

# 不安定面上でのバランスエクササイズが姿勢制御における 感覚依存性に及ぼす即時効果

板谷 厚<sup>1)</sup> 木塚朝博<sup>1)</sup>

## Acute adaptation of sensory dependence for postural control induced immediately after balance exercises on unstable support surfaces

Atsushi Itaya<sup>1)</sup> and Tomohiro Kizuka<sup>1)</sup>

### Abstract

The purpose of this study was to determine whether balance exercises on unstable support surfaces change the dependence on sensory inputs for postural control. Twenty-one healthy males were divided into two groups, Balance-board group (B group,  $n=11$ ) and G-ball group (G group,  $n=10$ ). The subjects repeated 2 min of balance exercise twice with 1 min's rest between executions. As the balance exercise, B group executed standing on a Balance-board and G group executed sitting on a G-ball. The subjects performed 60 s of quiet standing twice on a force platform with three sensory conditions; eyes open (EO), eyes closed (EC) and eyes closed on a foam (ECF) before (pre measurement) and after (post measurement) the balance exercises. In post measurement, 20 s of balance exercise was performed just before the first trial of each condition to maintain sensory adaptation. During quiet standing, the motion of the center of pressure (COP) was measured and sway velocity and sway area were calculated. To estimate the dependence on visual input, Romberg ratio (EC vs. pre-EO ratio) based on the sway velocity and the sway area was calculated. To estimate the dependence on somatosensory inputs from lower extremity based on the two sway parameters, the difference between ECF and pre-EC normalized by pre-EC was calculated as the increase in sway (IS). In B group, post-Romberg ratios were significantly higher than pre-values. By contrast, in G group, post-ISs were significantly lower than pre-values. We concluded that for postural control, the Balance-board exercise increases the dependence on visual input and that the G-ball exercise decreases the dependence on somatosensory inputs from lower extremities.

Key words: balance exercise, postural control, vision, somatosensory, adaptation, G-ball  
バランスエクササイズ, 姿勢制御, 視覚, 体性感覚, 適応, Gボール

### 1. 緒言

空間内で姿勢を制御することは、日常生活やスポーツ活動などヒトが営むあらゆる行為の基礎となる。ヒトの姿勢制御に関わる感覚入力、主に視覚（網膜）、平衡感覚（前庭器）、体性感覚（皮膚受容器、固有受容器、関節受容器）である。中枢神経系（central nervous system: CNS）での姿勢制御における感覚統合過程では、それぞれの感覚入力に対する依存性（感覚依存性）を調節することによって、環境や状況の変化に適応していると考えられている（Nashner 1976; Nashner et al. 1982; Peterka 2002; Carver et al. 2006）。

スポーツ場面では日常生活では経験しないような環

境や状況が生じるために、スポーツ活動は姿勢制御における感覚依存性に適応を強いると考えられる。いくつかの先行研究は、姿勢制御における感覚依存性がスポーツ競技の特性に適応することを指摘している（Golomer et al. 1997; Perrin et al. 2002; Asseman et al. 2008; Lion et al. 2009; Herpin et al. 2010）。例えばLion et al. (2009) は、国際レベルを含むロード選手とマウンテンバイク選手を対象にして、sensory organization test (Nashner 1997) を実施した。その結果、同じ自転車競技であっても、ロード選手の姿勢制御は視覚入力により依存し、マウンテンバイク選手の姿勢制御は体性感覚入力により依存していることを報告している。

このように、スポーツ活動での特殊な環境や状況

1) 筑波大学人間総合科学研究科  
Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

は、スポーツ選手の姿勢制御における感覚依存性に適応を強いることから、あるスポーツ競技へ取り組む際には、その競技に適した姿勢制御の状態にすることが、ベストパフォーマンスを引き出す条件の1つだと考えられる。したがって、選手を速やかに競技に適した姿勢制御の状態に導く方法が確立されれば、効果的なウォームアップとなるだろう。そのためのトレーニング手法として期待されるのが不安定面上でのバランスエクササイズである。

これまで、不安定面上でのバランスエクササイズは、主に次の二つの目的から行われてきた。第1に、足関節や前十字靭帯の傷害予防である。この場合、足関節や膝関節周りの固有感覚の改善によって、捻挫や靭帯損傷の危険性が高い関節運動への反応性を高めること、つまり個々の関節の安定性向上 (Emery, 2003) が効果として期待される。実際に、バランスボードを用いたバランストレーニングの傷害予防プログラムとしての有効性が、ハンドボール (Myklebust et al. 2003; Petersen et al. 2005), サッカー (McGuine and Keene 2006; Emery and Meeuwisse 2010), バスケットボール (McGuine and Keene 2006; Emery et al. 2007), バレーボール (Bahr and Bahr 1997; Verhagen et al. 2004) 等で報告されている。第2に、体幹の安定性を高め、競技パフォーマンスを向上させることである (Anderson and Behm 2005; Behm and Anderson 2006)。体幹の安定性が高まると、四肢による力の発揮や効率のよい力の伝達、例えば陸上競技トラック種目における疾走時の蹴りによる地面への力の伝達や野球の投球時のボールへの力の伝達向上の可能性が指摘されている (Willardson 2007)。しかしながら、前述した姿勢制御における感覚依存性を競技種目に適応させることを意図して不安定面上でのバランスエクササイズを利用する手法はまだ確立されていない。

不安定面上でのバランスエクササイズによる、姿勢制御における感覚依存性の適応を検討した研究として Itaya and Hasegawa (2009) が挙げられる。この研究は、バランスボードエクササイズ直後にはフォームパッド上での閉眼立位時の足圧中心 (center of pressure: COP) 動揺速度は増加し、Gボールエクササイズの直後にはフォームパッド上での閉眼立位時のCOP動揺速度は減少したことを報告している。これらのことから Itaya and Hasegawa (2009) は、バランスボードエクササイズは下肢からの体性感覚入力への依存性を即時的に高め、Gボールエクササイズは下肢からの体性感覚入力への依存性を即時的に低下させることを示唆

