

Title	スキーストックの把持が立位中のバランス制御に与える影響
Author(s)	板谷, 厚; 武田, みく; 能代, 時矢
Citation	北海道教育大学紀要. 自然科学編, 71(1): 31-40
Issue Date	2020-08
URL	http://s-ir.sap.hokkyodai.ac.jp/dspace/handle/123456789/11359
Rights	

スキーストックの把持が立位中のバランス制御に与える影響

板谷 厚・武田 みく*・能代 時矢**

北海道教育大学旭川校保健体育教室

*当麻町役場

**北海道教育大学教育学研究科教科教育専攻

Effects of Holding a Ski Pole on Postural Control during Standing

ITAYA Atsushi, TAKEDA Miku* and NOSHIRO Tokiya**

Department of Physical Education, Asahikawa Campus, Hokkaido University of Education 070-8621

*Toma Town Office 078-1393

**Advanced Course of Subject Education, Graduate School of Education, Hokkaido University of Education 070-8621

ABSTRACT

This study investigated the effects of holding a ski pole on postural control during standing. Twenty college students (ten males and females, respectively) participated in this study. Barefooted participants performed three postural tasks with swaying as little as possible on a force platform for thirty seconds. Three postural tasks were as follows: crossing arms in front of their chest (arm-crossing task), open arms as they were skiing (open-arm task), and holding a ski pole (ski-pole task). Participants performed these postural tasks under the following three sensory conditions: eyes open (EO), eyes closed (EC), and standing on a foam pad with eyes closed (FP). During each trial, the center of pressure (COP) trajectory was recorded. Sway velocity and sway area were calculated. Repeated measure analyses of variance were executed for sway velocity and sway area. Our results reveal that the postural task by sensory condition interaction was significant for both sway velocity and sway area. In particular, sway velocity in the ski-pole task was significantly smaller than that in the arm-crossing task in the EO condition. The result suggests that, especially in the peripheral visual field, the retinal image of a ski pole functions as a visual cue stabilize standing posture, even during skiing.

1. はじめに

スキーは、重力を利用して積雪斜面を滑り降りる落下運動である。アルペンスキー競技や基礎スキー競技（以下、スキー競技）は、用具を使用し雪上をターンしながら滑走し、タイムや技術を競う。スキー競技では、不安定な雪上を高速で滑走するため、バランス制御が安全上、またパフォーマンスを維持・向上させる上で重要になる。

近年、スキー競技で使用されるスキー板は、カービングスキーがほとんどである。カービングスキーは、以前のものとは比べ性能が飛躍的に向上し、ターンを容易にした。また、板の性能が向上したことで、ストックを雪面についてターンのきっかけとしたり、ターン中のバランスを確保したりする必要性は低下した。ストックをつかずに滑走するのは、もはや普通のことである。特に大回りでは、ストックをつかずにターンすることが多くなり、ストックの役割は、カービングスキーが登場する以前よりもはっきりしなくなっている。

ここで、バランス制御の観点から、ストックをつくののではなくただ持つことの意義を考えてみる。ひとつは身体の力学的安定性の向上である。片足立ちで腕を広げるとバランスを取りやすいことは、誰もが体験的に知っているだろう。綱渡りに使う長い棒やヤジロベエの長い腕と重りがバランス維持に役立つと同様に、スキー競技で滑走中にストックを持って構えることは、慣性モーメントを増加させるとともに重心位置を下げ、意図しない身体の回転や動揺を抑制する。

もうひとつ、感覚手がかりの付加がある。ヒトのバランス制御には、3つの感覚入力、すなわち視覚入力、体性感覚入力、および平衡感覚入力（前庭入力）が関与している[1, 2]。これらの中で、ストックを持つことが影響しそうなものは、視覚入力と体性感覚入力である。具体的には、ストックを持つことで、視野内のストックの「見え」が身体の傾きや動揺についての手がかりとなる。体性感覚入力については、手や腕の機械受容器や固有受容器に感受されたストックの振動や荷重が、

