

# 障害のある生徒の足趾筋力とバランス能力改善のための方策

杉浦 崇夫\*<sup>1</sup>・宮本 剛\*<sup>2</sup>・岡 祐樹\*<sup>3</sup>・森下 成樹\*<sup>2</sup>・福本 卓\*<sup>2</sup>・曾根 涼子\*<sup>4</sup>

Policies for Improving Toe Strength and Balance Skills in Disabled Students

SUGIURA Takao \*<sup>1</sup>, MIYAMOTO Takeshi \*<sup>2</sup>, OKA Yuki \*<sup>3</sup>, MORISHITA Naruki \*<sup>2</sup>,  
FUKUMOTO Takashi \*<sup>2</sup>, SONE Ryoko \*<sup>4</sup>

(Received August 3, 2023)

キーワード：足趾筋力、バランス能力、ラダートレーニング、障害児

## はじめに

二足歩行を行うヒトにおいて、立位姿勢は重心位置が高く足底の狭い接地面で体重が支持されているため著しく不安定である。そして、安静立位状態においても常にわずかな動揺を繰り返し姿勢が保持されている。姿勢の保持は、視覚情報や体性感覚情報、さらに前庭系の情報などを基に脳が中枢処理を行い、出された司令を骨格筋が実行することで行われているが、これらの中で、特に足底からの体性感覚情報の寄与率が高いことが示されている(板谷, 2015)。また、安定した立位姿勢保持のためには足趾の屈曲機能が重要であり、足趾筋力が立位時の静的なバランス能力と深く関係することも報告されている(加辺, 2002)。このようなことから、これまで高齢者の転倒予防を目的に足趾筋力トレーニングの影響が検討され、足趾筋力トレーニングによって足趾把持力が有意に増加、動的バランス機能が改善したことや、閉眼両足立位時ならびに開眼爪先立ち時の重心動揺軌跡長の短縮などが報告されている(木藤ら, 2001)。

知的障害や発達障害のある子どもは、健常の子どもと比較して立位時の重心動揺が大きく、姿勢制御能力が未熟であることが報告されている(小林ら, 1988; 松田ら, 2012)。このことは、これらの子どもでは転倒する機会が多く、けがなどの危険性が高いと考えられる。事実、発達障害傾向にある子どもが家庭内で起こした事故調査では、高所からの転落や転倒が最も多いことが示されている(水野ら, 2018)。

これまで、障害者のバランス能力に及ぼす運動トレーニングの効果については、トランポリン(Giagazoglouら, 2013)や複合現実技術運動プログラム(牛腸ら, 2022)による効果について検討されている。それらの報告では、トレーニングによって重心動揺の改善がみられることが示されている。運動経験の少ない健常な子どもや障害児・者にとって、数多くの運動を経験し運動スキルの獲得を促すことや運動参加へのモチベーションを高揚させることは重要であり、上述した運動以外で姿勢制御能力を高めるような運動種目を探索することは有意義であるように思われる。我々は(杉浦ら, 2022)、調整力を改善するといわれているラダートレーニングを約1ヶ月間(7回)、健常な年長保育園児に協力してもらい、足趾筋力の増加、重心動揺検査によるバランス能力指標のうち開眼での総軌跡長が短縮することを報告した。しかしながら、ラダートレーニングが障害のある子どもの足趾筋力やバランス機能に及ぼす影響については報告されていない。

そこで、本研究はラダートレーニングが障害児の足趾筋力や重心動揺にどのような影響を及ぼすかについて検討することを目的とした。

## 1. 方法

\*1 放送大学山口学習センター \*2 山口大学教育学部附属特別支援学校 \*3 山口県立山口南総合支援学校  
\*4 山口大学教育学部保健体育選修

## 1-1 被験者

本研究は、山口大学人を対象とする一般的な研究に関する審査委員会（2021年7月16日承認、承認番号2021-025-01）ならびに放送大学研究倫理審査委員会（2022年8月2日承認、承認番号2022-28）の承認を得て実施した。被験者は、県内の特別支援学校2校の中学部に通う知的障害者（注意欠如・多動症、ダウン症候群を併存）男子17名、女子12名であった。

本研究は、実施に際して、研究の趣旨と内容、得られたデータは研究の目的以外には使用しないことなどについて書面で学校長に提出し許可を得た。そして担当の教諭から保護者に同様の文書を配布し同意を得たうえで実施した。