した。しかしながら、この研究は姿勢制御に貢献する視覚入力への依存性の変化を考慮していなかった。

そこで本研究は、不安定面上でのバランスエクササイズが姿勢制御における感覚依存性に及ぼす即時効果について、下肢からの体性感覚入力と視覚入力への依存性に着目して検討した。本研究では Itaya and Hasegawa (2009) と同様にバランスエクササイズとしてバランスボード上での立位 (バランスボードエクササイズ) とGボール上での座位 (Gボールエクササイズ) を採用した。

## II. 方法

### 1. 被験者

健常男子学生21名が本研究に参加した。被験者には姿勢制御に影響する神経筋系の障害は認められなかった。研究に先立ち、研究の主旨、内容および安全性について被験者に説明し、実験参加の同意を得た。また、本研究は、筑波大学人間総合科学研究科倫理委員会の承認を受け実施した。

被験者をランダムにバランスボードエクササイズを行うバランスボード群11名 (年齢  $20 \pm 2.58$  才, 身長:  $171.7 \pm 5.88$  cm, 体重:  $62.6 \pm 9.67$ kg) と、Gボールエクササイズを行うGボール群10名 (年齢:  $19.3 \pm 1.42$  才, 身長:  $172.7 \pm 6.9$ cm, 体重:  $65.6 \pm 6.47$ kg) とに分割した。

### 2. 手順

本研究はpre測定、バランスエクササイズ、post測定の三つの部分から成る。pre測定では、被験者は四つの単軸ロードセル (LUB-200KB, KYOWA製) を組み合わせて制作したフォースプレート (東洋精機社製) 上で、三つの感覚条件の下、静止立位を維持した。感覚条件は、開眼、閉眼、フォームパッド (AIREX Balance, Airex社製, 図1a) 上で閉眼 (以下、フォームパッド上) であった。開眼条件と閉眼条件では、被験者は素足で直接フォースプレート上に立ち、腕を胸の前で組み、正面の壁を見てできるだけ静かに立位を60秒間維持した。フォームパッド上ではフォースプレート上に設置されたフォームパッド上に立つ他は、閉眼条件と同様に静止立位を維持した。足の位置は、被験者自身が快適に立位を維持できるように定め、足型をトレーシング紙に写しとり、試技毎にその位置を再現した。試技は各感覚条件で2回行い、試技順は被験者間でカウンターバランスを取った。被験者には試技間

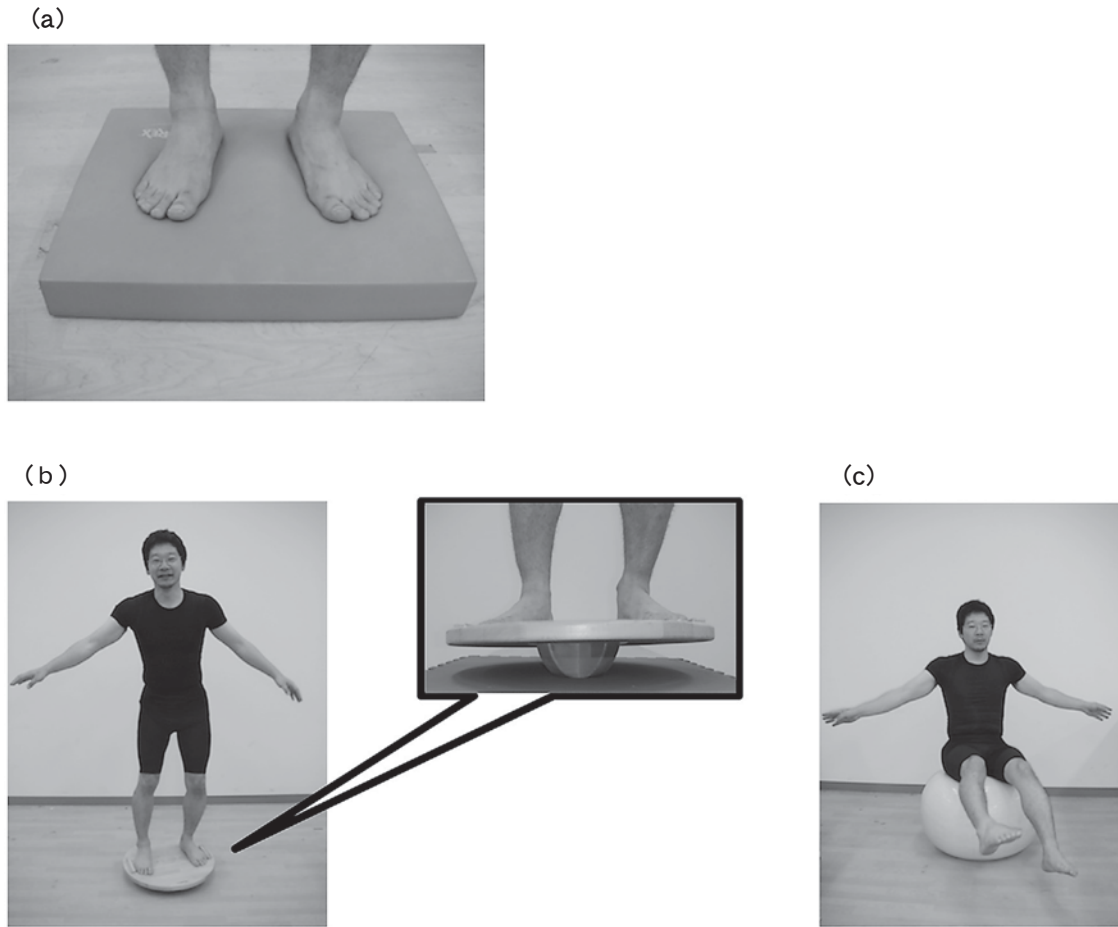


図1 フォームパッド(a), バランスボードエクササイズ(b)とGボールエクササイズ(c)

