢動揺の時系列データに対する非線形解析の応用を行った点は、動的身体適応力を多角的に理解する上でも学術的意義がある。また、未発表データのうち、外乱装置を用いた動的バランス評価やスラックライン熟達者のデータも、学術的に価値の高い貴重なデータであるため、今後発表していきたい。将来的に、安全で効果的なトレーニングの方法や要素が明らかになれば、高齢者の転倒予防などにも繋がる可能性があり社会的意義もあるため、さらなる検討が求められる。

研究成果の概要(英文)：This study aimed to reveal effective factors of training for dynamic embodied adaptability. Young healthy adults were randomly divided into an experimental group (training using a slackline in which the base of support sways in all directions) and a control group (training on the ground where the standing posture sways in limited direction). The effects of one month/day balance training were examined. The results of one-month training showed the following two tendency under conditions in which the base of support was unstable after one month of training. The experimental group had 1) less postural sway and 2) higher dynamic stability than the control group. Results of one-day training and other data (e.g., dynamic balancing assessment, experts' data) are currently being analyzed.

研究分野：認知科学

キーワード：姿勢 バランス 全身協調 動的安定性 シナジー スラックライン

1. 研究開始当初の背景

従来の姿勢制御モデルでは、平坦で安定した環境の上で、少数の体節(剛体)からなる身体を、支持基底面を固定した状態で、少数の関節の屈伸により、静的に安定化させる(姿勢動揺が小さいほど安定という定義)ことが前提とされてきた。しかし、日常生活環境は必ずしも平坦で安定とは限らず、むしろ常に身体-環境の関係は変化に晒され、ダイナミックに全身の姿勢を調整することが多い。また、神経筋骨格の各レベルで多自由度複雑系である身体システムは柔軟な自由度の結合、組織化によって多様でダイナミックな環境へ適応できる。例えば、アスリートが多様な環境で安定したパフォーマンスを実現でき、高齢者が障害物につまずいたり電車の中でよろめいたりした後でも転ばずに姿勢を保持できるためには、自己-環境の変化に柔軟に素早く適応できる身体能力が鍵となるであろう。

本研究では、このように「環境や自己のダイナミックな変化に対して、身体システムの要素同士を素早く柔軟に協調させて、全身を動的に安定化・組織化できる能力」のことを動的身体適応力と呼ぶ(Kodama et al., 2016)。近年、静的な姿勢制御を仮定した線形解析手法では抽出困難な姿勢ダイナミクスへの関心が高まり(Balasubramaniam & Wing, 2002)、非線形解析手法による定量化が進んでいる(e.g., Kuznetsov et al., 2013; Kodama et al., 2019)。また、自己-環境システムの協調に関する一連の研究から、複雑なゆらぎを有する環境との協調(刺激との同期タッピングや歩行)により環境とシステムの複雑性が適合することが示され(Coey et al., 2014)、多自由度複雑系同士のカップリング現象をリハビリテーションに応用しようという試みもみられる(e.g., Roerdink et al., 2015)。以上の経緯から、報告者は「柔軟で適応的な身体づくりのためには“多自由度で複雑な環境との協調”が創発するような訓練が有効」という着想を得て、全身協調バランス・トレーニング“スラックライン”に着目するに至った(Kodama et al., 2015)。

2. 研究の目的

本研究では、動的身体適応力向上に有効なトレーニングの要素を解明することを目的とした。具体的には、若年健常者を実験群(支持面が全方向に動揺するスラックラインを用いたトレーニング)と、統制群(姿勢動揺方向が限定された地面の上でのトレーニング)にランダムに分け、それぞれのバランス・トレーニングの効果を比較検討することで、支持面の安定性という要素の検討を目的とした。

3. 研究の方法

実験参加者

実験には若年健常者が参加した。実験1、および、実験2では、スラックラインの経験のない初心者のみ参加し、実験3ではスラックラインの熟達者としてプロ選手、および、インストラクターが参加した。実験手続きは、神奈川大学における人を対象とする研究に関する倫理審査委員会承認され、実験参加者は同意のもと実験に参加した。