## 1-2 手順

まず、ラダートレーニングの実施前に被験者全員の片足立ちテスト、重心動揺、足趾筋力を測定した。

片足立ちテストと重心動揺の測定は、開眼および閉眼にて実施した。開眼での測定時には2 m前方の目線と同じ高さ、キャラクターを印刷した用紙を掲示し、それを注視することを指示した。なお、片足立ちの測定は上限を2分までとし、重心動揺の計測は姿勢が安定した時点から20秒間行った。片足立ちは被験者が行いやすい側の足で2回行い良い方を記録とした。重心動揺の測定は重心軌跡測定器（竹井機器社、T.K.K. 5810）を用いて、開眼、閉眼の順に1分間の休憩を挟んで行った。

足趾筋力の測定は足趾筋力測定器Ⅱ（竹井機器、T.K.K. 3364b）を用い、被験者を膝関節が90°になるように椅子に座らせ腕を胸の前で組ませ、足趾の付け根に把持バーが来るように踵位置を調節し、5指すべてを屈曲させて測定した。測定は左右2回ずつ行い、それぞれ良い方を記録とした。

これらの測定後に、ラダー（モルテン社製、FLD2、全長570×巾50 cm、1マス50×40 cm）を用い、図1に示す8種目のラダートレーニングを行った。初回のトレーニング時には、ラダーの2 m後方に設置したビデオカメラを用いて一人4種目のラダー動作（横向きダッシュ、グーパージャンプ、こびとスキップ、ジグザグジャンプ）を撮影した。これらの動作を選択したのは、測定時間が制限されている中ですべてのステップを行うことは困難であるということと、個人差が比較的少ないステップであることによるものである。