に任意に休憩を取るよう求めた。

バランスエクササイズでは、被験者はバランスボード（Marumitsu社製，図1b）を用いたエクササイズまたはGボール（Ladraplastic社製，図1c）を用いたエクササイズのいずれかを行った。バランスボードエクササイズでは、底に半径6.5cmの半球状の支点が取り付けられた半径25cm，厚さ2.5cmの円盤上で，可能な限りバランスボードの縁が床に触れないように立位を2分間維持した。この際，腕は自由であった。1分間の休憩の後，再び2分間のバランスボード上での立位維持を行った。全ての被験者において，バランスボードエクササイズ中にバランスを崩してバランスボードから落下することはなかった。

Gボールエクササイズでは，被験者はGボール（φ75cm）上で，足を床にできるだけ触れずに座位姿勢を2分間維持した。この際，転倒回避のために床に足をついたり，ボールに手をついたりしてもよいが，転倒回避後ただちに床から足を浮かせ，ボールから手を離すよう求めた。1分間の休憩の後，再び2分間のG

ボール上での座位姿勢を2分間維持した。なお，両バランスエクササイズの実施時間は，エクササイズの実施によって疲労しないこと，姿勢制御における感覚依存性に十分な適応が生じることおよびコーチング現場でのウォームアップエクササイズとしての実施を考慮して決定した。

被験者はバランスエクササイズの後，3分間の休憩をとり，その間にvisual analog scale（VAS）によって，被験者の主観によるバランスエクササイズの強度と難度を回答した。

post測定では，pre測定と同様の試技を行った。ただし，バランスエクササイズによる感覚依存性の適応を維持するために，被験者は，各感覚条件の一回目の試技開始直前に20秒間のバランスエクササイズを行った。

### 3. データ収集とデータ分析

フォースプレートからの信号は，ADコンバータ（MICRO 1401 mk II，CED社製）によって100Hzでデ

ジタイズされ、PCに保存された。フォースプレートからの信号から足圧中心 (center of pressure: COP) を求め、遮断周波数10Hzの4th-order zero-lag low-pass Butterworth filterを適用した。フィルタリング以後の処理には、Scilab ver. 4.1.2 (INRIA: フランス国立コンピュータ科学・制御研究所配布) を用いた。静止立位中のCOP動揺を評価するために、各試技についてCOP総軌跡長を試技時間で除したCOP動揺速度 (以下、動揺速度) およびCOP軌跡の90%信頼楕円面積 (以下、動揺面積) (Takagi et al. 1985) を計算し、preとpostそれぞれで、条件毎に2回の試技の平均値を算出した (図2)。

視覚遮断の姿勢制御への影響の程度を見積もるために、閉眼条件でのCOP動揺値を開眼条件のもので除したRomberg率 (Romberg 1853) を計算した。動揺速度に基づいたRomberg率をRomberg V、動揺面積に基づいたものをRomberg Aとした。開眼条件でのCOP動揺値はpre測定時の値を用いた。フォームパッドによる姿勢制御への影響の程度を見積もるために、動揺増加量 (Isableu and Vuillerme 2006) を計算した。動揺速度に基づいたものを動揺速度増加量 (increase in sway velocity: ISV)、動揺面積に基づいたものを動揺面積増加量 (increase in sway area: ISA) とした。ISVおよびISAは、フォームパッド上条件とpre測定時の

閉眼条件の差をpre測定時の閉眼条件で規格化して算出した。

VASは、被験者がつけたスケール上の印までの長さを、スケールの全長で規格化して算出した値で評価した。

#### 4. 統計処理

体格、pre測定時の各感覚条件におけるCOP動揺 (動揺速度および動揺面積) とVASの結果について、群間の差を検定するために対応のない $t$ 検定を行った。各感覚条件のCOP動揺に及ぼす影響を検討するために、pre測定時の動揺速度および動揺面積について3感覚条件 (開眼、閉眼およびフォームパッド上) による反復測定分散分析を行った。各群別に動揺速度および動揺面積について、2測定時間 (preとpost)  $\times$  3感覚条件 (開眼、閉眼およびフォームパッド上) による反復測定分散分析を行った。分散分析の事後検定には $t$ 検定を用い、事後検定の有意水準はBonferroniの方法により修正した。Romberg V, Romberg A, ISVおよびISAについては、それぞれ二群 (バランスボード、Gボール)  $\times$  二測定 (pre, post) で有意水準をBonferroniの方法により修正した $t$ 検定を行った。有意水準は5%未満とした。すべての結果は平均値 $\pm$ 標準偏差で示した。