求心性線維を通じて中枢神経系（central nervous system: CNS）に伝達され、身体動揺や重力方向の情報源となる。

ところで、スキー競技では、足首がやや前傾姿勢となる角度で固定されるスキーブーツを着用する。足関節は静止立位バランスの調節において中心的役割を担う [3, 4]。したがって、足関節の自由度を奪うスキーブーツの着用は、バランス制御に影響すると考えられる。この点、先行研究は、スキー競技者を対象にスキーブーツの着用がバランス制御に及ぼす影響を検討している [5]。この研究の結果、ブーツ着用によって脛の部分に付加される力学的支持を利用する戦略によって、バランス制御のための下肢筋活動は減少したことが示されている。さらに、意外なことにバランス制御における感覚手がかりの利用に対してスキーブーツ着用は影響しなかったと報告されている。

この結果をストックにまで拡張すれば、ストックを持って構えることによる力学的安定性向上は認められるが、感覚手がかりの利用には影響しないことになる。しかしながら、スキーブーツとストックでは、装着部位（足部、手部）や装着様相（固定、自由）が大きく異なる。どちらもスキー競技で使用する用具であることだけを理由に、スキーブーツで得た結果をストックに敷衍するのは無理がある。

本研究では、スキー滑走時のように腕を構え、ストックを持った場合と持たない場合の立位姿勢動揺を、次の3つの感覚条件間で比較した。第1は視覚入力を含むすべての感覚入力が必要な（eyes open: EO）条件、第2は眼を閉じ視覚入力を遮断した（eyes closed: EC）条件、第3は視覚遮断し、さらに、軟弱な支持面を提供する発泡素材製のFoam Pad上に立つ（FP）条件であった。EO条件とEC条件を比較することで、ストックを持つことの視覚入力への貢献を検討できる。Foam Padは、下肢体性感覚入力に対する非侵襲的な外乱として用いられている [6-10]。視覚入力を遮断され、下肢体性感覚入力の信頼性が損なわれるFP条件下において、ストックを持つこと

で身体動揺が小さくなるのであれば、CNSにおけるバランス制御に関わる感覚統合機能に、下肢体性感覚入力かわりにストックを持つ手や腕からの体性感覚入力に依存するような適応が生じたと推測できる。

本研究の目的は、スキー競技中の身体の安定性の観点から、スキーストックを持つことが立位中のバランス制御に与える影響を検討することであった。

2. 方法

2. 1. 対象者

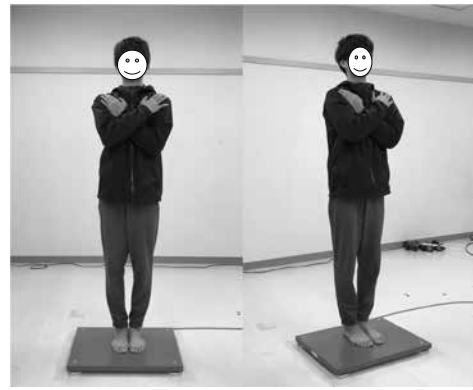
対象者は、北海道教育大学旭川校運動部員20名（男性10名：身長 172.0 ± 5.6 cm, 体重 68.2 ± 5.7 kg, 女性10名：身長 158.0 ± 2.7 cm, 体重 53.1 ± 3.8 kg）であった。すべての対象者は、バランス制御に影響する筋骨格系、および神経系の問題がなく、投薬も受けていなかった。実験に先立ち、ヘルシンキ宣言に準じて、口頭にて研究目的及び方法、プライバシーの保護を遵守する旨を対象者に説明し、同意を得た。

2. 2. 手順

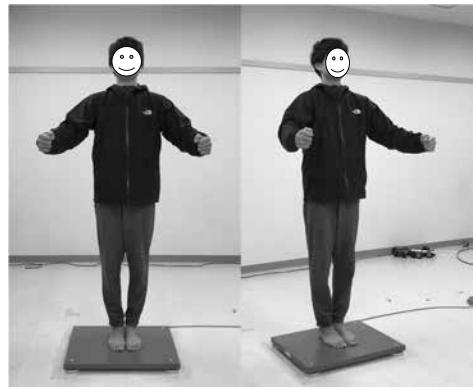
対象者は、フォースプレート上で、9つの立位課題（3姿勢課題×3感覚条件）を実施した。対象者には、すべての課題で両足の内側を接するようにつま先を閉じさせた（Romberg肢位）[11, 12]。また、できるだけふらつかずに立つよう指示した。