その後、基本的に1回あたり約20分間、週1から2回を3ないし4週（計7回）にわたって、ラダーステッ

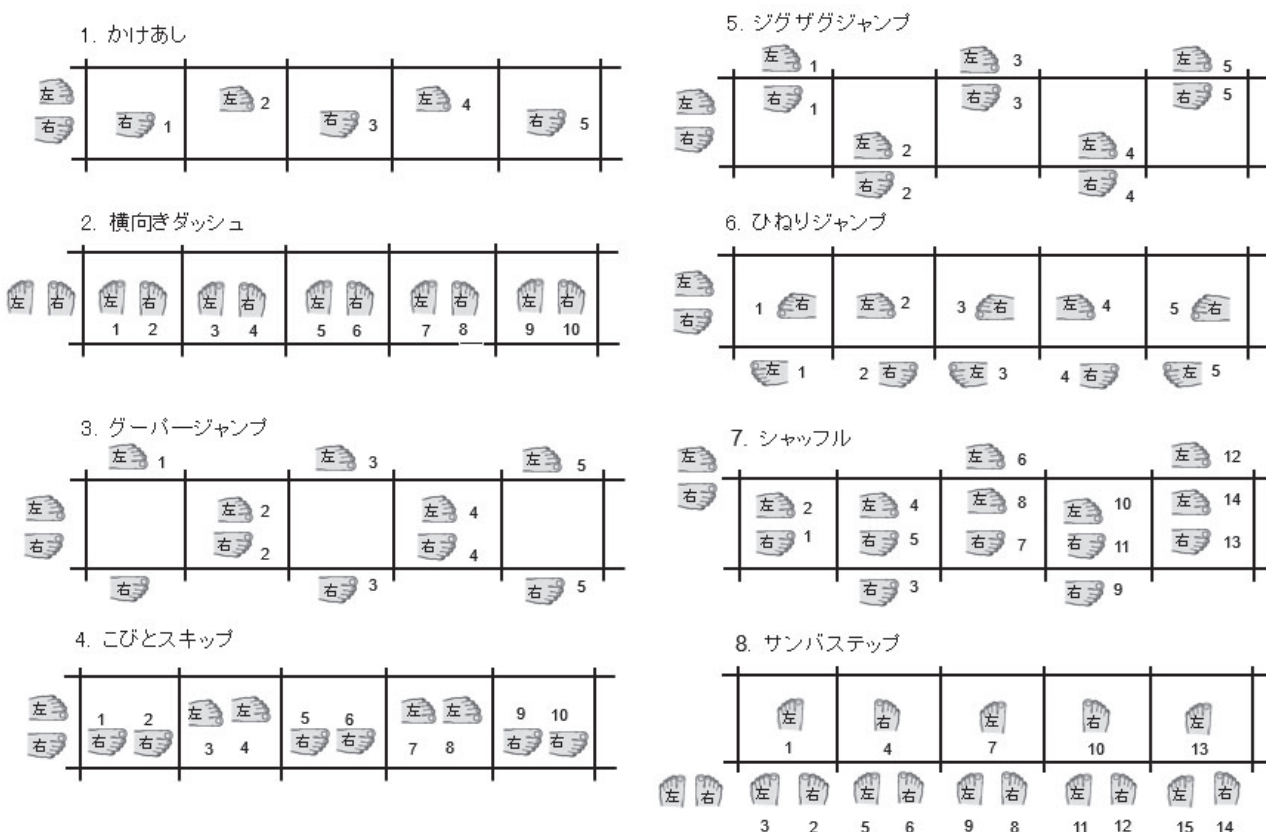


図1 ラダートレーニングにおけるステップ動作

プのトレーニングを行った。トレーニング時には実験者が模範を示し、指導した。種目はトレーニング4回目までは図1の種目番号が若い方から3から4種目を、5回目以降は8種目のうち任意に選択した数種目で行った。なお、ラダートレーニングは裸足で実施した。

ラダートレーニング終了後、再び片足立ちテスト、足趾筋力、重心動揺を測定するとともに、ラダー動作4種目をビデオで撮影しラダー動作の習熟度を評価した。評価は表1に示した得点表により3名で8点満点で行い、3名の得点の平均値を個人のラダー動作の得点とした。

表1 ラダートレーニングにおけるステップ動作の習熟度評価のための得点表

得点	動作
8	ラダーのマス最後までスムーズにリズムカルに失敗しないで速くできる。
7	援助があればラダーのマス最後までスムーズにリズムカルに失敗しないで速くできる。
6	ゆっくりだが失敗しないで最後までできる。
5	援助があれば、ゆっくりだが失敗しないで最後までできる。
4	1・2回失敗しながらも最後までできる。
3	援助があれば、1・2回失敗しながらも最後までできる。
2	途中で止まる、あるいは3回以上失敗する。
1	援助があっても途中で止まる、あるいは3回以上失敗する。

\*援助:師範、体をささえる、掛け声

### 1-3 統計

本研究では、まず分散分析により二要因分散分析（トレーニング要因、性要因）を行い性差は認められなかったことから男女を込みにして統計分析を行った。

すべての変数について、Shapiro-Wilk検定によりまず正規性を確認した。2群間比較は、正規分布を示した項目については対応のあるt検定を、正規性のなかった項目についてはWilcoxonの符号順位検定で分析した。また、変数間の相関関係を検証するため、Spearmanの相関分析を行った。有意水準は、すべて5%以下とした。

## 2. 結果

ラダートレーニングによるステップ動作の得点変化について表2に示した。ラダートレーニングによってすべてのステップ動作のトレーニング後の得点は、トレーニング前よりも有意に高い値であった ( $p < 0.05$ )。

表2 ラダートレーニング前後のステップ動作の得点

	前 (n=27)	後 (n=27)
グーパージャンプ	5.0 (3.8- 6.7)	7.0 * (5.8- 8.0)
ジグザグジャンプ	6.3 (5.7- 8.0)	7.0 * (6.0- 8.0)
横向きダッシュ	4.8 (3.3- 6.0)	6.3 * (6.0 - 8.0)
こびとスキップ	5.2 (4.0- 7.3)	7.3 * (6.0 - 8.0)

すべての値は、中央値(四分位範囲)で示した。2群の差の検定は、Wilcoxonの符号順位検定を行った。\*  $p < 0.05$

ラダートレーニング前後の右足と左足の足趾筋力についてそれぞれ図 2 に示した。左右の足趾筋力の値はいずれもトレーニングにより有意に増加した ( $p < 0.05$ )。