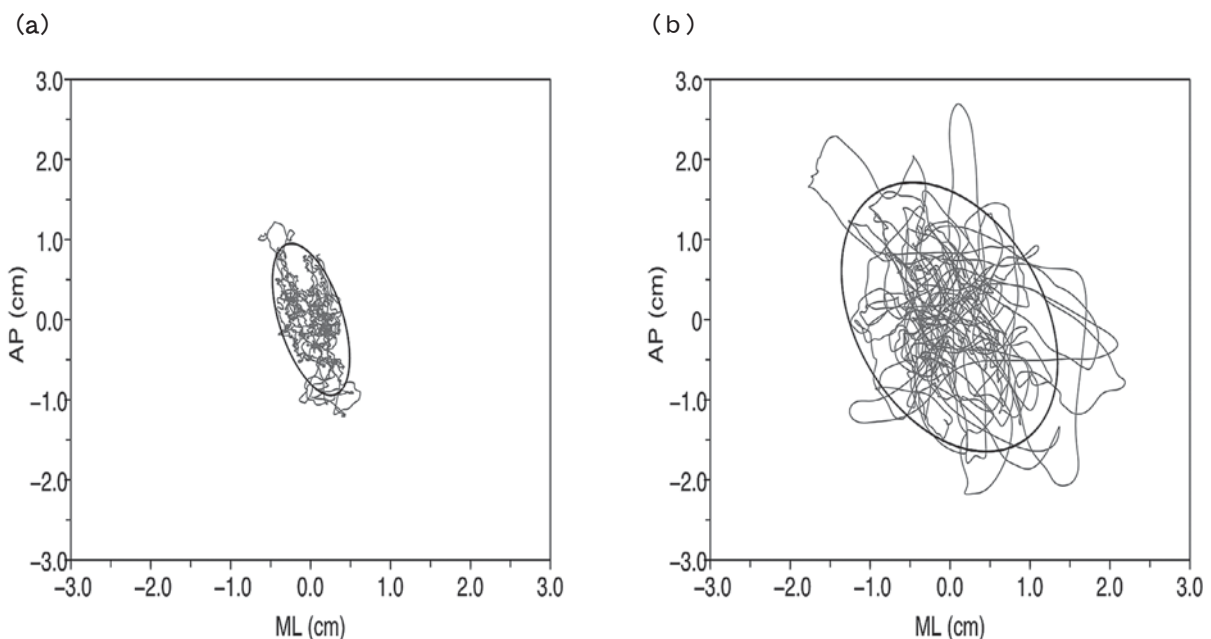


図2 閉眼条件(a)とフォームパッド上(b)のCOP軌跡の代表例

注) 楕円は90%信頼楕円を示す。

### Ⅲ. 結果

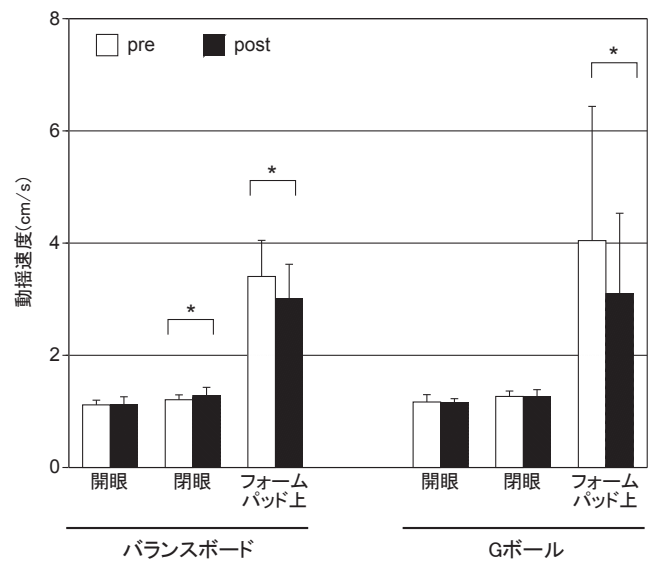
*t*検定の結果、被験者の年齢と体格には群による有意差は認められなかった。エクササイズの強度および難度は、バランスボード vs. Gボールで、強度： $34.2 \pm 20.9$  vs.  $23.7 \pm 10.7$ ,  $p = 0.172$ ；難度： $61.1 \pm 22.5$  vs.  $55.4 \pm 25.2$ ,  $p = 0.588$ と、群による有意差は認められなかった。pre測定でのCOP動揺の各項目のいずれにも群による有意差は認められなかった。

反復測定分散分析の結果、COP動揺には感覚条件の主効果が認められた（動揺速度： $F_{2,40} = 47.56$ ,  $p < 0.001$ 、動揺面積： $F_{2,40} = 67.62$ ,  $p < 0.001$ ）。事後検定の結果、動揺速度では、各条件の平均値は開眼条件、閉眼条件およびフォームパッド上でそれぞれ、 $1.14 \pm 0.10$ ,  $1.24 \pm 0.09$ ,  $3.73 \pm 1.67$  cm/sとなり、全ての条件間に有意差が認められた（開眼 vs. 閉眼： $p = 0.018$ 、開眼 vs. フォームパッド上： $p < 0.001$ 、閉眼 vs. フォームパッド上： $p < 0.001$ 、図2, 3）。動揺面積では各条件の平均値は開眼条件、閉眼条件およびフォームパッド上でそれぞれ、 $1.48 \pm 0.78$ ,  $1.57 \pm 1.11$ ,  $10.82 \pm 5.41$  cm<sup>2</sup>となり、フォームパッド上が開眼条件と閉眼条件よりも有意に大きかった（開眼 vs. フォームパッド上： $p < 0.001$ 、閉眼 vs. フォームパッド上： $p < 0.001$ 、図2, 3）。

バランスボード群における反復測定分散分析の結果、測定時間×感覚条件の交互作用が動揺速度に認められた（ $F_{2,20} = 15.74$ ,  $p < 0.001$ ）。交互作用について事後検定を行ったところ、閉眼条件の動揺速度において

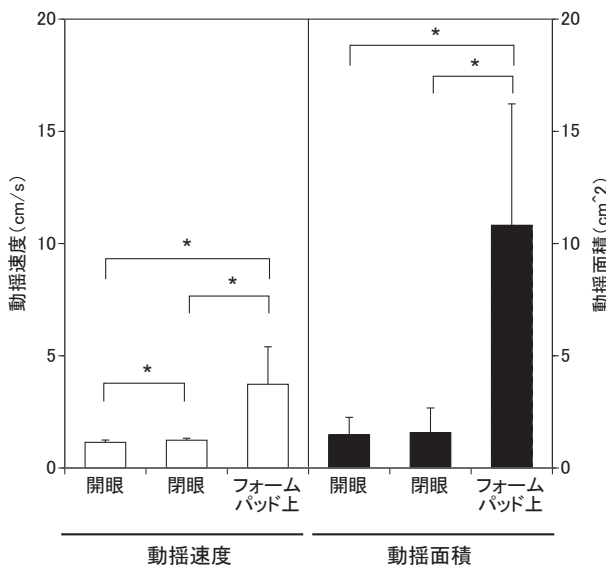
pre < post ( $1.21 \pm 0.07$  vs.  $1.29 \pm 0.12$  cm/s,  $p < 0.05$ )、フォームパッド上の動揺速度において pre > post ( $3.44 \pm 0.50$  vs.  $3.01 \pm 0.54$  cm/s,  $p < 0.05$ )であった（図4）。

