

平成 30 年 8 月 30 日現在

機関番号：30116

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K07245

研究課題名(和文) 静的および動的バランス条件における片足立ちの安定性の一側優位性の発達様相

研究課題名(英文) Developmental changes in lateral dominance in single-leg stance stability during floor oscillations at various frequencies

研究代表者

清田 岳臣 (KIYOTA, Takeo)

札幌国際大学・スポーツ人間学部・准教授

研究者番号：40434956

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、静的および動的バランス条件における安定性の一側優位性の発達様相について検討した。5-9歳の児童10名が、開眼での20秒間の片足立位姿勢保持を床反力計上で行い、そのときの最大保持時間と前後方向の足圧中心動揺平均速度が分析された。姿勢条件は、静的条件と動的条件(前後方向の周期的床振動；周波数：0.25、0.5、0.75、1.0、1.25、1.5Hz；振幅2.5cm)とした。静的および振動条件において、片足立ち時の安定性に一側優位性が認められないことが示された。5-9歳の児童においては、成人のような静的と動的なバランス条件に応じた、左右脚での支持機能の分担がまだできないと推察された。

研究成果の概要(英文)：We investigated the developmental changes in lateral dominance in single-leg stance stability during floor oscillations at various frequencies. Ten children aged 5 to 9 years maintained single-leg stance on a force platform for 20 s per trial. Trials were performed with no-oscillation (static condition) and with anteroposterior floor oscillations (2.5-cm amplitude) at six frequencies: 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, and 1.5 Hz (dynamic condition). The mean speed of the center of pressure in the anteroposterior direction (CoPap) and maximum duration maintaining the posture were calculated as an index of postural stability. In static and dynamic condition, there was no lateral dominance of stability during single-leg stance in children aged 5 to 9 years. Unlike previous studies of adults (Kiyota and Fujiwara, 2014), it was found that role in support function may not be divided between left and right legs according to the balance conditions in children aged 5 to 9 years.

研究分野：運動生理学

キーワード：一側優位性 発達 姿勢制御 静的バランス 動的バランス 片足立位姿勢 周期的床振動

1. 研究開始当初の背景

ヒトにおいて、下肢は立位姿勢保持のために、姿勢支持の役割を担う。これに対して上肢は、杖や松葉づえを用いて立ったり歩いたりする場合を除き、姿勢の支持とは関係せず、物体の操作の役割を担う。上肢と下肢はともに、形態的には矢状面に対して左右対称であるけれども、その左右いずれか一方が優先的に利用される。この特徴は、一側優位性と呼ばれている (Grouios et al, 2009; Harris, 1958)。上肢の操作機能については、成人の約 90% が右側優位であると報告されている (Nachshon et al., 1983)。下肢においても、キックやリフティングのような操作では、約 90% が右側優位であるという (Chapman et al, 1987; Coren, 1993; Peters, 1988)。このような上下肢の一側優位性の発達様相については、これまで数多くの検討がなされてきた。利き手は、胎児期から存在するという報告もあるものの (Hepper et al., 1998)、1 歳までに利き側の入れ替わりが頻繁に生じ (Gesell and Ames, 1947; Carlson and Harris, 1985; Corbetta and Thelen, 1999)、3 歳 (Mcmaus et al., 1988) ごろに確立するとされている。利き足に関しては、左右の分化が明確になるのは児童期後半の 8-11 歳であるとの報告がなされている (Gabbard, 1993; Gentry and Gabbard, 1995)。しかしながら、下肢機能には操作と支持という 2 つの機能的役割があるにもかかわらず、これまでは操作機能における一側優位性の発達様相のみの検討がなされ、支持機能についての系統的な報告は存在しない。

スポーツ活動を含む日常生活においては、重力以外の外力が外乱として作用する状況や空間において全身が移動するような状況下 (動的バランス条件下) で、姿勢の安定性を維持することがより重要となる。我々は、この動的バランス条件下での姿勢の安定性を検討するために、周期的床振動法を用いてきた。この周期的床振動法は、周期外乱であることから、刺激を予測しやすく、一定の範囲内に圧中心位置を定めることができるので、安定性の再現性が高い (Fujiwara and Ikegami, 1984)。また、振動周波数を変化させることで、任意に加速度刺激が設定可能であり、刺激の定量性にも優れた手法である (Fujiwara et al., 2007)。我々は、この周期的床振動法を利用して、動的バランス条件下での支持機能の一側優位性について、はじめての報告を行った (Kiyota and Fujiwara, 2014)。この動的バランス条件下での片足立位保持は、車両や飛行機での作業のように床面が振動する場合に必要となるものである。この報告において我々は、床の移動のない静的バランス条件での片足立ち、および種々の周波数 (0.25 ~ 1.5 Hz) での前後方向の周期的床振動時の片足立ち (動的バランス条件) の安定性の一側優位性をそれぞれ検討した。その結果として、片足立ち時の安定性の一側