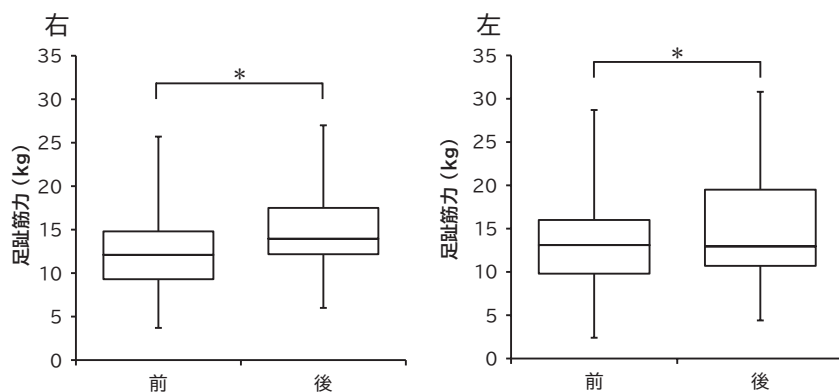


図 2 ラダートレーニングによる足趾筋力の変化  
中央値 (四分位範囲)。2 群の差の検定は、Wilcoxon の符号順位検定で行った。\*  $p < 0.05$

図 3 に、ラダートレーニング前後の開眼ならびに閉眼での片足立ちの記録変化について示した。開眼ならびに閉眼ともにトレーニング後には、遂行時間がいずれも有意に延長した ( $p < 0.05$ )。

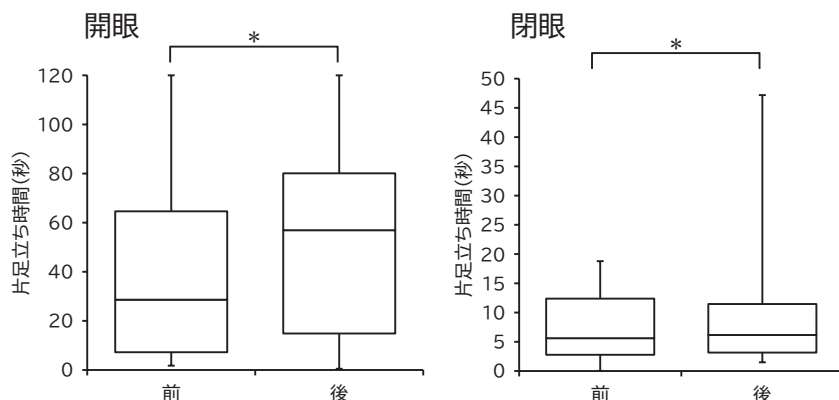


図 3 ラダートレーニングによる片足立ち時間の変化  
中央値 (四分位範囲)。2 群の差の検定は、Wilcoxon の符号順位検定で行った。\*  $p < 0.05$

足趾筋力と開眼ならびに閉眼での片足立ち時間の関係を図 4 に示した。足趾筋力と開眼片足立ち時間には有意な正の相関 ( $p < 0.001$ ) が認められた。また、閉眼片足立ち時間においても正の相関を示す傾向 ( $p = 0.056$ ) があつた。

