

原著論文

立体網状構造体を活用した軟面上での運動プログラムの試案

A Proposal of Exercise Program on Unstable Support Surface Realized by Using JP Cushion

本谷 聡⁽¹⁾・小出 奈実⁽²⁾・堀口 文⁽¹⁾・松浦 稜⁽³⁾
Satoshi Motoya, Nami Koide, Aya Horiguchi, Ryo Matsuura

Abstract

The aim of this study was to obtain basic knowledge, (1) to draft a balancing exercise program on an unstable support surface realized by using JP cushion (three dimensional reticulate structure) which induces active fluctuation, targeting university students, and (2) to verify the immediate effect of the exercise on the static and dynamic balancing ability by having healthy students try the devised exercise program. The subjects were 113 of university students (male 75 and female 38). The items to verify were query concerning the exercise program and query concerning duration of balance keeping in a standing posture on one-leg, and gravity center fluctuation before and after the practice of the exercise program. The duration of balance keeping on one-leg and gravity center fluctuation were measured under four different conditions: standing with and without vision on the floor, and standing with and without vision on the JP cushion.

As for the query about the exercise program, the overall evaluation by the whole subjects showed that the level of achievement was, $99.85 \pm 0.04\%$ for the beginning level exercise, $97.64 \pm 0.15\%$ for the middle level exercise and $89.23 \pm 0.31\%$ for the advanced level exercise. This result indicates that the level was properly set for the program task. On the other hand, degree of interest was 3.62 ± 0.90 , and the difficulty level was 3.24 ± 1.29 .

Concerning the duration of balance keeping on one-leg, a significant difference was observed in the duration of balance keeping on JP cushion without vision. The performance ability improved by 17.94% in all subjects, 14.60% in male subjects and 24.57% in female subjects.

Concerning the gravity center fluctuation in one-leg balance keeping, the total trajectory length reduced significantly by 12.21%, 13.42%, 7.83% and 20.41% under the above 4 conditions in all subjects, respectively, but no significant difference was observed for the dimension of an outer circumference area.

Because of the above results, we concluded that the exercise program on an unstable support surface realized by using JP cushion generates students' motivation for the movement and is effective in improving the static and dynamic balancing ability.

Keywords: JP Cushion, balancing ability, a proposal of exercise programs, university student, 立体網状構造体, バランス能力, 運動プログラムの試案, 大学生

(1) 筑波大学体育系 Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

(2) ジャパン・リニューアブル・エナジー株式会社 Japan Renewable Energy Corporation

(3) 東京藝術大学教育研究助手 Educational Research Assistant, Tokyo University of the Arts

I. 緒言

運動器の機能低下が危惧されている昨今、各ライフステージにおいて様々な問題が報告されている。厚生労働省の国民生活基礎調査(2013;2016)では、高齢者が要介護となった主な原因のひとつとして転倒を報告しており、またその割合が上昇傾向にあることから、加齢に伴う運動器の機能低下に対処することが高齢者の抱える重要な問題のひとつとしてあげられている。そのため、2007年には日本整形外科学会によってロコモティブシンドローム(運動器症候群:以後、ロコモと称す)が提唱され、ロコモの予防・改善に関わる取り組みが展開されている。このロコモとは、主に加齢による骨や関節、筋肉、神経といった運動器の障害のため、立ったり歩いたりするといった日常に必要な動作が困難となることを指している。近年では、この状況は高齢者とどまらず、体力が成熟する成人においても予備軍の存在が指摘されている。さらに、幼児や児童・生徒においても同様な運動器の問題が見られるようになってきている。帖佐(2013)によると、2007年度から2011年度までに学校における運動器検診を約19,000名の児童・生徒に実施した結果、運動器疾患の推定罹患率は約10%であったと報告されている。実際に、最近増えている具体的な事例として、子どものからだと心白書(2016)によると「ボールが目や顔に当たる」や「転んでも手がでない」などといった子どもの身体操作の低下が教育現場で見られると報告されている。このような各ライフステージにおける諸問題は、運動器および身体を操作する能力の低下によって引き起こされていると言われており、人が身体を巧みに操作するためにはコーディネーション能力を高める必要があると考えられている。

このコーディネーション能力は、身体を巧みに動かす能力のことで、東根(2006)は、状況を運動学的な五感といわれる知覚や聴覚、平衡感覚、皮膚感覚、筋感覚などの感覚受容器で察知し、そこから得られた情報を脳で収集し、運動効果器に指令を出すといった一連の過程をスムーズに行う能力のことと述べている。また、その能力は、定位能力、変換能力、リズム能力、反応能力、バランス能力、連結能力、識

別能力の7つの能力によって構成されると説明している。さらに、荒木(2009)は身体を巧みに動かす能力の基盤となる土台にバランス能力(平衡能力)を位置付けている。加えて、その土台であるバランス能力(平衡能力)からトレーニングを進めていくことの重要性を述べている。そこで、本研究ではコーディネーション能力の要素のひとつであるバランス能力に着目した。

このバランス能力は、移動を伴わない同一の支持基底面内で姿勢等を保持する際に必要な静的バランス能力と、動作などにより新たな支持基底面に重心を移動させるといった不安定な環境下において姿勢や動きを調整する際に必要な動的バランス能力に大別される(Brown and Mynark, 2007; Davlin, 2004; Nardone and Schieppati, 2010)。一方で、これとは異なり、新たに支持基底面へ重心を移動させなくても、軟面や斜面、振動面などの支持基底面内でのバランス能力を動的バランス能力と定義する捉え方もある(Cone et al., 2015)。同様に、鈴木ほか(2015)は、動的バランス能力について、環境面からの負荷(支持基底面の変化・視覚的負荷)がかかることで支持基底面を移動せずとも支持基底面内において重心を安定的に移動することのできる能力と定義している。このように、動的バランス能力については多様な考え方が存在している。よって、本研究では、支持基底面における軟面で発揮されるバランス能力を動的バランス能力と同等であると捉えた。

近年では、身体を巧みに扱うために必要とされるバランス能力の向上をねらいとした多種多様な運動プログラムが考案され、それらの運動プログラムでは用具を活用しないものから、バランスパッドなどの用具を活用したものがある。特に、用具を活用した運動プログラムは、用具特性に関連した運動効果を得られるのみならず、動きに多様な変化をもたらすと同時に実施者の高い興味性や継続性を引き出すことができるといわれている(板垣, 1990; 長谷川, 2000; 池田・長谷川, 2010)。その中でも、より不安定な環境で高いパフォーマンスを実施することが要求されるアスリートのための運動プログラムとしては、Gボール、バランスクッションやBOSUボールなどがある(深瀬・本谷, 2001)。これらの用具特性である「弾性」

