

発達障がい特性を有する小学児童における 運動機能評価に適した実践的運動課題の探索 (中間報告)

広島大学大学院医系科学研究科 生体環境適応科学	石 井 陽 介
広島大学大学院医系科学研究科 生体環境適応科学	藤 岡 友 瞳
広島大学大学院医系科学研究科 生体環境適応科学	佐 伯 采 花
広島大学大学院医系科学研究科 生体環境適応科学	佐 藤 成
広島大学大学院医系科学研究科 生体環境適応科学	藤 田 直 人

Exploration of the practical task of motor function to assess the specific features of developmental disorders in children

Department of Bio-Environmental Adaptation Sciences,
Graduate School of Biomedical and Health Sciences, Hiroshima University ISHII, Yousuke

Department of Bio-Environmental Adaptation Sciences,
Graduate School of Biomedical and Health Sciences, Hiroshima University FUJIOKA, Tomomi

Department of Bio-Environmental Adaptation Sciences,
Graduate School of Biomedical and Health Sciences, Hiroshima University SAEKI, Sayaka

Department of Bio-Environmental Adaptation Sciences,
Graduate School of Biomedical and Health Sciences, Hiroshima University SATO, Shigeru

Department of Bio-Environmental Adaptation Sciences,
Graduate School of Biomedical and Health Sciences, Hiroshima University FUJITA, Naoto

要 約

本研究の目的は、実践的な運動課題の探索としてジャンプ動作に着目し、運動機能低下を有した小学児童を識別できるか検討することであった。10-11歳の小学児童123名を対象とした。運動機能評価として50m走を実施し、対象者を測定タイムの下位10%を低下群(13名)、下位20-60%を正常群(48名)に振り分けた。実践的な運動評価はジャンプ課題を採用し、垂直距離を測定した。下肢機能は下腿三頭筋のエコー画像から羽状角を、生体インピーダンス法から骨格筋・脂肪量を測定し、群間で比較した。全ての児童において、測定は円滑に遂行可能であった。低下群は、正常群と比較して、垂直ジャンプ距離が低値であった。また低下群は下腿の羽状角が低値で、かつ下肢の相対的脂肪量が高値であった。運動機能が低下し、かつ下腿機能低下および高脂肪特性を有す児童は、ジャ

ンプ課題で識別できた。ジャンプ動作は、発達障がい児に模した小学児童を識別できる実現可能な運動課題である。

【キーワード】 実践的運動課題, ジャンプ動作, 小学児童

Abstract

The purpose of this study was to explore whether jumping movements could distinguish from children with poor motor function. 123 children with aged 10-11 years old were included in the study. A time during 50-m sprint was recorded as motor function, and participants were divided into two groups: the reduced group (n=13) and the normal group (n=48) according to the lowest time (10% or 20-60%) . A jump task was applied as a practical motor assessment. Lower limb function and body components were evaluated using ultrasonography and impedance analysis, which were compared between groups. In the reduced group, the distance during the vertical jump was lower than that in the normal group. Furthermore, the reduced group had several features with low pennation angle and higher relative fat mass in the lower limbs. School children with poor function and rich fat mass were revealed by the jump task. This could be a feasible and valuable method to distinguish from children with similar features of developmental disabilities.

【Keywords】 Practical motor task, jumping movement, school children

問題と目的

良好な発育を促進するためには、多様かつ異なる運動機能を正確に把握することが重要である。特に発達障がい児においては、複雑な病態像を背景とした運動機能を有するため、その把握は容易ではない。しかしながら、こうした課題を克服し、運動機能を客観的かつ簡便に評価できれば、個々の児童が有する潜在能力を最大限引き出す支援や介入実現に大きく寄与することができる。

従来、運動機能評価には標準化された評価スケールや臨床観察が広く用いられてきた。しかし、これらの手法は評価者の経験や主観に依存し、客観性および定量性の確保が課題とされてきた。近年では、センシング技術の代表的機器である加速度センサーを用いた運動解析が発展し、発達障がい児に対して特有の運動特性を抽出する試みが行われている (Speedtsberg B et al., 2018)。さらに、センシング技術と機械学習を融合した手法が急速に導入され、発育過程における運動特性を高精度に可視化・予測化する技術が報告されている (Großekathöfer et al., 2017; Mohammadian Rad et al., 2018)。したがって、このような最先端技術の融合により、これまで十分に評価されてこなかった潜在的な問題点が抽出され、広範な臨床領域への応用が期待されている。

一方で、加速度センサーを用いた運動評価を実施するにあたり、適切な動作課題の選定には依然として課題が残されている。特に発達障がい児は、詳細な運動指示の理解や遂行が困難な場合が多く、