実験装置

実験群では、スラックラインによるトレーニングは屋内用器具(SLACKRACK300, GIBBON, 長さ3m, 高さ30cm)を用いて行われた。バランス能力を評価するために計測された足圧中心(Center of Pressure: COP)位置は、フォースプレート(Leptrino CFP600YA302US)で計測された。3次元動作の計測・解析には、光学式モーションキャプチャーシステム(Natural Point OptiTrack Flex13)が用いられた。動的なバランス能力を評価するための外乱の導入には、前後左右方向にプラットフォームを動かすことができる外乱導入装置(内田電子 可動プラットフォーム UD-PH09)が使用された。

実験デザイン

参加者はスラックラインでトレーニングをする実験群と、地面の上で同様のトレーニングを行う統制群にランダムに分けられ実験に参加した。実験1では、いずれの群も週1回のペースで計4回(1か月)のバランス・トレーニングと、その前後でバランス評価テストを実施した(図1)。毎回のトレーニングでは、参加者は図1のステップ1から順々に繰り返し行ってもらった。トレーニング内容は、先行研究(e.g., Keller et al., 2012)を参考に図1右の11段階のステップで難易度が高くなるパフォーマンスをステップ1からクリアしたら次に進むように行われた。実験群ではスラックラインの上で、統制群では地面の上のテープの上でトレーニングが行われた。

実験2では、実験1と同じトレーニング内容を1時間のみ実施し、当日のトレーニング前後と翌日のバランス能力を比較することで、短期的なトレーニングの効果を調べた。

トレーニングメニューのステップ1(片脚立ち)では、左右いずれかの脚でライン/テープの上に乗る、30秒ずつ持続できた場合をクリアとした。ステップ2(両脚立ち)では、タンデムの姿勢で、左右それぞれの脚が前後となる状態で、15秒ずつ持続できた場合をクリアとした。さ

らに、片脚立ち、両脚立ちでは、実験者による補助の有無で段階を分けた（ステップ1~4）。ステップ5~6では、3mを前歩き、後ろ歩きで渡れた場合をクリアとした。ステップ7~8では、前歩き、後ろ歩きそれぞれ3m渡り切った地点でターンし、往復できた場合をクリアとした。ステップ9（両脚屈伸）では、両脚立ちの状態からしゃがんで地面に指先でタッチ、そのまま立ち上がり両脚立ちの状態を5秒持続できたら「成功」とし、連続3回「成功」が続いた場合をクリアとした。ステップ10では、参加者はライン/テープの上で片脚立ちをした状態で、左前方2m、右前方2mそれぞれの位置からゴムボール（直径15cm）を実験者から投げられ、それを受け取って投げ返すことができたなら「成功」とし、連続3回「成功」が続いた場合をクリアとした。ステップ11では、参加者はライン/テープの上で片脚立ちをした状態で、実験者から投げられたゴムボールを左前方2m、右前方2mそれぞれの位置にあるゴミ箱（直径20cm、高さ30cm）の中に入れることができたなら「成功」とし、連続3回「成功」が続いた場合をクリアとした。

バランス評価テストについては、片脚立ち課題を硬い支持面の上で行う条件（Hard）と軟らかいラバーフォームの上で行う条件（Soft）を30秒間ずつ行ってもらい、条件は参加者内でランダム化された（図1左）。実験2、および、実験3では、外乱導入装置を用いて、前後左右いずれかの方向へ動くプラットホームの上で、両脚で立ち、ランダムな方向、タイミングで外乱を与えることで、突発的に生じるダイナミックな外乱に対する適応力を調べた。

実験3では、熟達者を対象としていたため、トレーニングは実施せずに上記のバランス評価テスト、および、スラックラインの代表的な技についてパフォーマンスを行ってもらい、3次元モーションキャプチャーシステムで計測し、初心者のパフォーマンスと比較した。