や「伸縮性」を活用した運動プログラムは、より不安定な環境下で実施できることから、動的バランス能力を高めることができると考えられている。そこで、同様の不安定な運動環境を創り出すことができる用具のひとつとして、立体網状構造体(図1)に着目した。

この立体網状構造体は、酢酸ビニル樹脂(polyvinyl acetate)を射出し、網状構造をもつ直方体に成型したもので、「弾性」・「動揺性」・「柔軟性」を特徴とする運動用具である。これらの特徴を活用した立位バランスやジャンプといった運動課題は、不安定な支持面(軟面)による揺れを誘発させることによって、バランスや運動制御に必要な体性感覚情報を変化させ、通常のできる床で行うよりも運動課題の難易度を上げることができる(板谷ほか, 2004; 鈴木ほか, 2006)。この立体網状構造体を活用した運動プログラムに関する研究について、檜皮(2006)の高齢者を対象とした研究や木塚ほか(2005)の幼児を対象に行った研究では、バランス能力の向上を促せる可能性が示唆されているが、体力が最も充実する健康な大学生を対象とした研究は数少ないのが現状である。さらに、軟面での支持基底面における運動プログラムが動的ならびに静的バランス能力に与える影響に関する研究は、医学領域において近年始められたところである(岩淵ほか, 2017)。

本研究では、大学生を対象とした不安定な揺れを誘発する立体網状構造体を活用した軟面におけるバランスの運動プログラムを試案すること、および試案した運動プログラムを健康な大学生に実施させ、運動プログラムの内省調査とバランス能力の変容から試案した運動プログラムを検証することによって基礎的知見を得ることを目的とした。

II. 方法

1. 調査対象者

T大学学生113名(男性75名:平均年齢20.07歳, SD = 0.95, 女性38名:平均年齢20.11歳, SD = 1.03)を対象に調査を実施した。また,追加調査に同意したその内の25名(男性12名:平均年齢20.67歳, SD = 1.23, 女性13名:平均年齢20.62歳, SD = 1.26)については,重心動揺の測定を加えて実施した。

なお,調査対象者への倫理的配慮として,実施内容の説明後に収集したデータは研究以外に一切使用しないこと,また個人は特定されないこと等を伝え,研究協力への承諾と同意を得て実施した。

2. 用具・運動プログラム

研究用具として,縦横50cm×高さ10cmと縦横100cm×高さ10cmの2種類の立体網状構造体(サンハーズ社製:図1)を活用した。また,運動プログラムとして,この立体網状構造体の特性である「弾性」・「動揺性」・「柔軟性」を活用した軟面上での6種類の運動課題①から⑥を試案し,各運動課題には,初級・中級・上級の3つの異なる課題レベルを設定した(表1)。なお,運動課題①から⑤は縦横50cm×高さ10cmの立体網状構造体を,運動課題⑥のみ縦横100cm×高さ10cmの立体網状構造体を活用した。さらに,試案する際は体操コーチングを専門とする大学教員1名と体操を専門とする研究者1名の間で,各運動課題の課題特性,興味度や難易度が本研究の意図や調査対象者の体力・運動能力に適するののか,また,調査対象者の安全性が十分に確保できるかについて協議した。

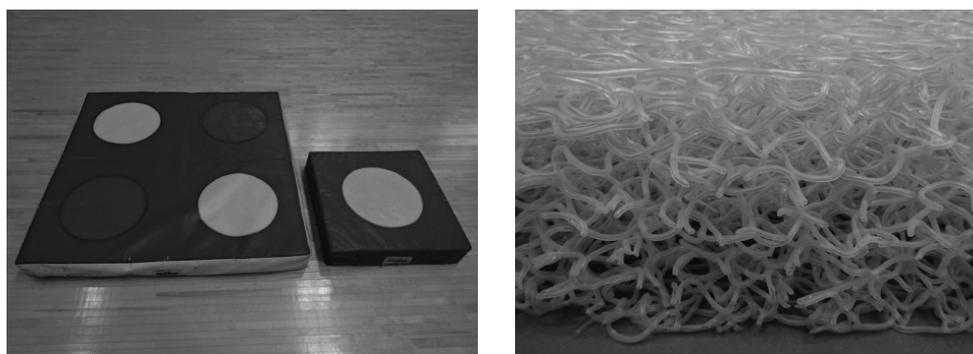


図1 立体網状構造体の概観(左)とその素材(右)

表1 試案した運動プログラムの概要

名称	内容	課題レベル
運動課題① 開眼片足バランス	立体網状構造体上に乗る、片足でのバランスを開眼で10秒間保持する。	初級：静止 中級：両腕を前後に大きく10回まわしながら 上級：前方の空間に支持している逆足で自身の名前を書きながら
運動課題② 閉眼片足バランス	床または立体網状構造体上で、片足でのバランスを閉眼で10秒間保持する。	初級：床上で 中級：立体網状構造体1個の上で 上級：立体網状構造体2個積み重ねた上で
運動課題③ 傾け片足バランス	立体網状構造体上に乗る、開眼で姿勢（上体）を45度傾けたままバランスを10秒間保持する。	初級：前方へ傾けて 中級：右・左側方へ傾けて 上級：後方へ傾けて
運動課題④ 回転ジャンプ	立体網状構造体上に乗る、ジャンプしながら1周まわる。	初級：1回のジャンプで90°回転する 中級：1回のジャンプで180°回転する 上級：1回のジャンプで360°回転する
運動課題⑤ だるま落とし	連続10回ジャンプをしている最中に、足下にある立体網状構造体を1個ずつ順に抜き取ったり、戻したりする。例えば上級課題の3個の場合、だるま落としのように実施者がジャンプをしている間にペアの相手が一番上に積んである立体網状構造体を抜き取る。その後実施者は2個積み重ねられている立体網状構造体上に着地するといったように順に減らしていき、立体網状構造体がなくなったら逆に積み上げていく。	初級：立体網状構造体1個の上に乗る、開始する 中級：立体網状構造体2個積み重ねた上に乗る、開始する 上級：立体網状構造体3個積み重ねた上に乗る、開始する
運動課題⑥ 連続ジャンプ	床または立体網状構造体上で連続ジャンプしながら、移動する。	初級：床と立体網状構造体を交互に移動しながら 中級：立体網状構造体上で前方へ進みながら 上級：立体網状構造体上で後方へ進みながら