簡便で再現性が高く、かつ運動機能を適切に反映する課題動作の設定が求められる。児童の運動機能を簡便にスクリーニングする方法として、ジャンプ動作はこれまでも多く用いられてきた（Hulteen M et al., 2020; Bertozzi et al., 2024）。この課題は、場所を選ばず、運動指示や遂行が比較的容易であるという利点を有し、「いつでも・だれでも・どこでも」実施可能な加速度センサー装着下の課題動作として有望な可能性がある。しかしながら、その実行可能性や妥当性については、十分な検証がなされていない。

そこで本研究では、実行可能な簡易運動機能課題の探索の一環としてジャンプ動作に着目し、運動機能の低下を有する小学生児童を識別可能であるか検討することを目的とした。

方 法

・対象者、倫理状況

地域内の 2 つの小学校に通学し、「ひとのからだとしくみ」に関する理科の授業を受講した小学 5 年生児童（10-11 歳）123 名を対象とした。除外基準は、当該授業を欠席した者、外傷歴または手術歴を有する者とした。

すべての対象者に対し、運動機能評価として 50 m 走を実施した。対象者は、50m 走測定タイムの下位 10% を低下群（13 名）、下位 20-60% を正常群（48 名）として振り分けられた。

表 1 基本情報

	正常	低下	P-value
年齢（歳）	10.1 ± 0.3	10.1 ± 0.3	0.601
性別（男：女）	21：27	9：4	0.103
体重（kg）	33.1 ± 5.5	33.6 ± 7.4	0.828
身長（cm）	139.9 ± 6.6	137.5 ± 8.7	0.389
BMI（kg/cm ² ）	16.8 ± 2.0	17.6 ± 2.4	0.324

測定は、実践的な運動課題としてジャンプ動作に着目し、垂直ジャンプ距離を計測した。加えて、下肢機能は画像解析および生体インピーダンス法を用いて測定した。これらのすべての測定値は群間で比較した。なお本研究はヘルシンキ宣言に準ずる広島大学疫学倫理委員会の承認を得て実施された（承認番号：E2020-2233）。

・解析方法

50m 走は 2 人 1 組で実施し、全力で走行するように指示された。走行タイムは記録され、運動機能の代表指数として機能低下の割り付けに使用された。

垂直ジャンプは、加速度センサー（Enode Pro, S&C）を対象者の第 4 腰椎レベルに設置し実施した。対象者は膝関節 60 度屈曲位を開始姿勢として、3 回の最大垂直ジャンプを実施した。対象者の体重で補正したジャンプ動作中の垂直加速度を用い、垂直ジャンプ距離を推定し、平均値を代表値として採用した。

下肢の形態機能として、超音波診断装置（Snible, Konica minolta）を用いて、大腿四頭筋・下腿三頭筋の画像を取得した。大腿四頭筋は、膝蓋骨上縁から上前腸骨棘の midpoint に超音波プローブを短軸方向に設置し、大腿周囲筋および大腿骨骨皮質が最も鮮明な画像を撮像した。また下腿三頭筋は、下腿内側の最大膨隆部に長軸方向にプローブを設置し、内側腓腹筋の線維配列が最も鮮明に描出された画像とした。これらの解析にはフリー画像解析ソフト（Image J, NIH）を用い、大腿部は皮下脂肪を除き大腿直筋から大腿骨骨皮質までの距離を筋厚として計測した。下腿は、内側腓腹筋の筋繊維と筋腹長軸とのなす角度を羽状角として計測した。なおこれらは 2 回実施し、かつ両脚の平均値を代表値として算出した。

体成分分析装置（InBody380N, Inbody japan）を使用し、静止立位時の体組成情報を取得した。なお本情報は、推定された筋量および脂肪量の絶対値に加えて、体重量および質量で除した相対値も算出し解析に含めた。

統計解析は SPSS Statistics version 23（IBM）を使用した。群間の比較には、データの分布特性に応じて対応のない t 検定または Mann-Whitney U 検定を用い、各指標の平均値を比較した。さらに、全体的な運動機能や動作特性の傾向を把握するため、全対象者における 50 m 走タイムとジャンプ距離との関連性を Pearson の積率相関係数を用い、相関係数を算出した。すべての統計解析において、有意水準は 5%未満（ $p < 0.05$ ）とした。

結 果

児童全体の 50m 走タイムは 9.4 ± 0.8 秒（平均 $\pm$ 標準偏差）で、垂直距離と有意な負の相関を認めた（ $r=0.55$, $p=0.001$ ）。

下位 10%の運動機能を有する低下群（ 10.9 ± 0.2 秒）は、下位 20-60%の運動機能を有す正常群（ 9.5 ± 0.3 秒）と比較しても、基本情報には差がなかった（表 1. 基本情報）。一方で、垂直ジャンプ距離に関しては、低下群で有意に低値であった（低下群： 16.6 ± 7.0 cm, 正常群： 22.6 ± 7.7 cm; $p=0.019$ ）。