優位性が、床振動時の振動周波数によって大きく変化することを明らかにした。主な結果は以下の通りである：床の移動のない、静的バランス条件における片足立ちの安定性には明確な一側優位性が認められなかった、もっとも高い振動周波数である 1.5 Hz において、右側が優位に安定するということが明らかとなった、静的と動的なバランス条件に応じて、左と右の脚で支持機能を分担している可能性が示唆された。しかしながら、このような静的および動的バランス条件における安定性の一側優位性という観点で発達様相を検討した研究は存在しない。

幼児期である 4-6 歳は、姿勢制御の再組織化が進行する時期であると考えられており (Shumway-Cook and Woollacott, 1985; Hedberg et al., 2007)、姿勢制御の個体内変動が大きくなる。その後、姿勢調節能は、6-8 歳で顕著に向上し、9-10 歳で成人に類似した姿勢制御様式を示すことが報告されている (Riach and Hayes, 1990; Hay and Redon, 2001)。我々も、これまで周期的床振動時の姿勢制御の発達過程について検討を行ってきた (Fujiwara et al., 1994, 2011) これらの報告は、安定性の一側優位性の発達において、姿勢制御の再組織化が進行する時期に、安定性の優位側の入れ替わりが生じる可能性を推察させる。

2. 研究の目的

我々は、幼児期から児童期にかけて、静的および動的バランス条件における安定性の一側優位性の発達様相を検討することで、支持機能の左右の分化が確立する時期について検討することを目的とした。

3. 研究の方法

被験者

被験者は、5-9 歳の幼児および児童 10 名からなる。すべての被験者は、神経学的および整形外科的疾患を有していなかった。ヘルシンキ宣言に基づき、実験手順の説明を行った後、保護者および本人からインフォームドコンセントを得た。児童が不快な表情を示した場合には即座に測定を中止した。

装置

全ての測定は、4 点式の床反力計 (プレート: EMC-F-C0) を搭載した振動台 (Electric Control Group, PW0198) 上で立位姿勢で行った (図 1)。床反力計により、前後方向の足圧中心 (CoP_{ap}) 動揺を検出する (圧中心演算器: FPA-34)。振動台は、前後方向に正弦波状に振幅 2.5 cm、周波数 0.25、0.5、0.75、1.0、1.25、1.5 Hz で前後方向に振動した。振動周波数は、直線型ポテンシオメーターによって検出された台の変位を周波数カウンタ (Advantest Co., Ltd. TR-5822) に入力することによって測定した。被験者の眼前 1.5 m に円形視標を設置した。

床振動中の立位姿勢をモニターするため

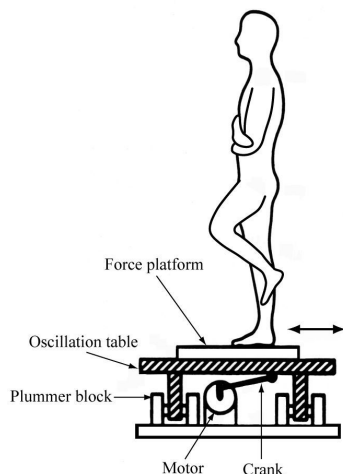


図1 振動台上での片足立ち

にビデオカメラを被験者の後方 3m に設置した。

後の分析のために、すべての信号は、A/D 変換器 (ADA16-32/2(CB)F; Contec, Japan) を介して、16 ビットの分解能、1KHz でコンピューター (DIMENSION E521, Dell Japan, Japan) に送られた。これらの信号は、Vital recorder II (Kissei comtec) を用いて記録した。