* 運動課題①から⑤：立体網状構造体（縦横50cm×高さ10cm）、運動課題⑥：立体網状構造体（縦横100cm×高さ10cm）を活用

3. 調査項目

1) 試案した運動プログラムの内省調査

立体網状構造体上での試案した6種類の運動課題に関する内省調査について、全体を評価する全体評価と運動課題毎に評価する個別評価を実施した。調査項目は、達成度、興味度、難易度とした。達成度は、各運動課題の初級・中級・上級課題に対して2段階評価（できた／できない）とした一方で、興味度・難易度は、各運動課題に設定された上級課題に対してのみ5段階で評価を実施した。なお、興味度については、1を「つまらない」、5を「非常に楽しい」とし、難易度については、1を「簡単」、5を「非常に難しい」とした。最後に、内省調査は各運動課題を実施した直後に個別評価を、6種類の運動課題をすべて実施した直後に全体評価を実施した。

2) バランス測定

(1) バランス保持時間

実施前後におけるバランス能力の指標として、4つの運動条件（静的バランス能力の指標：床上での開眼・閉眼バランス、動的バランス能力の指標：立体網状構造体上での開眼・閉眼バランス）における片足でのバランス保持時間を測定した。その際、最大保持時間を30秒間に設定した。なお、立体網状構造体の用具特性ならびに測定課題の動きに十分慣れた状態で測定を行うため、調査前において全調査対象者に

各測定課題の模擬試技を5分間実施させることによって配慮した。

(2) 重心動揺

実施前後におけるバランス能力の指標として、片足でのバランス保持中の重心動揺について測定した。重心動揺の測定については、重心動揺計（アニマ社製グラビコーダGS-7）を使用し、バランス保持時間の測定と同様に、上述した4つの運動条件でバランス保持中の重心動揺を30秒間測定した。測定の実施方法については、今岡ほか（1997）に従い、測定に慣れるための練習を実施させた。その後、楽な姿勢で片足立ちさせ、大きな揺れが消失したのを確認して、記録を開始した。また、記録時間が30秒間に満たなかった場合は再測定を行うこととした。最後に、立体網状構造体上での測定に関しては、重心動揺計の上に立体網状構造体を敷いて測定を実施した（図2）。なお、動的バランス能力を評価する検査法はいくつか存在し、その信頼性や妥当性を示す報告はあるものの、実際の使用にあたっては種々の問題点も指摘されていることから実用性のある評価指標を開発する余地はあると言われている（望月・金子，2009）。そのため、近年では重心動揺計上にラバー等の軟材を敷いて実施する測定の検討が進められている。そこで、本研究では岩淵ほか（2017）の軟材を活用した測定法を参考にし、重心動揺計の上に立体網状構造体を敷いて測定するといった新たな動的バランス能力を評価する検査法を用いることとした。

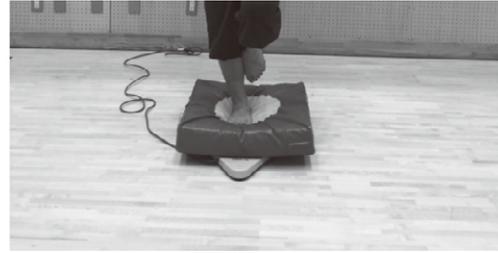


図2 重心動揺計での測定様子
(左：床上 右：立体網状構造体上)

4. 調査プロトコル

全調査対象者 113 名 (男性 75 名, 女性 38 名) に十分な準備運動ならびに測定課題の練習を実施させた後, 実施前における片足での 4 つの運動条件におけるバランス保持時間について調査を実施した。

その後, 試案した 6 種類の運動課題 (表 1) について各 3 分間, 合計 18 分間実施させた。また, 各運動課題を実施する際には, 難易度の低い初級, 続いて中級, 上級の順に課題を実施させた。

最後に, 実施前に測定した片足での 4 つの運動条件におけるバランス保持時間の調査を実施後においても実施した。

なお, 全調査対象者の内から追加調査に同意した 25 名 (男性 12 名, 女性 13 名) については, 試案した運動プログラムの実施前後において, 上述した 4 つの運動条件でバランス保持中の重心動揺について 30 秒間測定した。

5. 分析方法

試案した運動プログラムの内省調査における全体評価と個別評価について, 達成度は全調査対象者ならびに性別群において「できた」と回答した人数の全体に対する割合について単純集計ならびにクロス集計した。一方, 興味度と難易度は全調査対象者ならびに性別群において単純集計ならびにクロス集計した。また, 各調査項目における性別群間を比較するために対応のない t 検定を実施した。

次に, 片足でのバランス保持時間については, 実施前後の全調査対象者ならびに性別群における結果について単純集計ならびにクロス集計するとともに, 実施前後を比較するために対応のある t 検定を実施した。さらに, 実施前後における性別群間を比較するために対応の

ない t 検定を実施した。実施前後における重心動揺測定の実施項目は, 総軌跡長 (cm), 外周面積 (cm²) とし, 実施前後の全調査対象者ならびに性別群における結果について単純集計ならびにクロス集計するとともに, 実施前後を比較するために対応のある t 検定を実施した。さらに, 実施前後における性別群間を比較するために対応のない t 検定を実施した。なお, 運動プログラムの内省調査における達成度の結果を除き, 全調査対象者ならびに性別群におけるすべての測定値に関しては, Kolmogorov-Smirnov 検定を実施した結果, データの正規性が保証された。最後に, 統計解析ソフトは IBM SPSS Statistics ver. 25 (日本 IBM 社製) を用い, 有意水準は 5% 未満とした。

Ⅲ. 結果

1. 試案した運動プログラムの内省調査

表 2 は, 試案した運動プログラムに関する達成度・興味度・難易度の調査結果について, 全調査対象者ならびに性別群でまとめたものである。全調査対象者における全体評価について, 達成度は初級課題が $99.85 \pm 0.04\%$, 中級課題が $97.64 \pm 0.15\%$, 上級課題が $89.23 \pm 0.31\%$ であったことから, 課題の難易度が上がると, 達成度が低下することが確認された。一方, 興味度は 3.62 ± 0.90 , 難易度は 3.24 ± 1.29 であった。

次に, 性別群間で比較すると全体評価における初級・中級・上級課題の達成度は男性よりも女性の方が高く, また, 興味度においても男性 (3.55 ± 0.87) よりも女性 (3.78 ± 0.94) の方が有意に高かった ($t = 3.10, p < .01$)。一方, 難易度については男性が 3.27 ± 1.28 , 女性が 3.17 ± 1.32 で有意な差は確認されなかった。