Gボール群における反復測定分散分析の結果、測定時間×感覚条件の交互作用が認められた（動揺速度： $F_{2,18} = 12.88$ ,  $p < 0.001$ 、動揺面積： $F_{2,18} = 6.70$ ,  $p = 0.003$ ）。交互作用について事後検定を行ったところ、動揺速度と動揺面積いずれにおいてもフォームパッド上で pre > post（動揺速度： $4.04 \pm 2.39$  vs.  $3.10 \pm 1.43$  cm/s,  $p = 0.019$ ；動揺面積： $11.7 \pm 7.78$  vs.  $8.81 \pm 5.45$  cm<sup>2</sup>,  $p = 0.024$ ）であった（図4, 5）。



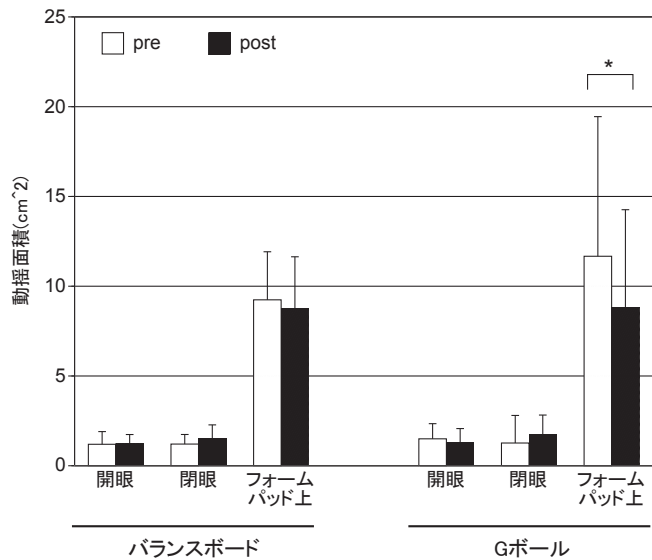
\*:  $p < 0.05$ .

図4 各群の各感覚条件における動揺速度のpre-post間比較



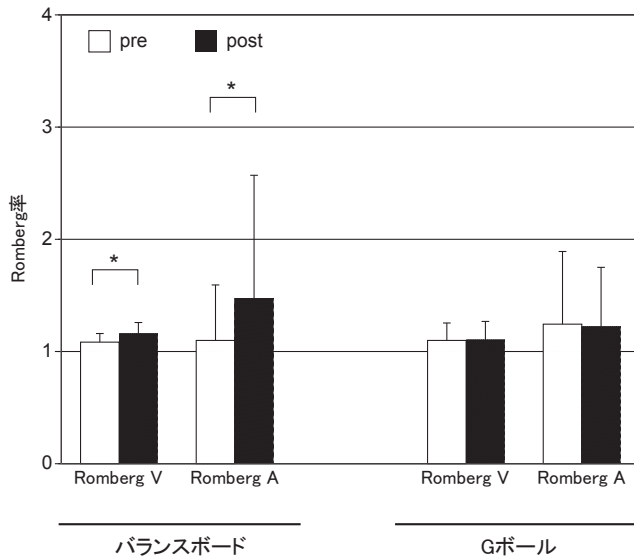
\*:  $p < 0.05$ .

図3 感覚条件によるCOP動揺の相違



\*:  $p < 0.05$ .

図5 各群の各感覚条件における動揺面積のpre-post間比較



\* :  $p < 0.05$ .

図6 各群におけるRomberg率のpre-post間比較

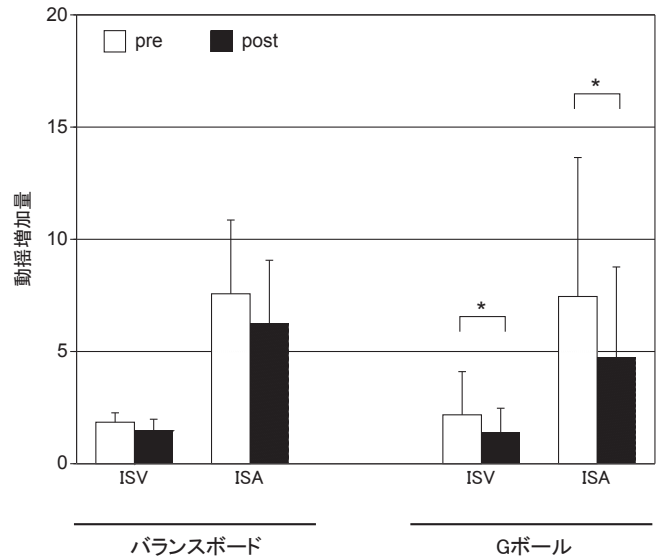
Romberg VおよびRomberg Aではバランスボード群のみpre-post間に有意差が認められpre < post (図6)であったのに対して, ISVおよびISAについては, Gボール群のみpre-post間に有意差が認められ, pre > post (図7)であった。

#### IV. 考察

競技選手の姿勢制御における感覚依存性を競技種目に即時的に適応させる意図で, 不安定面上でのバランスエクササイズを利用する手法を確立するための知見を得るために本研究を行った。本研究では, 不安定面上でのバランスエクササイズが姿勢制御における下肢からの体性感覚入力と視覚入力への依存性に及ぼす即時効果を調査するために, 異なる感覚条件下で静止立位中のCOP動揺を測定し, それらをバランスエクササイズの前後で比較した。

##### 1. 感覚条件の影響

本研究で用いた感覚条件は, 閉眼条件は視覚遮断, フォームパッド上は視覚遮断と下肢体性感覚への外乱と考えることができる。視覚が遮断されると相対的に下肢体性感覚入力に対する依存性が高まる。その上, フォームパッドの使用は, 足底圧感覚, 足関節と下腿の筋腱の固有受容器からの感覚入力の信頼性を低下させる (Shumway-Cook and Horak 1986; Patel et al. 2010)。フォームパッド上での閉眼は, 視覚遮断と下肢体性感



\* :  $p < 0.05$ .