手順

まず、各振動周波数に適應するために、開眼でかつ足部内側を平行に 10cm 離して、60 秒間 (1 試行) 両足立位姿勢を保持した。次に片足立位での本測定を実施した。測定条件は、床移動のない静的条件と 6 つの振動条件とした。片足立ち時には、開眼でかつ腕を胸の前で組み、支持側と反対側の内顆部が、支持側の膝関節内側部に接触するように指示した。幼児への負担を考慮し、2 日間に分けて測定を実施した (初日: 静的条件、0.25Hz, 0.5Hz, 0.75Hz; 2 日目: 1.0Hz, 1.25Hz, 1.5Hz)。振動条件では、被験者は両足での振動刺激を 10 秒間負荷され、その後片足立位姿勢を 20 秒間保持するよう求められた。いずれの条件も左右 3 試行ずつ実施した。試行間に椅座位での 60 秒間の休憩を挟んだ。床振動開始後 2 秒間は、振動開始による影響を除くために、振動台の側に立っている検者が被験者を支えた。それ以後は、被験者が転倒の危険にさらされない限り、そのような補助は行わないようにした。

データ分析

分析方法は、各種の周波数での床振動時の片足立ちの安定性における優位側について検討した先行研究に順ずる (Kiyota and Fujiwara, 2014)。

CoP_{ap} 平均速度 (CoP_{ap} speed) を算出し、各被験者の身長で除することで補正する。分析対象は、7 秒以上のデータとした。片足立ちの安定性における優位側 (すなわち、安定側) は、CoP_{ap} speed の左右差を指標として分析

する。この左右差は、左右足の CoP_{ap} speed の平均値で除することにより標準化する ((右側-左側) ÷ 左右の平均値)。それらの値の正の値ないし負の値は、それぞれ左側優位ないし右側優位として表す。20 秒中の最大保持時間およびバランスを崩した回数 (足がつく、支えられる) についても計測した。

下肢の操作機能の調査として、サッカーボールキックテストを実施した (Hoffman et al., 1998; Mezaour and Bozec, 2009)。被験者は、中程度の強度でかつ最大の正確性をもって 3 m 先の 50cm のゲートを通すことを求められた。被験者の 1.5m 先に設置したボールを被験者は蹴った。3 試行を行い、頻度の多い方の脚を操作機能の優位側とした。

4. 研究成果

結果

静的条件における左右足ごとの最大保持時間の試行に伴う変化を図 2 に示す。静的条件では、バランスを崩すことがほとんどなく (右足: 0 回; 左足 0.1 ± 0.3 回) いずれの試行も約 20 秒の片足立位保持が可能であった。最大保持時間に対する左右足と試行による影響、および交互作用は認められなかった。

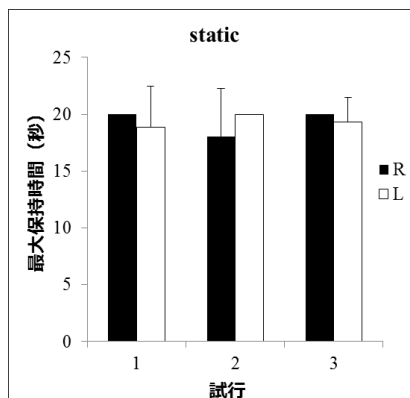


図2 静的条件における最大保持時間

振動周波数条件における左右足ごとの最大保持時間の試行に伴う変化を図 3 に示す。0.25 Hz では、いずれの試行も約 20 秒の片足立位保持が可能であり、左右足と試行による影響、および交互作用は認められなかった。しかし、0.5Hz 以上では、左右足の影響と交互作用は認められないものの、試行による影響の傾向が認められた (0.5Hz: $F_{2,18} = 4.38$, $p < 0.05$; 0.75Hz: $F_{1,2,10,6} = 3.09$, $p = 0.10$; 1.0Hz: $F_{2,18} = 2.95$, $p < 0.08$; 1.25Hz: $F_{2,18} = 3.21$, $p = 0.06$; 1.5Hz: $F_{2,18} = 4.24$; $p < 0.05$)。これらの条件では、第 1 試行の保持時間が短く、試行を重ねるにつれて延長し、第 3 試行で最大値を示した。特に 1.25 と 1.5Hz では、バランスを崩す回数が多い (1.25Hz: 右足 1.2 ± 1.1 回; 左足 1.5 ± 1.1 回; 1.5Hz: 右足 1.6 ± 1.1 回; 左足 1.8 ± 1.0 回) 第 1 試行の保持時間が 20 秒よりも有意に短かった。