続いて, 個別評価における最も高値であった

表2 試案した運動プログラムの全体・個別評価

		全調査対象者			性別群					
		N = 113			男性 N = 75		女性 N = 38		男性 vs 女性	
		M	SD		M	SD	M	SD	p	t 値
全体評価	達成度	初級	99.85%	0.04	99.78%	0.05	100.00%	0.00	-	-
		中級	97.64%	0.15	97.11%	0.17	98.68%	0.11	-	-
		上級	89.23%	0.31	87.33%	0.33	92.98%	0.26	-	-
	興味度	3.62	0.90	3.55	0.87	3.78	0.94	0.00	**	3.10
	難易度	3.24	1.29	3.27	1.28	3.17	1.32	0.35		0.93
運動課題① 開眼片足バランス	達成度	初級	100.00%	0.00	100.00%	0.00	100.00%	0.00	-	-
		中級	98.23%	0.13	97.33%	0.16	100.00%	0.00	-	-
		上級	95.58%	0.21	93.33%	0.25	100.00%	0.00	-	-
	興味度	3.37	0.88	3.40	0.79	3.32	1.04	0.63		0.48
	難易度	2.51	1.36	2.80	1.38	1.95	1.16	0.00	**	3.27
運動課題② 閉眼片足バランス	達成度	初級	99.12%	0.09	98.67%	0.12	100.00%	0.00	-	-
		中級	94.69%	0.23	94.67%	0.23	94.74%	0.23	-	-
		上級	84.07%	0.37	82.67%	0.38	86.84%	0.34	-	-
	興味度	3.73	0.77	3.69	0.73	3.76	0.88	0.66		0.45
	難易度	3.77	1.15	3.88	1.06	3.55	1.29	0.15		1.44
運動課題③ 傾け片足バランス	達成度	初級	100.00%	0.00	100.00%	0.00	100.00%	0.00	-	-
		中級	97.35%	0.16	96.00%	0.20	100.00%	0.00	-	-
		上級	85.84%	0.35	82.67%	0.38	92.11%	0.27	-	-
	興味度	3.43	0.90	3.36	0.90	3.58	0.89	0.22		1.23
	難易度	3.47	1.28	3.52	1.30	3.37	1.26	0.56		0.59
個別評価 運動課題④ 回転ジャンプ	達成度	初級	100.00%	0.00	100.00%	0.00	100.00%	0.00	-	-
		中級	100.00%	0.00	100.00%	0.00	100.00%	0.00	-	-
		上級	84.96%	0.36	82.67%	0.38	89.47%	0.31	-	-
	興味度	3.72	1.00	3.63	1.01	3.89	0.98	0.18		1.35
	難易度	3.17	1.25	3.12	1.31	3.26	1.13	0.57		0.57
運動課題⑤ だるま落とし	達成度	初級	100.00%	0.00	100.00%	0.00	100.00%	0.00	-	-
		中級	96.46%	0.19	96.00%	0.20	97.37%	0.16	-	-
		上級	88.50%	0.32	88.00%	0.33	89.47%	0.31	-	-
	興味度	3.98	0.81	3.80	0.81	4.34	0.71	0.00	**	3.52
	難易度	3.65	1.07	3.53	1.06	3.87	1.07	0.12		1.59
運動課題⑥ 連続ジャンプ	達成度	初級	100.00%	0.00	100.00%	0.00	100.00%	0.00	-	-
		中級	99.12%	0.09	98.67%	0.12	100.00%	0.00	-	-
		上級	96.46%	0.19	94.67%	0.23	100.00%	0.00	-	-
	興味度	3.51	0.88	3.40	0.87	3.74	0.86	0.05		1.95
	難易度	2.85	1.18	2.76	1.16	3.03	1.22	0.26		1.13

* 達成度は「できた」と回答した人数の全体に対する割合を表記。

M: 平均値, SD: 標準偏差, *: p < .05, **: p < .01 (両側検定)

上級課題の各調査項目について、達成度は運動課題⑥で 96.46 ± 0.19%, 興味度は運動課題⑤で 3.98 ± 0.81, 難易度は運動課題②で 3.77 ± 1.15 であった。逆に、最も低値であった各調査項目について、達成度は運動課題②で 84.07 ± 0.37%, 興味度は運動課題①で 3.37 ± 0.88, 難易度は運動課題①で 2.51 ± 1.36 であった。

次に、個別評価における上級課題の達成度について性別群間で比較すると、全運動課題において男性よりも女性の方が高かった。また、興味度と難易度については性別群間で有意な差が2つの調査項目において確認され、運動課題①の難易度が女性 (1.95 ± 1.16) よりも男性 (2.80 ± 1.38) の方が有意に高く (t = 3.27, p < .01), また、運動課題⑤の興味度は男性 (3.80 ± 0.81) よりも女性 (4.34 ± 0.71) の方が有意に高かった (t = 3.52, p < .01)。しかしながら、その他の調査項目においては、性別群間における有意な差は確認されなかった。

2. バランス測定

1) バランス保持時間

実施前後におけるバランス能力の指標として、4つの運動条件における片足でのバランス保持時間を測定した結果が表3である。

実施前後における全調査対象者のバランス保持時間は、床上での開眼と閉眼ならびに立体網状構造体上での開眼において、ほとんどの者が最大保持時間に設定した30秒間実施できたことが示され、有意な差は確認されなかった。しかしながら、立体網状構造体上での閉眼においては、実施前は 18.95 ± 9.82 秒間から、実施後には 22.35 ± 9.11 秒間へ、3.41 秒間 (17.94%) の有意な向上が確認された (t = 3.60, p < .001)。

次に、各性別群における実施前後のバランス保持時間は、全調査対象者の結果と同様で、床上での開眼と閉眼ならびに立体網状構造体上での開眼において有意な差は確認されなかったが、立体網状構造体上での閉眼においては、実施前は男性 18.77 ± 9.52 秒間、女性 19.29 ±

10.49 秒間であったが、実施後には男性 21.51 ± 9.43 秒間、女性 24.03 ± 8.32 秒間であったことから、それぞれ 2.73 秒間 (14.60%)、4.74 秒間 (24.57%) の有意な向上が確認された (男性 $t = 2.27, p < .05$; 女性 $t = 3.15, p < .01$)。

なお、性別群間のバランス保持時間について比較したところ、実施前後の 4 つの運動条件における有意な差は確認されず、バランス保持時間について性差は認められなかった。