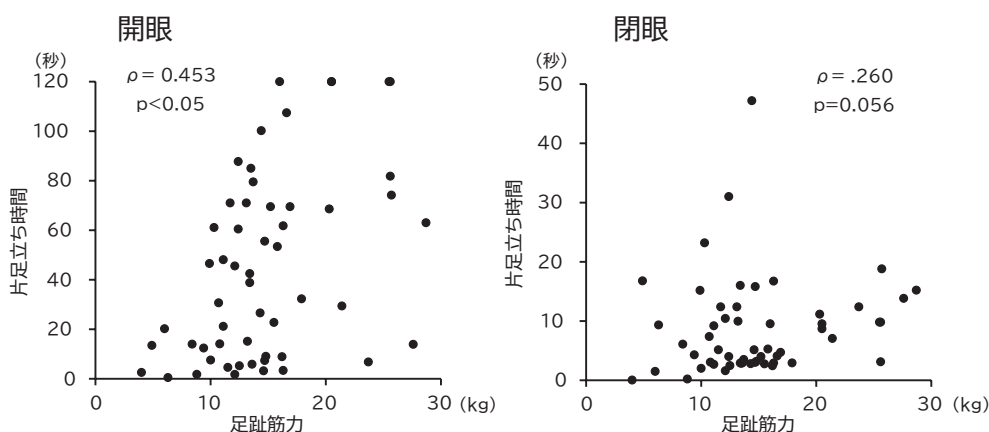


図 4 足趾筋力と片足立ち時間の関係  
2 群の関係は、Spearman の順位相関係数で示した。

ラダートレーニング前後の開眼ならびに閉眼での重心動揺の各パラメーターの変化について表3に示した。トレーニング後に、開眼での矩形面積はトレーニング前に比べ有意 ( $p < 0.05$ ) に減少した。また、外周面積についてもトレーニングによって減少する傾向 ( $p = 0.096$ ) が認められたが、総軌跡長には有意な変化は認められなかった。閉眼ではいずれのパラメーターにおいても有意な変化は認められなかった。

表3 ラダートレーニング前後の重心動揺

	開眼 (n=28)		閉眼 (n=27)	
	前	後	前	後
総軌跡長	355.3 (294.2 - 415.9)	341.1 (283.1 - 412.5)	533.6 (402.2 - 682.1)	459.2 (386.6 - 629.9)
外周面積	319.7 (242.1 - 556.3)	286.8 <sup>a</sup> (199.5 - 482.3)	613.5 (378.6 - 1126.7)	547.3 (412.5 - 1352.0)
矩形面積	498.0 (372.0 - 944.2)	444.4* (318.3 - 682.4)*	856.2 (567.2 - 1699.9)	790.4 (642.6 - 1933.4)

すべての値は、中央値（四分位範囲）で示した。2群の差の検定は、Wilcoxonの符号順位検定で行った。\*  $p < 0.05$ , <sup>a</sup> = 0.096

足趾筋力と開眼ならびに閉眼での重心動揺パラメーターの関係について表4に示した。足趾筋力は、左右の平均値を用いた。有意な負の相関が開眼での総軌跡長にのみ認められたが ( $p < 0.05$ )、それ以外の足趾筋力と重心動揺パラメーターの間には有意な関係は認められなかった。

表4 足趾筋力と重心動揺の関係

	開眼 (n=56)	閉眼 (n=54)
総軌跡長	-0.384 <sup>*</sup>	-0.223
外周面積	-0.083	-0.093
矩形面積	-0.059	-0.064

2群の関係は、Spearmanの順位相関係数で示した。  $p < 0.05$

### 3. 考察

本研究はラダートレーニングが障害児の足趾筋力や重心動揺にどのような影響を及ぼすかについて検討することを目的として実施した。その結果、ラダートレーニングによりラダー動作の改善、足趾筋力と開眼片足立ちの記録の向上ならびに重心動揺の改善が観察された。本研究で得られた所見から、障害児のステップ動作の改善や足趾筋力ならびにバランス能力はラダートレーニングにより向上し、障害児のバランス機能改善に有効である可能性が示唆された。以下にその詳細について述べる。

#### 3-1 ステップ動作の変化

本研究ではラダートレーニングで行った8種目のステップのうち、習熟度を評価した4種目のステップ動作に有意な改善が認められた。本研究で得られた結果は、幼児を対象に本研究と同様なトレーニングを行った蒲ら(2003)の報告と一致する。すなわち、彼らは5歳園児について6種目のラダーステップを2か月間に5回の一斉指導と自由遊びの中で実施したところこれらのステップの習得が可能であり、練習を繰り返すことで成就率が高まるということを報告している(蒲ら、2003)。したがって、本研究で行ったラダートレーニングは障害児においても調整力を養うトレーニング刺激として十分なものであると考えられる。

ラダートレーニングは、梯子状のマス目のある一定の動きを繰り返して素早く移動するために「どう動くべきか」を判断し、脳からの指令により体を動かすという2つのプロセスをうまく連動させることで、敏捷性や調整力といった運動神経系の改善が期待されるトレーニングである(杉山ら、2014)。幼児を対象にラダー



トレーニングの効果について検討した宮口ら（2009）は、ラダートレーニングについて、集中力の持続が難しく飽きやすい幼児に次々と異なるステップを体感させられ、幼児が成功体験を積み重ねる中で運動することの楽しさを味わうことができる、幼児にとって取り組みやすいトレーニングであると述べている。このことに基づけば、本研究の被験者においても種々のステップへの挑戦によって飽きずに行えたり、成功体験が引き金になって運動することの楽しさを覚えたりしたことがステップ動作の改善をもたらしたものと推察される。