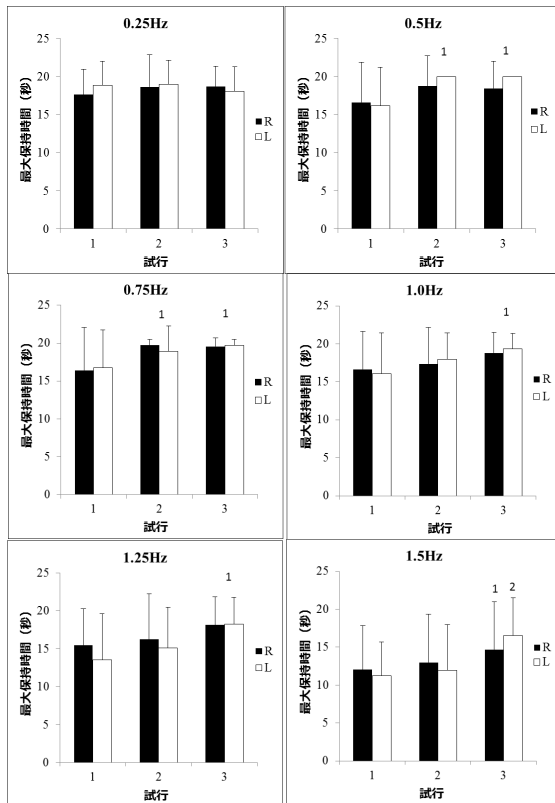


図3 振動周波数条件ごとの左右足における最大保持時間

- 1: 第1試行との有意差 ($p < 0.05$)
- 2: 第2試行との有意差 ($p < 0.05$)

最大保持時間の結果を踏まえ、CoP 平均速度は、最大保持時間が長い第3試行を代表値とした。図4に、振動周波数条件ごとの左右足におけるCoP_{ap}平均速度を示す。2元配置分散分析の結果、振動周波数の主効果が認められたが($F_{6,54} = 84.35, p < .001$)、左右足の主効果とそれらの交互作用は認められなかった。CoP_{ap} speedは、振動周波数の増大に

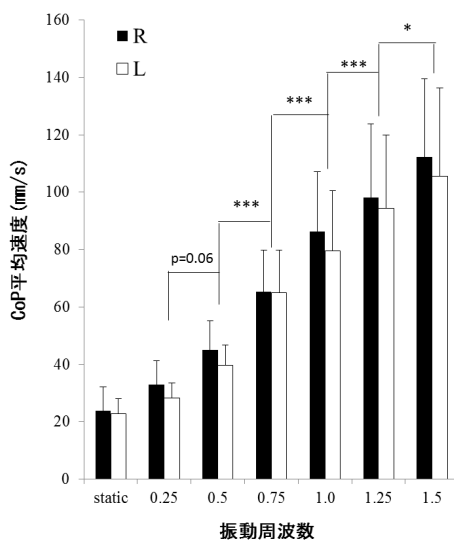


図4 振動周波数ごとの左右足におけるCoP_{ap}平均速度

***: $p < 0.001$, *: $p < 0.05$

ともなって指数関数的に増大した。0.5Hz以上の隣り合う周波数間で有意差が認められた($P_s < 0.05$)。静的条件と0.25Hz条件の間には、有意差は認められなかった。図5は、振動なし条件におけるCoP_{ap} speedの左右差と振動条件におけるそれとの相関関係を示している。振動なし条件での安定性の左右差は、1.5Hz条件の左右差のみと有意な正の相関($r = 0.41, p < 0.05$; 回帰直線 $y = 0.323x + 0.07$)を示した。

サッカーボールキックテストでは、いずれの被験者も右足を操作脚として選択した。

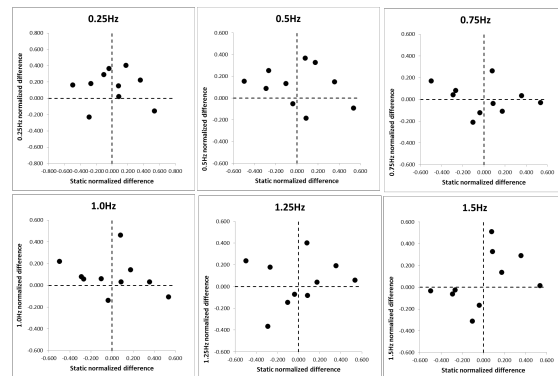


図5 振動なし条件におけるCoP_{ap} speedの左右差と振動条件におけるそれとの相関関係

考察

最大保持時間の結果は、静的条件および0.25Hz条件で、試行に関係なく片足立位保持が可能であることを示した。しかしながら、0.5Hz以上の周波数条件では、学習効果が認められ、特に高周波数の1.25Hzおよび1.5Hz条件では、第3試行で始めて約20秒の片足立位保持が可能となった。従って、条件間の比較には、第3試行が適当であると考えられた。