2) 重心動揺

実施前後におけるバランス能力の指標として、4 つの運動条件における片足でのバランス保持中の重心動揺を測定した結果が表 4 である。

実施前後における全調査対象者の総軌跡長と外周面積を比較した結果、総軌跡長については 4 つの運動条件のすべてにおいて有意な差が確認され、減少することが示された (床・開眼: $t = 3.99, p < .01$, 床・閉眼: $t = 2.88, p < .01$, 立体網状構造体・開眼: $t = 4.03, p < .001$, 立体網状構造体・閉眼: $t = 5.16, p < .001$)。一

方で外周面積については、4 つの運動条件のすべてにおいて有意な差が確認されなかった。

次に、各性別群における実施前後の重心動揺を比較した結果、総軌跡長については女性における床上での閉眼を除き、その他の運動条件において有意な差が確認され、減少することが示された (男性・床・開眼: $t = 2.87, p < .05$, 男性・床・閉眼: $t = 2.50, p < .05$, 男性・立体網状構造体・開眼: $t = 3.36, p < .01$, 男性・立体網状構造体・閉眼: $t = 3.12, p < .05$, 女性・床・開眼: $t = 2.81, p < .05$, 女性・立体網状構造体・開眼: $t = 2.39, p < .05$, 女性・立体網状構造体・閉眼: $t = 4.17, p < .01$)。一方、外周面積については女性における立体網状構造体上での閉眼において有意な差が確認され ($t = 3.27, p < .01$)、減少することが示されたが、その他の運動条件においては有意な差が確認されなかった。

最後に、性別群間の重心動揺について比較したところ、総軌跡長については実施後における床上での開眼と立体網状構造体上での開眼、ならびに実施前における立体網状構造体上での

表 3 実施前後における片足でのバランス保持時間 (秒間)

		全調査対象者						性別群						男性 vs 女性			
		N = 113						男性 N = 75				女性 N = 38					
		M	SD	実施前 vs 実施後 変化量	t 値	M	SD	実施前 vs 実施後 変化量	t 値	M	SD	実施前 vs 実施後 変化量	t 値				
床 (硬面)	開眼	実施前	30.00	0.00	-0.08	1.00	30.00	0.00	-0.12	1.00	30.00	0.00	0.00	-	0.00	-	
		実施後	29.92	0.85			29.88	1.04			30.00	0.00			-0.12	0.71	
	閉眼	実施前	29.63	2.74	-0.23	1.01	29.44	3.35	0.05	0.32	30.00	0.00	-0.79	1.36	-0.56	1.03	
		実施後	29.40	2.90			29.49	2.51			29.21	3.59			0.28	0.49	
立体網状構造体 (軟面)	開眼	実施前	29.51	2.89	-0.37	0.80	29.37	3.43	-0.31	0.47	29.79	1.30	-0.50	1.00	-0.42	0.72	
		実施後	29.14	4.41			29.07	4.45			29.29	4.38			-0.22	0.25	
	閉眼	実施前	18.95	9.82	3.41	***	3.60	18.77	9.52	2.73	*	2.27	19.29	10.49	-0.52	0.26	
		実施後	22.35	9.11				21.51	9.43			24.03	8.32	4.74	**	3.15	-2.52

M; 平均値, SD; 標準偏差, *; $p < .05$, **; $p < .01$, ***; $p < .001$ (両側検定)

表 4 実施前後における重心動揺

分析項目		全調査対象者						性別群						男性 vs 女性							
		N = 25						男性 N = 12				女性 N = 13									
		M	SD	実施前 vs 実施後 変化量	t 値	M	SD	実施前 vs 実施後 変化量	t 値	M	SD	実施前 vs 実施後 変化量	t 値								
総軌跡長 (cm)	床 (硬面)	開眼	実施前	119.91	22.30	-14.64	**	3.99	130.83	23.65	-17.93	*	2.87	109.83	15.89	-11.61	*	2.81	21.00	*	2.63
			実施後	105.26	22.47				112.90	26.02			98.21	16.64			14.69	1.70			
		閉眼	実施前	217.56	63.37	-29.19	**	2.88	254.85	68.08	-47.77	*	2.50	183.13	33.27	-12.03	2.01	71.72	**	3.39	
			実施後	188.37	41.70				207.08	47.70			171.10	26.81			35.98	*	2.35		
	立体網状構造体 (軟面)	開眼	実施前	135.32	36.99	-10.60	***	4.03	150.43	44.23	-14.45	**	3.36	121.37	22.46	-7.04	*	2.39	29.05	*	2.10
			実施後	124.72	31.52				135.98	35.20			114.33	24.63			21.65	1.79			
		閉眼	実施前	348.68	76.66	-71.18	***	5.16	365.38	70.88	-54.52	*	3.12	333.27	81.31	-86.56	**	4.17	32.12	1.05	
			実施後	277.50	75.06				310.86	83.96			246.70	51.62			64.15	*	2.32		
外周面積 (cm ²)	床 (硬面)	開眼	実施前	5.25	1.97	0.01	0.03	6.17	2.28	0.15	0.19	4.41	1.17	-0.12	0.45	1.76	*	2.46			
			実施後	5.27	2.20			6.32	2.59			4.29	1.17			2.03	*	2.56			
		閉眼	実施前	11.91	6.40	-1.18	1.15	15.82	7.33	-2.89	1.47	8.30	1.75	0.40	0.69	7.53	**	3.60			
			実施後	10.73	3.96			12.93	4.56			8.70	1.71			4.23	**	3.12			
	立体網状構造体 (軟面)	開眼	実施前	6.89	3.43	-0.20	0.37	7.80	4.35	0.02	0.02	6.05	2.13	-0.40	0.82	1.75	1.30				
			実施後	6.69	2.77			7.81	3.12			5.65	2.01			2.16	*	2.08			
		閉眼	実施前	24.12	6.20	-3.09	1.97	25.88	6.70	-0.92	0.34	22.49	5.46	-5.10	**	3.27	3.39	1.39			
			実施後	21.03	9.31			24.97	12.01			17.39	3.36			7.58	*	2.19			

M; 平均値, SD; 標準偏差, *; $p < .05$, **; $p < .01$, ***; $p < .001$ (両側検定)