姿勢課題は次の3つであった（図1）。腕組課題：腕を胸の前で組む；構え課題：ストックを持ったときと同じように腕を構える；ストック課題：ストックを持って腕を構える。

3つの感覚条件は次のとおりに設定した。EO条件：2m前方の白い壁を見る；EC条件：EO条件と同様に顔を正面の壁に向け、静かに目を閉じる；FP条件：Foam Pad（Balance-Pad Elite, Airex AD社製、写真）上に立ち、EC条件と同様に目を閉じる。



腕組課題



構え課題



ストック課題

図1 姿勢課題



写真 Foam Pad

9つの立位課題はそれぞれ、腕組課題EO条件（腕組EO）、腕組課題EC条件（腕組EC）、腕組課題FP条件（腕組FP）、構え課題EO条件（構えEO）、構え課題EC条件（構えEC）、構え課題FP条件（構えFP）、ストック課題EO条件（ストックEO）、ストック課題EC条件（ストックEC）、およびストック課題FP条件（ストックFP）とした。

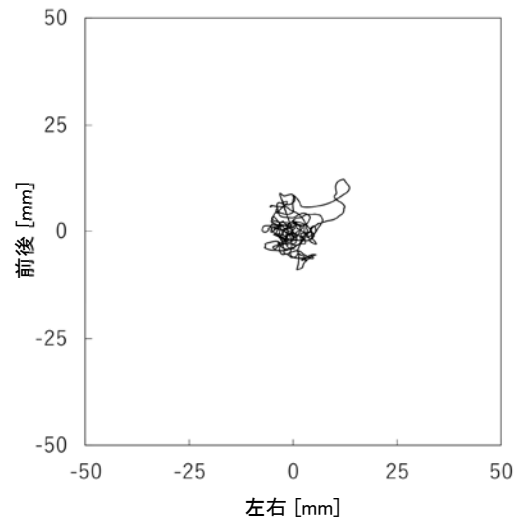
すべての立位課題は裸足で行った。30秒間の測定を各条件で2回実施した。腕組課題をコントロールとみなし、EO、EC、FP条件の順に測定した。各感覚条件における構え課題とストック課題の計6つの立位課題は、提示順をランダム化し、2回の測定は連続して行った。測定間隔は約2分間で、その間、対象者は椅子に座り、加えて、随時休憩することができた。

2. 3. 機器およびデータ収集・データ処理

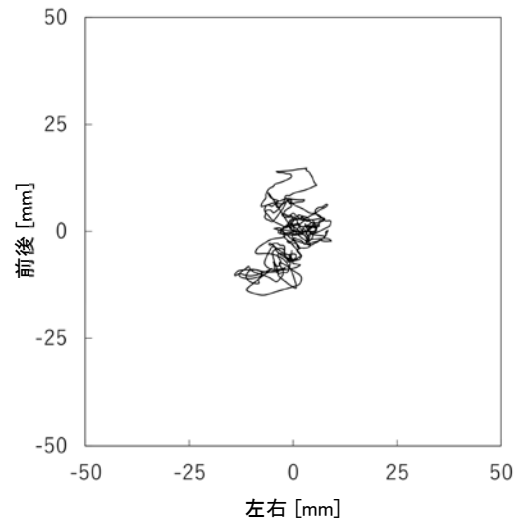
ストックはストレートの伸縮できるものを共通で使用した（重量は2本で約600g）。対象者がストックの石突を持って立ち、ストックのグリップを床に着けた際、肘がおおよそ直角になるようにストックの長さを調節した。

立位課題実施中の足圧中心（center of pressure: COP, 図2）は、フォースプレート（サイズ：500mm×600mm, Kistler 9260AA6, Kistker社製）によって測定された。フォースプレートからの信号はAD変換器（G-FORCE, フォーアシスト社製）を通じ、データ収集ソフトウェア（A-Cap ver. 1.0.2, フォーアシスト社製）によって、サンプリング周波数1,000 HzにてPCに保存された。