CoP_{ap}速度については、この第3試行を対象に左右足で比較した。静的および振動条件において、5-9歳の幼児および児童における片足立ち時の安定性に一側優位性が認められなかった。全ての被験者において右側が操作脚であったが、1.5Hz条件であっても安定性の優位側は静的条件と同じであった。成人では、振動周波数が増加するにつれて、操作機能の優位側の安定性が非優位側よりも高くなり、静的と動的なバランス条件に応じて、左右脚で支持機能を分担していることが報告されている(Kiyota and Fujiwara, 2014)。したがって、5-9歳の幼児および低学年児童においてはそのような機能分化がまだなされていないため、いずれの周波数でも左右差が認められなかったものと推察される。また、本研究で使用している周期的床振動では、予測的姿勢制御能が重要となるが、近年の研究では、予測的姿勢制御の発達が、青年期においても進行することが報告されている(Barlaam et al., 2012, 藤原と清田, 2017)。

動的課題として、床振動課題を用いた場合には、そのような支持機能の機能分化は、予測的姿勢制御機能の発達的变化と関係するため、青年期にかけて発達する可能性も推察される。10歳以降の児童を対象とした検討は今後の課題である。

また、本結果では、片足立位保持であっても、0.75Hzまでは3試行以内に適応が進むことを示している。従って、条件間の比較には、第3試行が適当であると考えられた。先行研究では、0.5Hzの周期的床振動に対して、1-3歳児における開眼での両足立位時の安定性は、3試行以内で適応可能であることを示されている(藤原, 1996)。このことは、本結果を支持する。しかしながら、本研究課題は片足立位保持であり、課題難度が高い。したがって、1.0Hz以上ではまだ適応に試行を要する可能性がある。CoP_{ap}平均速度の推移も確認しながら、試行回数を増やして再検討する必要がある。これについても今後の検討課題である。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

清田岳臣、藤原勝夫、国田賢治、阿南浩司、矢口智恵、上肢屈曲運動時の姿勢変換型の発達的变化、Health and Behavior Sciences、査読有、16、2017、15-21

藤原勝夫、清田岳臣、子どもの姿勢制御の発達、子どもと発育発達、査読有、15、2017、124-130

藤原勝夫、外山 寛、清田岳臣、清田直恵、矢口智恵、伊禮まり子、前川真姫、佐藤文亮、砂浜および林間での40日間のウォーキングエクササイズによる健康増進効果、Health and Behavior Sciences、査読有、16、2017、1-7

国田賢治、藤原勝夫、清田岳臣、阿南浩司、第一背側骨間筋の運動誘発電位の頸部前屈保持による変化の運動経験による差異、Health and Behavior Sciences、査読有、16、2017、9-14

国田賢治、藤原勝夫、清田岳臣、阿南浩司、清田直恵、矢口智恵、卓球における背屈掌屈テイクバック動作の有無によるフォアハンドストロークでの打球の速度の差異、Health and Behavior Sciences、査読有、14、2016、69-76

[学会発表](計2件)

清田岳臣、藤原勝夫、国田賢治、阿南浩司、矢口智恵、両側上肢屈曲運動時の予測的姿勢制御の発達、日本健康行動科学会第16回学術大会、2017年9月9日、北海道大学(北海道)

清田岳臣、藤原勝夫、国田賢治、阿南浩司、矢口智恵、両側上肢屈曲運動時の姿勢制御の発達的变化、日本健康行動科学会第15回学術大会、2017年9月10日、大阪市立大学(大阪府)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

清田 岳臣 (KIYOTA Takeo)
札幌国際大学・スポーツ人間学部・准教授
研究者番号：40434956

(2) 研究分担者

藤原 勝夫 (FUJIWARA Katsuo)
金沢学院大学・スポーツ健康学部・教授
研究者番号：60190089

国田 賢治 (KUNITA Kenji)
札幌国際大学・スポーツ人間学部・教授
研究者番号：20316003