### 3-2 ラダートレーニングが足趾筋力と片足立ち時間・重心動揺に及ぼす影響とそれらの相互関係

これまで、知的障害や発達障害のある子どもは、健常の子どもと比較して立位時の重心動揺が大きく、姿勢制御能力が未熟であることが報告されている（小林ら、1988；松田ら、2012）。このような障害者の姿勢制御能力に及ぼす運動トレーニングの影響について検討した報告は、トランポリン（Giagazoglou ら、2013）や複合現実技術を活用した運動プログラム（牛腸ら、2022）を用いて行われている。Giagazoglou ら（2013）は、知的障害の小学生を対象に1日20分間のトランポリントレーニングを12週間行い、トレーニング後には、垂直跳び、立ち幅跳び、Sit and reachテストの記録が向上するのに加え重心動揺検査結果の改善が認められるが、健常児ではトレーニングによる変化は認められないと報告している。また、牛腸ら（2022）は、発達性協調運動障害のある小学1年から5年生の男児10名（これらの被験者の併存症と人数は軽度知的障害レベル1名、中等度知的障害レベル2名、自閉スペクトラム症10名、注意欠如・多動症2名、ディスレクシア2名であった）を対象にプロジェクターで壁と床に投影されるターゲットに手や足で触れ、成功率により得点が与えられる複合現実技術運動プログラムを1日約10分、週2日、3か月行い、反復横跳びや開眼片足立ち時間がトレーニング後に向上したことを示している。本研究では、知的障害者を対象に足趾筋力とバランス機能に及ぼすラダートレーニングの影響について検討した。その結果、ラダートレーニングにより左右の足趾筋力は増え、開・閉眼での片足時間は延長し、足趾筋力と片足立ち時間の間には開眼では有意な正の相関が、閉眼では正相関を示す傾向が認められた。また、トレーニング後の重心動揺検査値はトレーニング前の値よりも低い値を示し、特に開眼での矩形面積は有意にまた外周面積は低値を示す傾向にあった。さらに、足趾筋力と総軌跡長との間には負の有意な相関が認められた。

前述したごとく、姿勢の保持は視覚、体性感覚、前庭系の情報を基に脳が中枢処理を行い、出された司令を主に下肢の骨格筋が実行することで行われているが、これらの中で、特に足底からの体性感覚情報の寄与率が高いことが示されている（板谷、2015）。また、安定した立位姿勢保持のためには足趾の屈曲機能が重要であり、足趾筋力が立位時の静的なバランス能力と深く関係することも報告されている（加辺ら、2002）。本研究ではラダートレーニングにより足趾筋力の増加が認められたが、筋力の増強は筋線維の肥大あるいは神経系の関与の改善によりもたらされ、筋力トレーニングによる筋力増加では筋肥大に先行して神経機能の適応が起こり引き起こされるという（内藤、2014）。本研究で行ったトレーニング期間は比較的短く、負荷強度も低いと考えられることから、本研究における足趾筋力の改善はラダー運動を通して、神経系機能の改善によりもたらされたのではないかと考えられる。

これらのことより、ラダートレーニングは足趾筋力を向上させるとともに足底からの体性感覚情報の寄与率を高めた結果、片足立ち時間や重心動揺にみられる静的姿勢保持能力の改善をもたらしたものと考えられる。加えて、本研究においてラダートレーニングの重心動揺に及ぼす影響は閉眼条件ではなく開眼条件において認められた。ラダートレーニングはある一定の動きを梯子状のマス目に制限された中で素早く動く運動であり、梯子状のマス目の状況を視覚情報として捉えることは重要であると考えられる。このことが正しいとするならば、ラダートレーニングは、姿勢の保持のための視覚情報の寄与率も高めたと考えられるが推測の域を出ない。

以上のことをまとめると、ラダートレーニングは障害者の足趾筋力を高めバランス機能を改善する有効なトレーニング方法であるといえる。幼児を対象にしたラダートレーニングに関する報告において、集中力の持続が難しく飽きやすい幼児に次々と異なるステップを体感させ、幼児が成功体験を積み重ねる中で運動することの楽しさを味わうことができるラダートレーニングは幼児にとって取り組みやすいトレーニングであるといわれており（宮口ら、2009）、障害者においても親しみやすいトレーニング方法かもしれない。また、ラダートレーニングは特別な機器を必要とせず、トレーニングの場所さえ確保できれば床面にテープなどで梯子状のマス目を設置することによって容易に実施できると考えられる。したがって、子どもたちのバランス能力の改善のために、特に保健体育の「体づくり運動」において積極的にラダー運動を取り上げ、さらに