閉眼において女性の方が低値である傾向が確認され、また、その他の運動条件において女性の方が有意な低値であることが示された(実施前・床・開眼： $t = 2.63, p < .05$, 実施前・床・閉眼： $t = 3.39, p < .01$, 実施後・床・閉眼： $t = 2.35, p < .05$, 実施前・立体網状構造体・開眼： $t = 2.10, p < .05$, 実施後・立体網状構造体・閉眼： $t = 2.32, p < .05$)。一方、外周面積についても実施前における立体網状構造体上での開眼と閉眼において女性の方が低値である傾向が確認され、また、その他の運動条件において女性の方が有意な低値であることが示された(実施前・床・開眼： $t = 2.46, p < .05$, 実施後・床・開眼： $t = 2.56, p < .05$, 実施前・床・閉眼： $t = 3.60, p < .01$, 実施後・床・閉眼： $t = 3.12, p < .01$, 実施後・立体網状構造体・開眼： $t = 2.08, p < .05$, 実施後・立体網状構造体・閉眼： $t = 2.19, p < .05$)。

IV. 考察

1. 試案した運動プログラムの内省調査

「弾性」・「動揺性」・「柔軟性」の特徴を有する立体網状構造体を活用した運動課題は、不安定な支持面(軟面)による揺れによって通常の床で行うよりも運動課題の難易度を上げることができると考えられている(板谷ほか, 2004; 鈴木ほか, 2006)。つまり、立体網状構造体上で各運動課題を実践する際、実施者は足下がグラグラして上下左右に揺れることから、それらの揺れに対し姿勢や動きを調整することが求められる。また、これらの軟面上での揺れは、硬面である床上での運動実践では得られない特殊な運動感覚が伴うことから、普段経験しない不安定な環境下において実施することが必要になると考えられる。本研究では健康な大学生を対象としており、全調査対象者における全体評価において、初級、中級、上級の運動課題における達成度がほぼ9割以上であったことから、軟面上での運動課題であったものの過大な負荷を感じることなく容易に実施していたことが確認された。さらに、運動課題の課題レベルが上がると達成度が低下したことから、試案した運動プログラムにおける初級、中級、上級の運動課題における難易度は本調査対象者であった大学生にとって段階的に設定されてい

たことが示された。また、全体評価における性別群間の結果を比較すると、初級・中級・上級課題の達成度は男性より女性の方が高く、興味度も男性より女性の方が有意に高いことが確認された。女性の達成度が男性より高値であったことについて、野中ほか(2017)は本調査対象者と年代である平均年齢19歳を対象とした調査において、床(硬面)上における両足立ちでの静的バランス能力に性差があることを報告しており、男性より女性の方が有意に高いことを示している。本研究で試案した運動プログラムは、立体網状構造体上で実施する課題であったことから、軟面上においても男性より女性の方が高いといった動的バランス能力における性差が確認できる可能性が示唆された。

続いて、個別評価における達成度と難易度をみると、最も高値であったのは運動課題⑥(達成度： $96.46 \pm 0.19\%$)と運動課題②(難易度： 3.77 ± 1.15)で、逆に低値であったのは運動課題②(達成度： $84.07 \pm 0.37\%$)と運動課題①(難易度： 2.51 ± 1.36)であったことから、ライフステージにおいて最も体力・運動能力が充実する大学生にとっては、厚さ10cmの立体網状構造体1個を活用して、その上でバランス保持やジャンプ移動するといった課題は容易であったと推察された。一方で、閉眼での運動条件を加えることで課題の達成をさらに困難にさせることや、立体網状構造体を2個積み上げたより不安定な軟面上での実施は、身体を課題に適応させることが難しくなることが確認された。そのため、閉眼での実施や複数個の立体網状構造体を活用することは、試案する運動課題の難易度を設定する際の重要な観点になる可能性が推察された。

一方で、興味度をみると高値であったのは運動課題⑤(3.98 ± 0.81)、次いで運動課題②(3.73 ± 0.77)であった。なお、運動課題⑤の興味度については、男性(3.80 ± 0.81)より女性(4.34 ± 0.71)の方が高いといった性差が確認された($t = 3.52, p < .01$)。そのため、遊戯のひとつであるだるま落としのような運動遊びの要素を取り入れることや、複数個の立体網状構造体を活用して前後左右にグラグラし、かつ上下にフワフワと揺れるといったより不安定な環境下で実施させることが、男性のみならず、女性の興味度を向上させるのに効果的である可能

性が推察された。これまで、本谷ほか(2018)は「弾力性」・「動揺性」・「伸縮性」といった立体網状構造体と共通する用具特性を有する伸縮ロープを活用した運動プログラムの実施調査において、調査対象者の大学生より7割以上といった高値な興味度(75.5±20.2%)ならびに心理的・身体的効果を報告している。本調査においても大学生における全体評価の興味度が3.62±0.90で中値(3.00)以上の結果を得られたことから、試案した立体網状構造体を活用した運動プログラムは、実施者の動く意欲を引き出しながら身体を操作する能力を向上させるための運動プログラムのひとつとなる可能性が推察された。

2. バランス測定

1) バランス保持時間

実施前後における全調査対象者ならびに各性別群における片足でのバランス保持時間は、床上での開眼と閉眼ならびに立体網状構造体上での開眼において、ほとんどの者が最大保持時間に設定した30秒間実施できた。このことから、大学生においてはこれらの運動条件における測定課題は容易であったと考えられた。また、これらの測定結果において、最大値に規定した30秒間を容易に達成し、測定値が最大値に偏るといった天井効果が示されたことから、実施前後におけるバランス保持時間の結果について比較検討をすることは無意味であると言える。一方で、課題レベルが最も高く、動的バランス能力の指標とした立体網状構造体上での閉眼においては有意な差が確認され、その変化量を割合で示すと、全調査対象者は17.94%、男性は14.60%、女性は24.57%の向上であった。これまで、立体網状構造体を活用した不安定な軟面上での運動プログラムは、実施者の活動意欲を高めると同時にバランス能力の向上に有効であることが幼児や高齢者を対象とした先行研究(飯嶋ほか, 2010; 檜皮, 2006)において報告されている。本研究においても、立体網状構造体上での閉眼におけるバランス保持時間が有意に向上したことから、立体網状構造体を活用した運動プログラムは、大学生においても即時的ではあるものの包括的に動的バランス能力の向上に貢献する可能性が推察された。しかしながら、これらの向上につ

いては、事前に測定に慣れるための適切な練習を実施したものの、実施前後に測定した調査項目の運動内容と試案した運動課題①と②で実施した運動内容における運動様式が類似しているため、練習効果による影響があったことも否定できない。ただ、松井ほか(1976)によると、測定課題と運動様式が類似する運動と、石わたりや輪くぐりといった遊戯的要素を取り入れた運動による効果を幼児と児童を対象として検証した結果、遊戯的要素を取り入れた運動で効果が著しかったと報告している。つまり、実践した運動内容が測定項目の運動内容に類似しているかどうかではなく、実施する際の実施者における意欲や積極的な活動が効果の結果に大きく影響しているとも考えられる。そのため、測定課題と運動形式が類似運動と遊戯的要素を取り入れた運動による効果の違いを大学生においても検証する等、さらなる詳細な調査が必要であると考えられた。