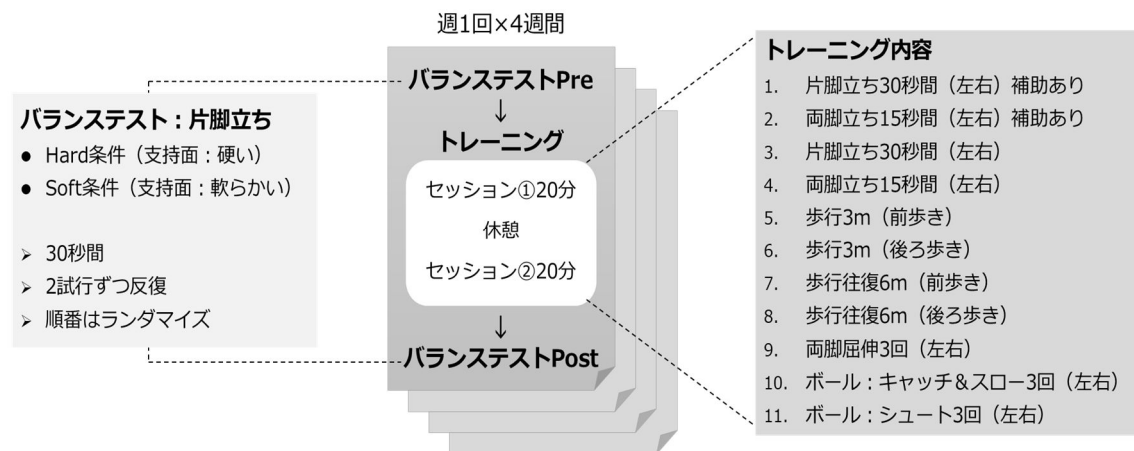


図1 実験1のデザイン

データ分析

COP 時系列データについては、左右方向と前後方向のフォースプレート上の平面での位置情報を分析した。COPは、身体の重心として近似でき、その2次元平面（XY面）上の位置の変化を時系列データとして取得することができる。バランス能力の評価には、COP 総軌跡長（ L ）を用いた。 L は「重心がどれくらい動揺したか」を表す指標であり、動揺量が少ない（ L が短い）ほど姿勢が安定しバランス能力が高いと解釈される。一方、動的なバランス能力の指標としては、Detrended Fluctuation Analysis (DFA: Pen et al., 1994)（姿勢動揺の時間的相関構造を評価するフラクタル解析）によって算出されるスケーリング指数 α を用いた。 α は動揺（揺らぎ）の動的安定性を評価する指標として、歩行データや姿勢動揺データに用いられている (Hausdorff, 2009)。COP データについては、 α が1に近づくほどフラクタル性が高く動的安定性が高いと解釈される (Stergiou & Decker, 2011)。

4. 研究成果

すでに発表したデータ（実験1）の概要のみ報告する。詳細は業績を参照されたい。

実験1の結果として COP 総軌跡長 L と DFA スケーリング指数 α の結果の概要を報告する。

COP 総軌跡長 L については、傾向として実験群も統制群も Hard 条件のほうが Soft 条件より姿勢の動揺が少なく安定していること、トレーニング前後でも姿勢の動揺が減少し、静的なバランス能力が向上している可能性が示唆された。一方、実験群と統制群の比較においては、Soft 条件でやや実験群のほうが、 L が短くなり、より安定化が顕著となる傾向が示唆された。

左右方向の COP に対する DFA スケーリング指数 α の分析結果からは、Hard 条件では実験群

も統制群も α がトレーニング前後で同じように増加し、ランダムな揺らぎ ($\alpha=0.5$) から持続性相関 ($0.5 < \alpha < 1$) が強くなる傾向が見られた。一方、Soft 条件では実験群のほうが統制群よりトレーニング前後でその傾向が顕著に見られた。前後方向の COP に対する DFA スケーリング指数 α の分析結果からは、左右方向と同様に、実験群も統制群も Hard 条件では α がトレーニング前後で同じように増加し、ランダムな揺らぎ ($\alpha=0.5$) から持続性相関 ($0.5 < \alpha < 1$) が強くなる傾向が見られた。一方、Soft 条件については、統制群では Hard 条件と同じような値を示しているが、実験群ではトレーニング前後での α の上昇が顕著に見えた。

以上の結果から、トレーニングの前後で実験群のほうが統制群より、支持面が軟らかく不安定な Soft 条件で、1) 静的な指標(姿勢の動揺量 = 動かないほど安定という意味で)がより低下し、2) 動的な指標(時間相関のある揺らぎという意味で)でもランダムな揺らぎから持続性相関という構造をもった揺らぎに変化しより動的な安定性が高まる傾向が示唆された。

実験 1 では、バランス課題として、片脚立ち課題を採用し、さらに支持面の安定性を Hard 条件と Soft 条件で比較した。その結果、より不安定である Soft 条件で実験群と統制群の違い、つまりスラックライン・トレーニングの効果がより顕著に出る可能性が示唆された。このことは、ある意味でスラックライン・トレーニングの効果が課題特定のである(スラックラインという課題と同じように不安定な環境下でのバランス保持において効果がみられる)という先行研究の主張とも一致する(Donath et al., 2016)。ただし、本研究で検討したような非線形手法による動的安定性という観点からの動的身体適応力の評価は充分に行われていないため、今後、他の非線形手法を含めて、多角的な検討が求められる。