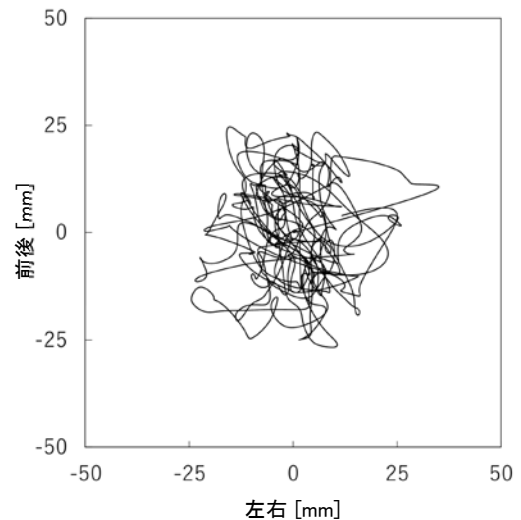
PCに保存されたCOPデータは、4th order zero-lag low-pass Butterworth digital filter により10Hzにて平滑化された。立位姿勢動揺を評価するために、COP動揺速度（動揺速度 [mm/s]、総軌跡長/測定時間）、およびCOP軌跡の外周面積（外周面積 [mm²]、図3）は計算された [13]。各項目の対象者代表値は、2回の測定の平均値とした。これらのデータ処理にはScilab 6.0.2（フリーソフト、ESI Group配布、GNU GPL ver. 2）のスク립ト言語によって記述した自作のソフト



腕組EO



腕組EC



腕組FP

図2 各感覚条件のCOP軌跡（代表例）

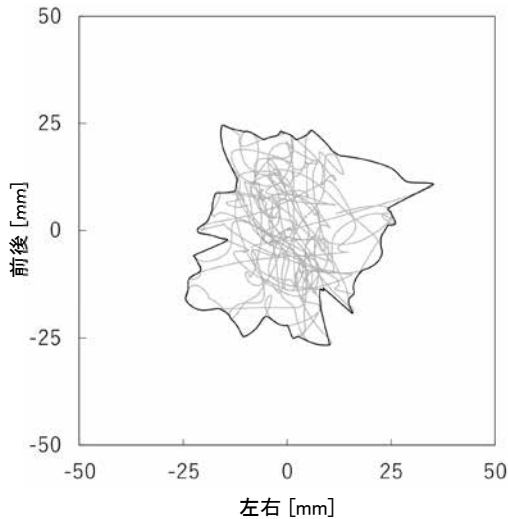


図3 COP軌跡（腕組FP）の外周の例

ウェアを使用した。

2. 4. 統計

本論文において、結果の表記は平均値±標準偏差とした。姿勢課題と感覚条件が立位姿勢動揺におよぼす影響を検討するために、姿勢課題3水準（腕組、構え、ストック）×感覚条件3水準（EO, EC, FP）による反復測定分散分析を実施した。上記の反復測定分散分析について、Mauchlyの球面性検定が有意であった場合には、Greenhouse-Geisserの ϵ によって自由度を調整した。効果量として、 $\text{partial } \eta^2$ ($p \eta^2$)を計算した。主効果、および交互作用が有意であった場合にはBonferroniの方法によって有意確率を調整した多重比較検定を実行した。

有意水準は $\alpha = 0.05$ とした。なお、統計解析はSPSS Statistics 21（IBM社製）を用いて行った。

3. 結果

反復測定分散分析の結果を表1、2に示した。動揺速度と外周面積の両方で姿勢課題の主効果に有意性が認められた。多重比較検定の結果、動揺速度は、腕組と構えの差、腕組とストックの差にそれぞれ有意性が認められ、どちらの比較も腕組でより大きかった。構えとストックの差に有意性は認められなかった。外周面積では、腕組とストッ

クの差に有意性が認められ、腕組でより大きかった。腕組と構えの差と構えとストックの差には有意性は認められなかった。

動揺速度と外周面積について、感覚条件の主効果に有意性が認められた。多重比較検定の結果、動揺速度は、すべての条件間の差に有意性が認められ、 $FP > EC > EO$ の順に高い値を示した。同様に、外周面積でもすべての条件間の差に有意性が認められ、 $FP > EC > EO$ の順に高い値を示した。