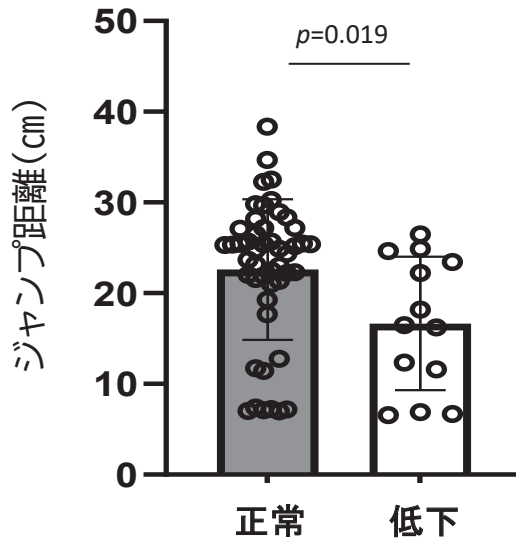


図1 ジャンプ動作

低下群の形態機能および体組成特徴としては、大腿四頭筋の筋厚には差がなかったが、下腿三頭筋の羽状角が有意に低値で（低下群： 19.9 ± 1.4 ，正常群： 21.3 ± 2.3 ； $p=0.016$ ），かつ下肢の相対的脂肪量が有意に高値であった（低下群： $163.4 \pm 52.7\%$ ，正常群： $127.9 \pm 36.6\%$ ； $p=0.043$ ）。

現在の進捗状況

本研究の最終目的は、センシング技術および機械学習を融合した最先端技術を活用し、多彩な背景を有す発達障がい児童の潜在能力を最大限に引き出す、運動機能の同定化である。そこで本研究の位置づけは、実践的な運動課題を探索することで、詳細な運動指示の理解や遂行が困難と予想される発達障がい児に対しても、運動機能を客観的かつ定量的に評価する基盤手法の確立を試みた。

発達障がい児は、定型発達児と比較して運動機能の低下、脂肪量の増加を呈することが報告されている（Keating E et al., 2022; Yu et al., 2021）。本研究において定義された運動機能の低下群は、これらの特徴と類似しており、ジャンプ課題を用いることで識別可能であった。さらに全ての対象児童において、本課題は円滑に遂行可能であった。したがって、本研究で得られた知見は、最終的な発達障がい児に対する運動機能評価の構築に向けた基盤知見を提供し、ジャンプ動作が実践可能かつ臨床応用性の高い課題として採用できる可能性が示された。

今後は、有疾患モデルを対象として、ジャンプ課題を前提に、動作遂行中のパフォーマンス指標のみならず、その質に着目した加速度センサー情報の機械学習化を試みる。そしてこれらの課程を通して、最終目標である発達障がい児童に対する運動機能の同定を目指す。

参考文献

1. Bertozzi F, Camuncoli F, Galli M, Tarabini M. The relationship between jump and sprint performance in preschool children. *J Sports Med Phys Fitness*. 2024;64 (6):526–531
2. Großekathöfer U, Manyakov NV, Mihajlović V, Pandina G, Skalkin A, Ness S, Bangerter A, Goodwin MS. Automated Detection of Stereotypical Motor Movements in Autism Spectrum Disorder Using Recurrence Quantification Analysis. *Front Neuroinform*. 2017;11:9
3. Hulteen RM, Barnett LM, True L, Lander NJ, Del Pozo Cruz B, Lonsdale C. Validity and reliability evidence for motor competence assessments in children and adolescents: A systematic review. *J Sports Sci*. 2020;38 (15):1717–1798
4. Keating SE, Mielke GI, King-Dowling S, Timmons BW, Kwan M, Cairney J. Associations Between Fitness, Physical Activity, and Fatness in Preschool Children With Typical and Atypical Motor Coordination. *Front Pediatr*. 2022;10:756862
5. Mohammadian Rad N, Kia SM, Zarbo C, van Laarhoven T, Jurman G, Venuti P, Marchiori E, Furlanello C. Deep learning for automatic stereotypical motor movement detection using wearable sensors in autism spectrum disorders. *Signal Processing*. 2018;144:180–191
6. Speedtsberg MB, Christensen SB, Stenum J, Kallemose T, Bencke J, Curtis DJ, Jensen BR. Local dynamic stability during treadmill walking can detect children with developmental coordination disorder. *Gait Posture*. 2018;59:99–103
7. Yu JJ, Capio CM, Abernethy B, Sit CHP. Moderate-to-vigorous physical activity and sedentary behavior in children with and without developmental coordination disorder: Associations with fundamental movement skills. *Res Dev Disabil*. 2021;118:104070