次に、性別群間のバランス保持時間について比較したところ、実施前後の4つの運動条件における有意な差は確認されず、性差は認められなかった。これについても、全調査対象者の結果と同様に測定値が最大値に偏るといった天井効果が影響していることが考えられた。本測定では、床上での開眼と閉眼ならびに立体網状構造体上での開眼においてはほとんどの者が、また、立体網状構造体上での閉眼においては実施前で男性は32%(24名/75名)、女性は34%(13名/38名)、実施後で男性は45%(34名/75名)、女性は55%(21名/38名)がバランス保持時間の最大値に規定した30秒間を達成していた。つまり、天井効果により調査対象者のバランス保持時間の最大値以上におけるバランス能力については検証できていないことから、測定時間をより長く設定することによって、性差については確認できる可能性は否定できないと推察された。

2) 重心動揺

実施前後における全調査対象者の重心動揺について比較すると、総軌跡長は4つの運動条件のすべてにおいて有意な差が確認され、その変化量を割合で表すと、それぞれ12.21%、13.42%、7.83%、20.41%減少することが示された一方で、外周面積は4つの運動条件のすべ

てにおいて有意な差が確認されなかった。この総軌跡長の減少については、上述した通り、グラフした揺れを認知するとともに、その揺れに姿勢や動きを積極的に調整するといったより不安定な環境下における複雑な運動経験を通して、バランスや運動制御に必要な体性感覚を即時的に向上させた可能性が考えられた。その結果、実施後における重心動揺の測定中に姿勢が不安定になった場合には、主に立体網状構造体上の軟面と接している足底部の体性感覚から得られた情報をもとに瞬時に姿勢調整を行うことで姿勢を安定させていたと推察された。つまり、調査対象者は姿勢が崩れそうになると瞬時に姿勢を調整することで大きな姿勢の乱れに対処できるようになり、結果として重心動揺における総軌跡長が減少したのではないかと推察された。ただ、外周面積においても同様の有意な減少が確認できると予想していたが示されなかったため、その詳細な検討について今後の課題としたい。

次に、各性別群における実施前後で比較すると、女性における床上での閉眼を除き、その他の運動条件において総軌跡長の有意な減少が確認された。一方、外周面積については、女性における立体網状構造体上での閉眼を除き、その他の運動条件において有意な差が確認されなかった。その結果、実施前後の重心動揺の比較結果に対する全調査対象者と各性別群における特段の差異は示されなかった。望月(2008)は、姿勢保持におけるバランスの安定性について、身体の動揺の程度を表す重心動揺の大きさと、支持基底面の中で随意的に重心を移動できる範囲である安定性限界の大きさによって説明できると述べている。つまり、バランスを保持し続ける場合には、安定性限界とよばれる機能的な支持基底面内に体重心を取めることが必要になる。当然、バランスの安定性を向上させるためには安定性限界の範囲をより拡大させることと、重心動揺をより小さくするといった2つの観点が必要であると言える。また、バランス能力とはバランスを保持するための身体能力であり、姿勢調節を担う神経機能(平衡機能)を中核とし、感覚機能、筋機能、骨・関節機能、呼吸・循環機能、認知機能などの要素がシステムとして働くことで発揮される身体能力であると考えられているが(丸山ほか、

2006)、そのシステムが非常に複雑であることから詳細な経路や姿勢制御能力の要因については現在でも十分に解明されていないのが現状である。本研究では、片足でのバランス保持中に重心の動揺を安定させることが主なねらいとなる測定課題であったことから、その測定結果より安定性限界に関わる検討は難しいと考えられる。しかしながら、動的バランス能力の影響が大きいと考えられる立体網状構造体上での運動プログラムを実施することで、静的ならびに動的バランス能力の指標とした4つの運動条件のすべてにおいてバランス保持中の総軌跡長が有意に減少したことから、即時的ではあるものの動的のみならず静的バランス能力の向上に貢献する可能性が推察された。

続いて、重心動揺について性別群間で比較したところ、総軌跡長については実施後における床上での閉眼と立体網状構造体上での開眼、ならびに実施前における立体網状構造体上での閉眼を除き、その他の運動条件において有意な差が確認され、女性の方が低値であることが示された。また、外周面積については実施前における立体網状構造体上での開眼と閉眼を除き、その他の運動条件において有意な差が確認され、総軌跡長と同様に女性の方が低値であることが示された。これまで、両足立ちでのバランス保持における重心動揺を指標としたバランス能力について、幼児を対象とした研究(崎田ほか、2011)や大学生を対象とした研究(野中ほか、2017)において女性の優位性に関する性差が報告されている。大学生を対象とした本研究においても、静的ならびに動的バランス能力の指標としたバランス保持における重心動揺において性差が確認され、男性より女性の方が有意に低値であったことが示された。

最後に、本研究では動的バランス能力の測定として、重心動揺計の上に立体網状構造体を敷いて行うといった新たな検査法を用いた。そのため、他の検査法との関連性や妥当性についての確証は得られていないことから、本稿では同一の検査法で得られた測定値内においてのみ、結果について比較して検討することとした。今後は、立体網状構造体を用いた新たな検査法における動的バランスを反映させる指標としての有効性や妥当性に関して、更なる調査の必要性が考えられた。

V. 結論

本研究では、大学生を対象とした不安定な揺れを誘発する立体網状構造体を活用した軟面におけるバランスの運動プログラムを試案すること、および試案した運動プログラムを健康な大学生 113 名（男性 75 名，女性 38 名）に実施させ、運動プログラムの内省調査とバランス能力の変容から試案した運動プログラムを検証することによって基礎的知見を得ることを目的とした。

運動プログラムの内省調査では、全調査対象者における全体評価について、達成度は初級課題が $99.85 \pm 0.04\%$ ，中級課題が $97.64 \pm 0.15\%$ ，上級課題が $89.23 \pm 0.31\%$ であったことから課題レベルの難易度は段階的に設定されており、課題の難易度が上がると達成度が低下することが確認された。一方、興味度は 3.62 ± 0.90 ，難易度は 3.24 ± 1.29 であった。

片足でのバランス保持時間では、動的バランス能力の指標とした立体網状構造体上での閉眼においては有意な差が確認され、全調査対象者は 17.94%，男性は 14.60%，女性は 24.57% の向上が示された。