姿勢課題と感覚条件の交互作用は、動揺速度と外周面積の両方で有意性が認められた。多重比較検定の結果、動揺速度ではEO条件における腕組とストック間の差に有意性が認められ、ストックでより小さくなった（図4）。また、FP条件では腕組と構えの差、腕組とストックの差にそれぞれ有意性が認められ、どちらの比較も腕組でより大きかった。外周面積ではFP条件でのみ腕組と構えの差、腕組とストックの差にそれぞれ有意性が認められ、どちらの比較も腕組でより大きかった。

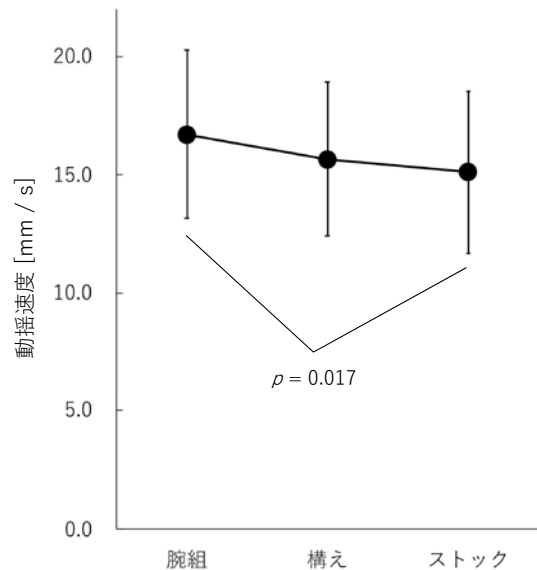


図4 EO条件における動揺速度の姿勢課題間比較

4. 考察

4. 1. 姿勢課題と感覚条件の影響

反復測定分散分析の結果、動揺速度と外周面積の両方で、姿勢課題と感覚条件の主効果が認めら

表1 動揺速度の分散分析結果

課題\条件	EO	EC	FP	課題の主効果	条件の主効果	交互作用
腕組	16.72 ± 3.58	20.49 ± 4.94	60.58 ± 19.24	$F(2, 38) = 24.744$ $p < 0.001, \rho\eta^2 = 0.566$	$F(1.020, 19.373) = 172.639$ $p < 0.001, \rho\eta^2 = 0.901$	$F(1.884, 35.791) = 15.242$ $p < 0.001, \rho\eta^2 = 0.445$
構え	15.67 ± 3.27	19.53 ± 4.62	49.86 ± 15.37	腕組 > 構え, $p < 0.001$	FP > EO, $p < 0.001$	EO 条件で
ストック	15.10 ± 3.42	19.42 ± 5.20	46.57 ± 11.66	腕組 > ストック, $p < 0.001$	FP > EC, $p < 0.001$	腕組 > ストック, $p = 0.017$
					EC > EO, $p < 0.001$	FP 条件で
						腕組 > 構え, $p < 0.001$
						腕組 > ストック, $p < 0.001$

EO: 閉眼; EC: 閉眼; FP: Foam Pad 上閉眼

表2 外周面積の分散分析結果

課題\条件	EO	EC	FP	課題の主効果	条件の主効果	交互作用
腕組	352.58 ± 141.77	453.55 ± 197.67	2499.30 ± 1308.31	$F(1.500, 28.495) = 7.166$ $p = 0.002, \rho\eta^2 = 0.274$	$F(1.009, 19.179) = 100.029$ $p = 0.002, \rho\eta^2 = 0.840$	$F(1.668, 31.691) = 7.904$ $p < 0.001, \rho\eta^2 = 0.294$
構え	324.86 ± 157.60	432.75 ± 198.56	1952.97 ± 783.56	腕組 > ストック, $p = 0.016$	FP > EO, $p < 0.001$	FP 条件で
ストック	330.43 ± 169.28	455.34 ± 214.93	1817.86 ± 704.58		FP > EC, $p < 0.001$	腕組 > 構え, $p = 0.037$
					EC > EO, $p < 0.001$	腕組 > ストック, $p = 0.012$