実験 1 の結果(課題特定の効果)を受けて、実験 2、および、実験 3 では、より予測が難しく突発的に生じるダイナミックな外乱を実現するため、外乱導入装置を用いた動的なバランス能力の評価テストを加えた。これにより、例えば走行中のバスが急ブレーキをかけたときに発生するような急な外乱を再現でき、その際の素早く適応的な反応も見ることができると、本研究の主題である動的身体適応力を理解する上でも有効だと考えられる。

本報告書では、すでに発表されたデータの概要しか報告できなかったが、今後、短期的なトレーニングの効果(実験 2)、外乱導入装置による突発的でダイナミックなバランス評価(実験 2、および、実験 3)、そして、初心者のトレーニングによるバランス能力の向上だけでなく、すでに優れたバランス能力を有していると考えられる熟達者のデータ(実験 3)については、引き続き分析を行い、国内外の学会・雑誌にて発表を行う計画である。とくに、スラックラインの熟達者(プロ選手、インストラクター)のデータは貴重であり、その熟達のコツなど(図 2 は報告者らの研究で示唆された仮説)も解明されれば、安全で効果的な動的身体適応力のトレーニングの方法や要素の理解につながる。これらを明らかにしていくことで、将来的には高齢者の転倒予防など社会的な意義のある研究課題へと発展させていきたい。

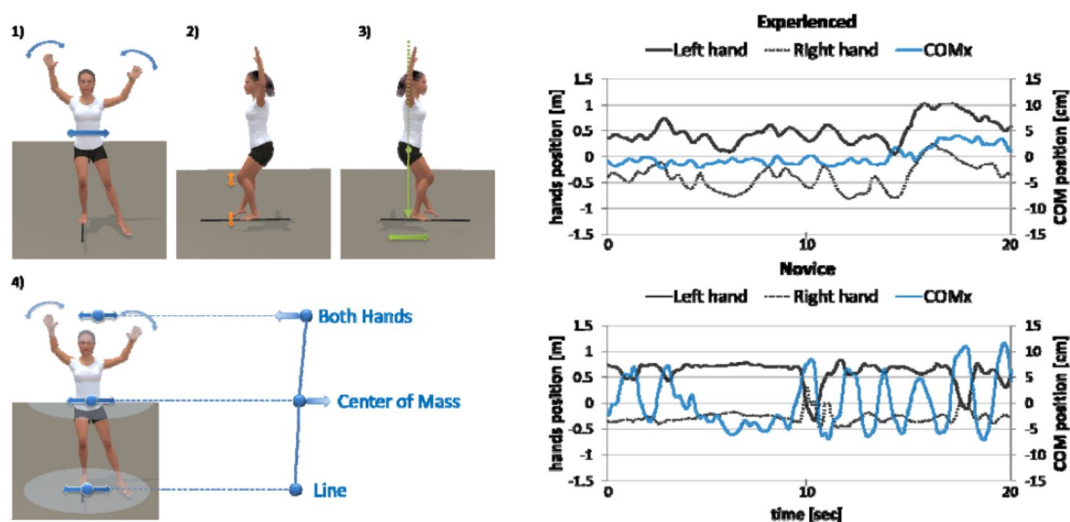


図 2 スラックライン上で全身を協調させて動的にバランスをとる方略(左)
協調する左右の手と重心位置の時系列データのサンプル(右上:経験者,右下:初心者)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔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 児玉謙太郎・山際英男・安田和弘
2. 発表標題 動的身体適応力のトレーニングと評価に関する予備的検討
3. 学会等名 日本機会学会シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 児玉謙太郎・山際英男
2. 発表標題 全身協調バランス・トレーニング“スラックライン”がバランス能力に及ぼす影響
3. 学会等名 2017年度人工知能学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 児玉謙太郎・山際英男
2. 発表標題 スラックラインの熟達過程に関する事例研究
3. 学会等名 日本認知科学会第35回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 児玉謙太郎・山際英男・安田和弘
2. 発表標題 全身協調バランス・トレーニング“スラックライン”の効果に関する予備的検討
3. 学会等名 日本認知科学会第36回大会
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
--	---------------------------	-----------------------	----