準備運動の中でも実施することが薦められる。

## おわりに

本研究では、ラダートレーニングは知的障害者においても運動動作の改善をもたらすのに加え、足趾筋力とバランス機能を改善し、立位姿勢の安定化を促進するのに有効である可能性を示した。しかしながら、本研究ではトレーニングを実施しない対照群を設けておらず、本研究で得られた所見がラダートレーニングによるものなのか、慣れによるものなのかは明らかではない。また、本研究の被験者の多くは知的障害以外にアスペルガー障害、注意欠如・多動症、ダウン症候群を有していた。障害の種類によってバランス能力が異なる報告（下泉、2015）もみられることから、今後これらの点も考慮しさらに被験者を増やし詳細に検討する必要があると考えられる。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたって、研究に参加いただいた支援学校の生徒や保護者の皆様ならびに本研究の実施に際し多大なるご協力をいただいた学校関係者に深謝致します。

## 参考文献

- Giagazoglou P, Kokaridas D, Sidiropoulou M, Patsiaouras A, Karra C, Neofotistou K.: Effects of a trampoline exercise intervention on motor performance and balance ability of children with intellectual disabilities, *Res Dev Disabil*, 34, 2701-2707, 2013, doi:10.1016/j.ridd.2013.05.034.
- 牛腸昌利・笹田哲・平岩幹男：発達性協調運動障害のある小学生に対する複合現実技術を取り入れた運動プログラムの効果，*日本発達系作業療法学会誌*，9，58-64，2022.
- 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*，39，197-203，2015.
- 蒲真理子・佐野真一・宮口和義・鶴沢典子：幼児期におけるアジリティーラダーを使用した遊びの検討，*北陸大学紀要*，27，13-23，2003.
- 加辺憲人・黒澤和生・西田裕介・岸田あゆみ・小林聖美・田中淑子・牧迫飛雄馬・増田幸泰・渡辺観世子：足趾が動的姿勢制御に果たす役割に関する研究，*理学療法学*，17，119-204，2002.
- 木藤伸宏・井原秀俊・三輪 恵，神谷秀樹・島沢真一・馬場八千代・田口直彦：高齢者の転倒予防としての足指トレーニングの効果，*理学療法学*，28，313-319，2001.
- 小林芳文・安井友康・大津正廣・七木田敦：精神発達遅延児の静的バランス能力，*横浜国立大学教育紀要*，28，187-195，1988.
- 松田雅弘・新田収・宮島恵樹，塩田琴美・高梨晃・野北好春・川田教平：軽度発達障害児と健常児の立位平衡機能の比較について，*理学療法科学*，27，129-133，2012.
- 宮口和義・出村慎一・蒲真理子：幼児におけるラダー運動の成就度と運動能力との関係，*发育発達研究*，43，1-10，2009.
- 水野智美・西館有沙・西村実穂・徳田克己：発達障害傾向のある幼児の屋内での事故と対策 -障害理解の視点から-，*障害理解研究*，19，21-30，2018.
- 内藤久士：「身体運動を発現する骨格筋の機能と適応」，『スポーツ指導者に必要な生理学と運動生理学の知識』，市村出版，19-28，2014.
- 下泉秀夫：5歳児健診における発達障害への気づきと連携，*母子保健情報*，63，38-44，2015.
- 杉浦崇夫・土肥夏希・楠美砂子・川西さおり・溝部京子・山崎美智子・船場大資・曾根涼子：保育園児の足趾筋力と平衡機能に及ぼすラダートレーニングの影響，*厚生指標*，69，39-45，2022.
- 杉山喜一・神林勲・岡嶋恒・横田正義・前上里直・須田康之・及川勝也・岡安多香子，佐々木貴子・野寺克美・行徳義朗・佐藤和：子どもの体力向上のためのラダートレーニングの有効性（その2），*北海道教育大学紀要* 64，111-118，2014.