EO: 閉眼; EC: 閉眼; FP: Foam Pad 上閉眼

れた。多重比較検定の結果、動揺速度と外周面積はともに、腕組課題で構え課題、およびストック課題よりも有意に高い値を示した。一方、構え課題とストック課題間の差に有意性は認められなかった。

力学的視点に立てば、腕を胸の前で組んだ姿勢から腕を左右に広げて構えると、身体重心位置が低くなるとともに、慣性モーメントは大きくなり、動揺しにくくなると考えられる。このため、腕組課題よりも腕を構えた2課題で立位姿勢動揺が小さくなったと推察される。一方、構え課題とストック課題間に差は認められなかった。したがって、ストック把持による力学的作用は比較的小さいことが示唆される。

感覚条件については、多重比較検定の結果、すべての条件間の差に有意性が認められた。閉眼による視覚入力への遮断、およびFoam Padによる下肢体性感覚入力への外乱は、どちらも有効に機能したと考えられる。

動揺速度の姿勢課題と感覚条件の交互作用について、多重比較検定の結果、EO条件において、ストック課題と腕組課題との間の差に有意性が認められ、ストック課題で立位姿勢動揺は小さくなった。一方、構え課題との差について、腕組課題とストック課題の両方で有意性は認められなかった(図4)。これらの結果は、EO条件において、ストック課題でもっとも立位姿勢が安定していたことを示し、本研究の仮説を支持する。すなわち、ストックを持つことは視覚的な感覚手がかりを付与することで、立位姿勢を安定させると考えられる。

ストック課題において、ストックは左右の視野の下側3分の1程度の位置、すなわち周辺視野に、下方向に伸びる直線のように見える。周辺視による知覚は運動制御に利用される[14]。立位姿勢動揺の調節の際には、周辺視野の網膜像が身体動揺についての情報を提供する[15, 16]。本研究の場合、周辺視野のストックの網膜像が立位姿勢の動揺や身体の傾斜についての情報を提供することで、立位姿勢の安定に貢献すると推察される。

FP条件では、腕を広げて構えた2つの課題のそれぞれと腕組課題の間の差に有意性が認められた。この結果は、ストックを持つことが手や腕の求心性神経路を通じてCNSに姿勢動揺や重力方向についての体性感覚手がかりを提供するとの仮説を支持しなかった。

FP条件は視覚遮断に加えて下肢体性感覚入力の信頼性も損なうので、立位姿勢の維持がもっとも難しい感覚条件である。さらに、Foam Padの柔軟性による力学的な動揺も加わる[9]。このような不安定になりやすい条件下では、ストックを持つことにより得られる体性感覚手がかりにもとづくバランス制御の機能向上よりも、腕を広げることによる慣性モーメントの増大などの力学的作用の方が、立位姿勢の安定化に対する効果はより大きいかもしれない。

FP条件では、バランス制御に主として関わる3つの感覚入力のうち、前庭入力のみ外乱を受けていない。バランス制御に関わるCNSの感覚統合機能は、バランス維持に有用な感覚入力に対する依存を高め、信頼性が損なわれた感覚入力に対する依存を低下させる[17-19]。したがって、FP条件における対象者は、前庭入力に依存するように適応した可能性がある。このことが、構え課題とストック課題の差に有意性が認められなかった要因のひとつだと推察される。つまり、FP条件ではすべての姿勢課題で同様に前庭入力に対する依存を高める対象者が一定数おり、ストックを持つことで得られる体性感覚手がかりを利用する対象者と混在したことで、ストック把持による効果が顕在化しにくくなった可能性がある。

外周面積の姿勢課題と感覚条件の交互作用について、多重比較検定の結果は、動揺速度と異なりEO条件における課題間の差に有意性は認められなかった。これは、外周面積がどの程度動揺したか、すなわち立位姿勢のパフォーマンスのみを評価するのに対して、動揺速度はパフォーマンスに加えて、どのように立位姿勢動揺が制御されたかをも評価する[20]ことと関係する。つまり、感覚外乱によるバランス制御の質的な変化は、動揺

速度によって比較的良好に捉えられるのに対して、外周面積は量的な変化（動揺の大小）のみを反映する。したがって、EO条件でのストック把持によるバランス制御の質的变化は外周面積の結果に影響しなかったと推察される。