図7 各群における動揺増加量のpre-post間比較

覚に対する外乱の相乗効果で, 安定面上での閉眼立位よりもCOP動揺は大きくなる (Isableu and Vuilleme 2006)。本研究の結果は, 先行研究と一致してフォームパッド上で最もCOP動揺が大きくなった (図2, 3) ことから, 本研究で用いたフォームパッド上条件は, 視覚遮断と下肢体性感覚への外乱を与えることができたと考えられる。

##### 2. バランスエクササイズの影響

本研究の結果, バランスボードエクササイズ後は閉眼条件で動揺速度が有意に増加し, フォームパッド上の動揺速度は有意に減少した (図4)。またRomberg VおよびRomberg Aはともに有意に増加した (図6)。一方Gボールエクササイズ後は, フォームパッド上の動揺速度および動揺面積が有意に減少し (図4, 5), ISVとISAはともに有意に減少した (図7)。これらの結果は, バランスボードエクササイズとGボールエクササイズが, 姿勢制御における感覚依存性にそれぞれ異なる適応をもたらしたことを示唆するものである。

###### 2.1. バランスボードエクササイズの影響

バランスボード群においてフォームパッド上の動揺速度がエクササイズ後に減少したことは意外であった (図4)。なぜなら, バランスボードエクササイズは下肢体性感覚入力に対する依存性を高めると仮定していたからである。本研究と類似して, バランスボードエクササイズの前後で静止立位時のCOP動揺を検討した先行研究では, フォームパッド上での閉眼条件の

COP動揺は、エクササイズ後に増加したと報告されている (Itaya and Hasegawa 2009). この先行研究では、本研究で用いたバランスボードエクササイズに加えて、もう一つのエクササイズを行った。それは左右に自由に転がる円柱形の木材の上に板を乗せ、その上で立位を維持するエクササイズであった。本研究と Itaya and Hasegawa (2009) の結果の差異は、課題の違いを反映している可能性がある。

本研究の結果では、バランスボード群においてエクササイズ後に閉眼動揺速度が増加した (図4)。閉眼条件とフォームパッド上はいずれも視覚が遮断された条件であることから、バランスボード群でのCOP動揺のpre-post間差の原因として、エクササイズによって視覚入力に対する依存性が高まったことが考えられる。これについては、実際にRomberg率はpre-post間で増加している (図6) ことでも裏付けられると考えられる。

バランスボードエクササイズによって視覚入力に対する依存性が高まったことの原因としては以下のことが推察される。バランスボード群の被験者は、支点によって全方向性へ傾斜する板上に立つことを求められた。この上で立位姿勢を維持すれば、動揺は支点からの距離が大きいほど大きくなる。このために支点からの距離が大きい頭部が最も動揺が大きくなったと考えられる。前後に振動するプラットホーム上の立位を検討した先行研究 (Buchanan and Horak 1999) は、比較的素早い振動 (およそ1.00Hz以上) において、閉眼条件では空間内の頭部位置を固定する姿勢戦略が用いられたのに対して、閉眼条件ではプラットホームの移動と共に頭部も前後移動する戦略が用いられたことを報告している。このことは比較的高い周波数の動揺では頭部の安定のために視覚入力が用いられることを示している。この先行研究の結果に沿えば、本研究においても、被験者は頭部動揺を抑制するためにより視覚入力に依存するようになったと推察される。

## 2.2. Gボールエクササイズの影響

Gボール群では、フォームパッド上動揺速度および動揺面積は減少した (図4, 5)。また、フォームパッドの姿勢制御への影響の程度を見積るISVとISAが、Gボールエクササイズの後に低下した (図7)。さらに、Romberg率の結果から、視覚入力に対する依存性は変化しなかったことが示された (図6)。Gボール上での座位保持課題は足をできるだけ床に着かないように座ることであった。そのために、姿勢制御における下肢からの体性感覚入力の重要性が低下し、前庭お

よび下肢以外の身体部分の体性感覚入力の重要性はより高くなる。その結果、姿勢制御における下肢からの体性感覚入力に対する依存性は低下し、下肢体性感覚に対する外乱であるフォームパッドの姿勢制御への影響が小さくなったと考えられる。

下肢体性感覚入力に対する依存性が低下したとすれば、前庭入力と下肢以外の身体部分からの体性感覚入力のいずれか、あるいはそれらの両方に対する依存性が高まったことが推察される。本研究はそれらを判別するために計画されていないので明言することはできないが、それぞれの可能性について以下に考察する。前庭入力はCNSに重力方向の情報を提供する。Gボールエクササイズでは、床面から足を浮かせ、ボールの真上に身体重心を保持する必要性から、重力方向を参照基準とした空間定位が重要になる。また、多裂筋や回旋筋のような体幹の深層筋は、筋紡錘を多く含んでいる (Willardson 2007)。これらの筋は“Kinesiological monitor”としてCNSにとって重要な固有感覚フィードバックを生成していることが示唆されている (Nitz and Peck 1986)。本研究で用いたGボールエクササイズは、体幹、特に腰部の運動によってボールの上で座位を維持する。これらのことから、ボールの転がりを感じたり調節したりするために、体幹の深層筋からの固有感覚に対する依存性が高まった可能性がある。さらに、Pinsault and Vuilleme (2008) は、足関節低屈筋群を疲労させると下腿部の固有感覚の信頼性が低下し、それを補うために姿勢制御における前庭および首からの体性感覚入力に対する依存性が高まることを報告している。以上のことから、本研究で用いたGボールエクササイズでは、前庭入力と体幹および首からの体性感覚入力の依存性が高まった可能性があることが推察される。

## 4. まとめ及びコーチングへの示唆

### 4.1. まとめ

本研究は、不安定面上でのバランスエクササイズが姿勢制御における感覚依存性に及ぼす即時効果について、下肢からの体性感覚入力と視覚入力への依存性に着目して検討した。不安定面上でのバランスエクササイズとしてバランスボード上での立位とGボール上での座位を採用した。21名の健常男性を、バランスボードエクササイズを行う群11名とGボールエクササイズを行う群10名に、ランダムに割り振った。はじめに、被験者は三つの感覚条件の下で、フォースプレート上にて静止立位を60秒間できるだけ静かに維