バランス保持における重心動揺では、全調査対象者の総軌跡長は 4 つの運動条件においてそれぞれ 12.21%，13.42%，7.83%，20.41% の有意な減少が示された一方で、外周面積については有意な差が確認されなかった。

以上より、立体網状構造体を活用した軟面における本運動プログラムは、大学生の動く意欲を引き出すと同時に、バランス能力の指標とした片足でのバランス保持時間の向上ならびにバランス保持の重心動揺における総軌跡長の減少といった効果が認められたことから、静的ならびに動的バランス能力の即時的な向上に有効であることが示唆された。その結果、コーディネーション能力の土台であるバランス能力を向上させることが確認できたことで、昨今の各ライフステージにおける身体を操作する能力の低下による諸問題を改善する運動プログラムとしての可能性を示していると考えられた。

今後は、本研究で取り入れた新たな動的バランス能力を評価する検査法に関する有効性と妥当性の検証や、大学生を対象とした難易度を

高めたさらなる不安定な環境下における運動課題を実践することによる効果の検討を通して、コーディネーション能力をより効果的に向上させることのできる運動プログラムを試案して、立体網状構造体を活用した魅力ある運動プログラムの構築を目指していきたい。

付記

本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究（C）課題番号 18K10954）を受けて実施されたものである。

文献

- 荒木秀夫 (2009), 「コーディネーション」から「コーディネーション」へ：コーディネーショントレーニングの実践. スポーツ方法学研究, 22(2): 139-144.
- 東根明人 (2006), 体育授業を変えるコーディネーション運動 65 選-心と体の統合的・科学的指導法-. pp.11-15, 明治図書.
- Brown, C. N., and Mynark, R. (2007), Balance deficits in recreational athletes with chronic ankle instability. *Journal of Athletic Training*, 42 : 367-373.
- 帖佐悦男 (2013), ロコモティブシンドローム：運動器疾患を取り囲む新たな概念—ロコモ予防とシハビリテーション—. *The Japanese Journal of rehabilitation Medicine*, 50 : 48-54.
- Cone, B. L., Levy, S. S., and Goble, D. J. (2015), Wii Fit exer-game training improves sensory weighting and dynamic balance in healthy young adults. *Gait and Posture*, 41 : 711-715.
- Davlin, C. D. (2004), Dynamic balance in high level athletes. *Perceptual Motor Skills*, 98 : 1171-1176.
- 深瀬吉邦, 本谷聡編 (2001), おとなのための G ボール運動あそび. pp.1-3, ギムニク.
- 長谷川聖修 (2000), チャレンジ・ムーブ. pp.54-59, 大修館書店.
- 檜皮貴子 (2006), 高齢者を対象とした転倒予防体操の試案. 筑波大学大学院修士論文.
- 飯嶋裕美, 木塚朝博, 速水達也, 岩見雅人, 板谷厚, 鈴木寛康 (2010), 不安定な接地面上での運動遊びが幼児の運動能力に与える効果. *発育発達研究*, 47 : 10-20.
- 池田延行, 長谷川聖修 (2010), 乗って, 弾んで, 転がって! ちゃれん G ボール-楽しく・なかよく・動きの基礎を身につける体育の授業-. pp.9-12, 明治図書出版.
- 今岡薫, 村瀬仁, 福原美穂 (1997), 重心動揺検査における健常者データの集計. *Equilibrium Research Supplement*, 12 : 1-84.
- 板垣了平 (1990), 体操論. pp.261-265, アイオーエム.
- 板谷厚, 深瀬友香子, 鞠子佳香, 長谷川聖修 (2004), 立体網状構造体を用いた運動の特性とプログラム

- 試案. 日本体操学会第4回大会号, pp.40-41.
- 岩淵慎也, 鈴木康裕, 加藤秀典, 田邊裕基, 遠藤悠介, 石川公久, 羽田康司 (2017), 動的バランス評価指標 modified index of postural stability (MIPS) の再現性と有用性について. 理学療法学, 44 (2) : 131-137.
- 木塚朝博, 鈴木寛康, 長谷川聖修, 白石稔, 山下則之 (2005), 動揺性弾性体を用いた幼児のバランス能力向上への試み. 日本体力医学会第60回大会号, p.551.
- 子どものからだと心・連絡会議編 (2016), 子どものからだと心白書. p.59.
- 厚生労働省 (2013), 平成25年国民生活基礎調査. p.31.
- 厚生労働省 (2016), 平成28年国民生活基礎調査. p.29.
- 丸山仁司, 竹井 仁, 黒澤和生編 (2006), 評価から治療手技の選択 [中枢神経疾患編]. pp.125-137, 文光堂.
- 松井秀治, 勝部篤美, 水谷四郎, 脇田裕久 (1976), 調整力向上のための身体運動の練習効果について. 体育科学, 4 : 158-169.
- 望月久 (2008), バランス能力測定法としての直立検査. 理学療法, 15 : 2-8.
- 望月久, 金子誠喜 (2009), 臨床的バランス能力指標に関わるアンケート調査報告—臨床的バランス能力評価指標の考案に向けて—. 理学療法科学, 24 (2) : 205-213.
- 本谷聡, 高橋靖彦, 小島瑞貴, 堀口文 (2018), 伸縮ロープを活用した体操の試案に関する実践的研究—心理変容および運動強度に着目して—. コーチング学研究, 31 (2) : 253-262.
- Nardone, A., and Schieppati, M. (2010), The role of instrumental assessment of balance in clinical decision making. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 46 : 221-237.
- 野中章臣, 藤田公和, 星野秀樹, 若月徹, 加藤渡, 加藤恵子, 大島博人, 黒柳淳, 脇坂康彦 (2017), 重心動揺に及ぼす性差および身長差の影響について. 日本体育学会第68回大会予稿集, p.133.
- 崎田正博, 石井禎基, 上阪雄介, 土手愛美, 中村泰章, 齊藤貴文, 熊谷秋三 (2011), 児童の性差と年齢における静的立位足圧中心動揺変数の発達的变化. *Japanese Journal of Health Promotion and Physical Therapy*, 1 (1) : 39-50.
- 鈴木寛康, 木塚朝博, 飯島裕美, 長谷川聖修, 衣笠隆 (2006), 弾性動揺体を用いた運動が幼児の調整力に与える効果. 日本体育学会第57回大会予稿集, p.162.
- 鈴木康裕, 中田由夫, 加藤秀典, 田邊裕基, 池淵慎也, 石川公久 (2015), 重心動揺計を用いた動的バランス能力と年齢の関連. 体力科学, pp.419-425.