一方、FP条件では動揺速度と同様に、腕を広げて構えた2課題で腕組課題よりも外周面積は減少した。FP条件での立位姿勢動揺の変化は、外周面積でも捉えることができたことから、バランス制御の質的变化ではなく、むしろ力学的作用に基礎づけられるのかもしれない。

実際のスキー滑走場面では、スキーブーツによって足関節を固定され、やや前傾した立位姿勢となる。一方、本研究では、立位課題として素足での直立姿勢を採用した。そこで、スキーブーツの着用が本研究の結果に影響するかどうか、以下に検討する。

Noé et al. [5] は、スキーブーツの着用がバランス制御に及ぼす影響を検討している。彼らの対象者（スキー競技者）は、スキーブーツ着用と素足でスキーブーツを着用したときと同様の姿勢（膝関節屈曲110°、上肢は手を腰に当てた肢位）で、静止立位を2つの視覚条件下（EO, EC）で実施した。COP軌跡、足関節周囲筋（前脛骨筋と腓腹筋内側頭）と膝関節周囲筋（内側広筋と大腿二頭筋）の筋電図のデータが取得された。分析の結果、スキーブーツの着用は、静止立位中のCOP位置を前方に移動するとともに、COP動揺面積（90%信頼楕円面積）を減少させることが示された。腓腹筋と内側広筋の筋電図活動は、ブーツ着用時に減少した。しかし、すべてのCOP軌跡と筋電図の分析項目において、視覚条件とブーツ着用の交互作用に有意性は認められなかった。つまり、ブーツ着用によって付加される感覚手がかり（主に脛部の皮膚からの体性感覚手がかり）の利用を促進するような適応がバランス制御に生じている証拠は得られなかった。

この先行研究において、上肢はすべての条件で手を腰に当てた肢位であったことを考慮すると、ストックを構えることによる力学的な効果は、

ブーツを着用しても得られると考えられる。ストック把持、およびスキーブーツの着用によって付加される体性感覚手がかりの利用は、どちらも否定された。したがって、これらの間の競合を考慮する必要はない。また、滑走中に着用しているスキーブーツが視界に入るとは通常ないので、ブーツが視覚手がかりとなることはあり得ない。加えて、頭部とストックを持つ手の相対的な位置関係は、ブーツ着用時であっても変わらない。このため、ブーツの着用によってストックの見え方が変化することも考えにくい。これらのことから、本研究において検討してきたストック把持によるバランス制御に対する力学的・神経学的作用は、スキーブーツの着用によって影響されないと結論づけられる。

本研究ではストックを持って構えることの影響を検討してきた。しかし、本来ストックは雪面をつくことでその役割を果たす用具である。本研究の射程を超える考察とはなるが、ストックを雪面につくことによって、バランス維持のための力学的支持を得ることは明らかであろう。また、これによって付加的な感覚手がかりを得ることも十分に考えられよう。

4. 2. 指導現場への示唆

スキー競技の指導では、板の操作や滑走中のポジションなどが重要視される。しかしながら、本研究の結果から、足元の不安定な雪上で姿勢を保ち、安定した滑りをする上で、上肢を正しい位置に構えることも有効であることが示唆された。

4. 3. 結論および今後の課題

本研究の結果、スキーストックを持つことは、視覚入力を利用できる条件下において立位姿勢動揺を抑え、身体バランスの維持に役立つと結論づけられる。ストックを持つことで、周辺視野のストックの網膜像は身体の傾きや動揺についての視覚手がかりとなりうるということが、理由として挙げられる。

今後の課題として、周辺視野のストックの網膜

像や（本研究では証拠を得られなかった）ストックを持つことで得られる手や腕からの体性感覚手がかりの利用など、スキー競技のトレーニングによって生じるバランス制御の適応を、スキー選手とそれ以外のスポーツ選手を比較する研究が求められる。