持した (pre測定). 感覚条件は, 開眼, 閉眼およびフォームパッド上での閉眼であった. その後, 各群の被験者はそれぞれのバランスエクササイズを2分間×2回行い, 休憩の後再び静止立位課題を行った (post測定). 静止立位時の足圧中心 (COP) を測定し, 姿勢動揺はCOP動揺速度と動揺面積 (90%信頼楕円面積) によって評価した. 群別に姿勢動揺をpre-post間で比較したところ, バランスボード群ではpostで閉眼動揺速度が有意に増加し, フォームパッド上での閉眼時の動揺速度はpostで有意に低下した (図4). Gボール群ではフォームパッド上での動揺速度と動揺面積がpostで有意に低下した (図4, 5). 姿勢制御における視覚入力への依存性を評価するRomberg率 (Romberg VとRomberg A) と下肢体性感覚入力に対する依存性を評価する動揺増加量 (ISVとISA) を群間およびpre-post間で比較したところ, バランスボード群ではRomberg率がpostで有意に増加した (図6) のに対して, Gボール群では動揺増加量がpostで有意に減少した (図7). これらの結果は, バランスボードエクササイズは姿勢制御における視覚入力に対する依存性を増加させ, Gボールエクササイズは, 下肢体性感覚入力に対する依存性を減少させることを示唆する.

#### 4.2. コーチングへの示唆

現在, スポーツはあらゆる環境で行われているが, スポーツが行われる環境は支持面の有無とその安定性によって, 次の3種類に分類できると考えられる. 第一は, 支持面がない空中や水中である. この環境で行われるスポーツ競技には, トランポリン, 体操競技, 水泳競技全般等がある. 第二は, 不安定な支持面である. この環境で行われるスポーツ競技には, スキー, スケート, サーフィン, ヨット, カヌー, 乗馬等がある. 第三のグループは, 安定した支持面であり, 球技全般, 格闘技全般, 陸上競技, 射撃等多くのスポーツ競技が行われている.

第一の環境で行われる競技では, 空中への跳躍と落下, 浮力による浮遊状態での姿勢制御が必要となる. そのために, この環境で行われる競技では, 一般に姿勢制御における下肢体性感覚入力に対する依存性は低いと考えられる. 第二の環境で行われる競技では, 動揺する支持面に対応して姿勢を安定させることが求められる. そのために, 立位で行われる競技では, 姿勢制御における下肢体性感覚入力に対する依存性は高くなると考えられる. 一方, カヌーや乗馬など座位で行われる競技では, 下肢体性感覚入力に対する依存性は

低く, 体幹部からの体性感覚入力や前庭入力への依存性が高くなると考えられる. 第三の環境で行われる競技のほとんどは立位で行われるために, 基本的には立位の安定が求められる. そのために, 姿勢制御における下肢体性感覚入力に対する依存性は高くなると考えられる.

第一の環境や第二の環境で行われる競技は, 競技が行われる環境でなければ練習や試合ができない. このような競技の練習や試合は, 環境に向くための負担 (例: サーフィンは海に向いて行う) と環境の不安定さから受ける危険をとまなう. 本研究で用いたバランスエクササイズは, このような負担や危険をより少なくする. 例えば, オフシーズンのトレーニングにおいて感覚依存性の適応の維持を目的としてバランスボードやGボールを用いて行うことで, その環境で練習した場合と同様の効果が得られるならば, 環境に向く負担を減らすことができる. また, 転倒や落下の危険が常にある不安定な環境下での練習や試合の前に, 安全な場所で姿勢制御における感覚依存性を環境に適合させることで, 怪我などの危険性と疲労を軽減し, よりよいコンディションで練習や試合に望むことができる. さらに, 感覚依存性の適応が不十分な初心者に対して, まず安全な場所で感覚依存性を適合させることで, より安全な指導が可能になる.

バランスボードは, 上記の第二の環境に類似した不安定な支持面を提供する. このことから本研究では, バランスボードエクササイズは, そのような環境において立位で行われる競技に適した姿勢制御における感覚依存性, 具体的には, 高い下肢体性感覚入力に対する依存性に選手を素早く導くウォーミングアップとして利用することを想定した. その有効性は, Itaya and Hasegawa (2009) の結果から予測されたが, 本研究の結果はこの予測を支持しなかった.

本研究の結果は, バランスボードエクササイズ後に視覚入力への依存性が高くなることを示した. エリートスポーツ選手やプロフェッショナルダンサーは運動習慣がない被験者よりも視覚入力への依存性が低いことが報告されている (Golomer et al. 1999; Herpin et al. 2009). また, Paillard and Noé (2006) は, プロフェッショナルサッカー選手はアマチュア選手と比較して姿勢制御における視覚依存度が低いことを報告している. これらのことから, 本研究で用いたバランスボードエクササイズは, 高度に専門的なスポーツトレーニングによる視覚入力への依存性の低下を打ち消す可能性があり, 姿勢制御における下肢体性感覚入力



への依存性を高めるウォームアップとして用いる場合は注意が必要である。

本研究で用いたGボールエクササイズでは、足を床に接することなくボールの転がりを調節して座位を維持することから、下肢体性感覚入力に対する依存性が低い姿勢制御が求められる。このような姿勢制御は、空中や水中、すなわち上記の第一の環境において行われる競技に適すると考えられる。本研究の結果は、Gボールエクササイズ後に下肢体性感覚入力に対する依存性の低下を示した。したがって、Gボールエクササイズは、競泳や空中での姿勢制御が要求される飛込み競技や体操競技などのウォームアップに適していると考えられる。その一方で、Gボールエクササイズは不安定な支持面上で立位にて行う競技や安定面での競技のウォームアップとしては適さない可能性がある。

各競技とバランスエクササイズの種類との対応関係については、今後詳細に検討する必要があるが、いずれにしても本研究の結果は、不安定面上でのバランスエクササイズが競技者の姿勢制御における感覚依存性の即時的な適応を5分程度の時間で誘導できることを明らかにした。