謝 辞

本研究に実験の対象者として参加して下さった、北海道教育大学旭川校の運動部員諸氏に、記して感謝申し上げます。

利益相反

本論文について、開示すべき利益相反状態はない。

文 献

- [1] 板谷厚：感覚と姿勢制御のフィードバックシステム。バイオメカニズム学会誌, 2015, 39(4), 197-203. <https://doi.org/10.3951/sobim.39.197>
- [2] Shumway-Cook A, Woollacott MH: Motor Control: Theory and Practical Applications. Baltimore Maryland: Williams & Wilkins, 1995.
- [3] Winter DA, Patla AE, Prince F, Ishac M, Gielo-Periczak K: Stiffness control of balance in quiet standing. J Neurophysiol, 1998, 80(3), 1211-1221. <https://doi.org/10.1152/jn.1998.80.3.1211>
- [4] Morasso PG, Sanguineti V: Ankle muscle stiffness alone cannot stabilize balance during quiet standing. J Neurophysiol, 2002, 88(4), 2157-2162. <https://doi.org/10.1152/jn.2002.88.4.2157>
- [5] Noé F, Amarantini D, Paillard T: How experienced alpine-skiers cope with restrictions of ankle degrees-of-freedom when wearing ski-boots in postural exercises. J Electromyogr Kinesiol, 2009, 19(2), 341-346. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2007.09.003>
- [6] Fransson PA, Gomez S, Patel M, Johansson L: Changes in multi-segmented body movements and EMG activity while standing on firm and foam support surfaces. Eur J Appl Physiol, 2007, 101(1), 81-89. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0476-x>
- [7] Isableu B, Vuillerme N: Differential integration of kinaesthetic signals to postural control. Exp Brain Res, 2006, 174(4), 763-768. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0630-4>
- [8] 板谷厚, 木塚朝博: 不安定面上における立位制御と体性感覚入力への重みづけ. バイオメカニズム学会誌, 2010, 34(2), 142-148. <https://doi.org/10.3951/sobim.34.142>
- [9] Patel M, Fransson PA, Lush D, Gomez S: The effect of foam surface properties on postural stability assessment while standing. Gait Posture, 2008, 28(4), 649-656. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.04.018>
- [10] Wu G, Chiang JH: The significance of somatosensory stimulations to the human foot in the control of postural reflexes. Exp Brain Res, 1997, 114(1), 163-169. <https://doi.org/10.1007/PL00005616>
- [11] Romberg MH: Manual of nervous diseases of man. London: Sydenham Society, 1853, 395-401.
- [12] Njiokiktjien CJ, van Parys JA: Romberg's sign expressed in a quotient. II, Pathology Agressologie, 1976, 17 (Spec D), 19-23.
- [13] 今岡薫, 村瀬仁, 福原美穂: 重心動揺検査における健常者データの集計. Equilibrium Res. 1997, Suppl, 12, 1-84. https://doi.org/10.3757/jser.56.12Supplement_1
- [14] Schmidt RA, Lee TD: Motor control and learning: A behavioral emphasis. 5rd ed. Champaign IL: Human Kinetics, 2001.
- [15] Berencsi A, Ishihara M, Imanaka K: The functional role of central and peripheral vision in the control of posture. Hum Mov Sci, 2005, 24, 689-709. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2005.10.014>
- [16] Horiuchi K, Ishihara M, Imanaka K: The essential role of optical flow in the peripheral visual field for stable quiet standing: Evidence from the use of a head-mounted display. PLoS ONE, 2017, 12(10), e0184552, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184552>
- [17] Peterka RJ, Loughlin PJ: Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. J Neurophysiol, 2004, 91(1), 410-423. <https://doi.org/10.1152/jn.00516.2003>
- [18] Pinsault N, Vuillerme N: Differential postural effects of plantar-flexor muscle fatigue under normal, altered and improved vestibular and neck somatosensory conditions. Exp Brain Res, 2008, 191(1), 99-107. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1500-z>
- [19] Vuillerme N, Pinsault N: Re-weighting of somatosensory inputs from the foot and the ankle for controlling posture during quiet standing following trunk extensor muscles fatigue. Exp Brain Res, 2007,

183(3), 323-327. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-1047-4>

- [20] Asseman FB, Caron O, Crémieux J: Are there specific conditions for which expertise in gymnastics could have an effect on postural control and performance? *Gait Posture*, 2008, 27(1), 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2007.01.004>

(板谷 厚 旭川校准教授)

(武田 みく 当麻町役場)

(能代 時矢 教育学研究科教科教育専攻)