## 文 献

- Anderson K, Behm DG. (2005) The impact of instability resistance training on balance and stability. *Sports Med.* 35(1):43-53.
- Anderson KG, Behm DG. (2004) Maintenance of EMG activity and loss of force output with instability. *J Strength Cond Res.* 18(3):637-40.
- Asseman FB, Caron O, Crémieux J. (2008) Are there specific conditions for which expertise in gymnastics could have an effect on postural control and performance? *Gait Posture.* 27(1):76-81.
- Bahr R, Bahr IA. (1997) Incidence of acute volleyball injuries: a prospective cohort study of injury mechanisms and risk factors. *Scand J Med Sci Sports.* 7(3):166-71.
- Buchanan JJ, Horak FB. (1999) Emergence of postural patterns as a function of vision and translation frequency. *J Neurophysiol.* 81(5):2325-39.
- Carver S, Kiemel T, Jeka JJ. (2006) Modeling the dynamics of sensory reweighting. *Biol Cybern.* 95(2):123-34.
- Emery CA, Meeuwisse WH. (2010) The effectiveness of a neuromuscular prevention strategy to reduce injuries in youth soccer: a cluster-randomised controlled trial. *Br J Sports Med.* 44(8):555-62.
- Emery CA, Rose MS, McAllister JR, Meeuwisse WH. (2007) A prevention strategy to reduce the incidence of injury in high school basketball: a cluster randomized controlled trial. *Clin J Sport Med.* 17(1):17-24.
- Emery CA. (2003) Is there a clinical standing balance measurement appropriate for use in sports medicine? A review of the literature. *J Sci Med Sport.* 6(4):492-504.
- Golomer E, Crémieux J, Dupui P, Isableu B, Ohlmann T. (1999) Visual contribution to self-induced body sway frequencies and visual perception of male professional dancers. *Neurosci Lett.* 267(3):189-92.
- Herpin G, Gauchard GC, Lion A, Collet P, Keller D, Perrin PP. (2010) Sensorimotor specificities in balance control of expert fencers and pistol shooters. *J Electromyogr Kinesiol.* 20(1):162-9.
- Isableu B, Vuillerme N. (2006) Differential integration of kinaesthetic signals to postural control. *Exp Brain Res.* 174(4):763-8.
- Itaya A, Hasegawa K. (2009) Sensory re-weighting induced by challenging balance exercises. *Proceedings of the 19th conference of the international society for posture and gait research* 150.
- Lee DN and Lishman JR (1975) Visual proprioceptive control of stance. *Journal of Human Movement Studies* 1:87-95.
- Lion A, Gauchard GC, Deviterne D, Perrin PP. (2009) Differentiated influence of off-road and on-road cycling practice on balance control and the related-neurosensory organization. *J Electromyogr Kinesiol.* 19(4):623-30.
- McGuine TA, Keene JS. (2006) The effect of a balance training program on the risk of ankle sprains in high school athletes. *Am J Sports Med.* 34(7):1103-11.
- Myklebust G, Holm I, Maehlum S, Engebretsen L, Bahr R. (2003) Clinical, functional, and radiologic outcome in team handball players 6 to 11 years after anterior cruciate ligament injury: a follow-up study. *Am J Sports Med.* 31(6):981-9.
- Nashner LM (1997) Computerized dynamic posturography. In: Jacobson GP, Newman CW, Kartush JM, editors. *Handbook of balance function testing.* London: Thomson Learning, 280-307.
- Nashner LM, Black FO, Wall C 3rd. (1982) Adaptation to altered support and visual conditions during stance: patients with vestibular deficits. *J Neurosci.* 2(5):536-44.
- Nashner LM. (1976) Adapting reflexes controlling the human posture. *Exp Brain Res.* 27; 26(1):59-72.
- Nitz AJ, Peck D. (1986) Comparison of muscle spindle concentrations in large and small human epaxial muscles acting in parallel combinations. *Am Surg.* 52(5):273-7.
- Paillard T, Noé F. (2006) Effect of expertise and visual contribution on postural control in soccer. *Scand J Med Sci Sports.* 16(5):345-8.
- Patel, M, Fransson, PA, Johansson, R, Magnusson, M. (2010) Foam posturography: standing on foam is not equivalent to standing with decreased rapidly adapting mechanoreceptive sensation. *Exp Brain Res.* in press.
- Perrin P, Deviterne D, Hugel F, Perrot C. Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control. (2002) *Gait Posture.* 15(2):187-94.
- Peterka RJ. (2002) Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol.* 88(3):1097-118.

- Petersen W, Braun C, Bock W, Schmidt K, Weimann A, Drescher W, Eiling E, Stange R, Fuchs T, Hedderich J, Zantop T. (2005) A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Arch Orthop Trauma Surg.* 125(9):614-21.
- Pinsault N, Vuillerme N. (2008) Differential postural effects of plantar-flexor muscle fatigue under normal, altered and improved vestibular and neck somatosensory conditions. *Exp Brain Res.* 191(1):99-107.
- Shumway-Cook A, Horak FB. (1986) Assessing the influence of sensory interaction of balance. Suggestion from the field. *Phys Ther.* 66(10):1548-50.
- Takagi A, Fujimura E, Suehiro S (1985) A new method of statokinogram area measurement. Application of a statistically calculated ellipse. In: Igarashi M, Black O (eds) *Vestibular and visual control on posture and locomotor equilibrium.* Karger, Basel, pp 74-79
- Verhagen E, van der Beek A, Twisk J, Bouter L, Bahr R, van Mechelen W. (2004) The effect of a proprioceptive balance board training program for the prevention of ankle sprains: a prospective controlled trial. *Am J Sports Med.* 32(6):1385-93.
- Willardson JM. (2007) Core stability training: applications to sports conditioning programs. *J Strength Cond Res.* 21(3):979-85.

平成22年12月2日受付

平成23年6月1日受理