

児童期における体力・運動能力が 1年後の遂行機能に及ぼす影響について

—子どもの体力・運動能力の意義に着目した縦断的検討—

伊佐 常紀*

小野 玲*

抄録

【背景】 遂行機能および運動能力は児童期から思春期にかけて習得すべき能力である。運動能力は遂行機能と強く関連することが示唆されているが、スピード、筋力、調整力を量的に評価した運動能力と1年後の遂行機能の関連は明らかではない。

【目的】 本研究は、9～12歳の児童を対象にして、運動能力と1年後の遂行機能の関連を検討することを目的とした。

【方法】 ベースラインおよび1年後のフォローアップにおいて、9～12歳の児童を解析対象者とした（158名、平均年齢 ± 標準偏差: 10.1 ± 0.7歳、女性: 51.9%）。遂行機能のうち、作業記憶、抑制機能、認知柔軟性はそれぞれ、Digit Span test 逆唱、Stroop Incongruent Color Naming 課題、Trail Making Test part B を用いて評価した。スピード、筋力、調整力は、50m 走、立ち幅跳び、ソフトボール投げで評価した。主成分分析を用いて、運動能力の合成値（MS-total）を算出した。線形回帰分析を用いて、各遂行機能（フォローアップ）を目的変数、MS-total（ベースライン）を説明変数、学年と各遂行機能（ベースライン）、性別、body mass index、身体活動量を交絡変数として強制投入したモデルにおいて検討した。

【結果】 未調整モデルにおいて、MS-total は作業記憶（標準化 $\beta = 0.16$ ）、抑制機能（標準化 $\beta = 0.18$ ）、認知柔軟性（標準化 $\beta = -0.21$ ）と有意に関連した。調整モデルにおいて、MS-total は作業記憶（標準化 $\beta = 0.07$ ）、抑制機能（標準化 $\beta = 0.03$ ）と有意に関連しなかったが、認知柔軟性と有意に関連した（標準化 $\beta = -0.14$ ）。

【結論】 本研究は、9～12歳の児童において、運動能力は他の要因と独立して、1年後の認知柔軟性に影響を与えることを示し、すべての子どもにおける運動能力の習得の重要性が示された。

キーワード：小学生高学年，遂行機能，運動能力，縦断研究

* 神戸大学大学院保健学研究科 〒654-0142 兵庫県神戸市須磨区友が丘 7-10-2

Longitudinal Association of Aerobic Fitness and Motor Skills with Later Executive Function in School-aged Children at 1-year Follow-up

—To focus on implication of aerobic fitness and motor skills in school-aged children—

Tsunenori Isa*

Rei Ono*

Abstract

【Objective】 Development of motor skills and executive function (EF) is acquired during childhood and adolescence. Although some previous studies suggest that motor skills are closely related with EF, it is not clarified that motor skills assessing speed, strength, and coordination quantitatively are associated with EF. This study aimed to investigate the longitudinal association of motor skills with EF at 1-year later in children aged 9 to 12 years.

【Methods】 Children aged 9 to 12 years ($n = 158$, mean age: 10.1 (0.7) years, female: 51.9%) were included at baseline and 1-year later. Regarding EF as outcome, working memory, inhibition, and cognitive flexibility were assessed using the Digits Backward test, Stroop Incongruent Color Naming test, and Trail Making Test Part B, respectively. We assessed speed, strength, and coordination using the 50-Meter Sprint Running Test, Standing Long Jump Test, and Softball Throw for Distance Test, respectively. The motor skills composite score (MS-total) of the three domains as independent variables were developed with principal component analysis. All linear regression analyses were adjusted for grade, sex, body mass index, and physical activity as confounding variables and the respective baseline value of EF.

【Results】 In unadjusted model, MS-total at baseline was significantly associated with working memory (Standardized $\beta = 0.16$), inhibition (Standardized $\beta = 0.18$), and cognitive flexibility (Standardized $\beta = -0.21$) at follow-up. In adjusted model, MS-total at baseline was significantly associated with cognitive flexibility (Standardized $\beta = -0.14$) at follow-up, but not significantly associated with working memory (Standardized $\beta = 0.07$) and inhibition (Standardized $\beta = 0.03$) at follow-up.

【Conclusion】 The results showed the significant association of motor skills including speed, strength, and coordination with cognitive flexibility and the importance of mastery of motor skills for all children.

Key Words : School-aged children, Executive function, Motor skills, Longitudinal study

* Department of Community Health Sciences, Kobe University Graduate School of Health Sciences
7-10-2, Tomogaoka, Suma-ku, Kobe, Hyogo 654-0142, Japan

1. はじめに

遂行機能は、目的ある行動 (goal-directed behavior) または目的ある思考 (goal-directed cognition) を統制するために必要とされる認知処理能力のことである。遂行機能の発達には幼少期から成人期にかけて経年的に発達し、特に児童期早期から思春期においてより発達する。児童期における遂行機能は学業成績だけでなく、成人後の犯罪の可能性、健康状態、社会経済状況に影響を与えることが報告されていることから (Moffitt et al., 2011)、児童期における遂行機能の発達は生涯を豊かにかつ健康的に生活する上で重要である。さらに、学業成績は遂行機能のうち作業記憶 (記憶を更新する能力)、抑制機能 (無意識下での行動を抑制する能力)、認知柔軟性 (戦略を変換する能力) に大きく依存することから (Blair et al., 2015)、児童における3つの下位構成要素の発達が重要視されている。

児童の遂行機能を向上させる要素として、運動介入や心肺持久力 (体力) が報告されているが (Diamond et al., 2011)、近年では特定の運動能力と遂行機能の関連についても注目が集まっている。Aadland et al. (2017) や Hartman et al. (2017) は、捕るもしくは投げることの正確性といった質的評価や敏捷性や筋持久力といった量的評価による運動能力が遂行機能と関連することを明らかにした。Diamond et al. (2000) は、その関連の背景として、共通する前頭葉と小脳を結ぶ脳内ネットワークの媒介を示唆している。

Bös et al. (1987) が提唱する運動能力モデルに含まれる「スピード」、「筋力」、「調整力」は、本邦で実施される新体力テストにおける50m走、立ち幅跳び、ソフトボール投げによって、量的に評価することが可能である。先行研究において、10~12歳の児童を対象として量的に評価した「筋力」、「調整力」と遂行機能の関連を検討している (Schmidt et al., 2017)。しかし、「スピード」を含めた運動能力が遂行機能の3つの下位構成要素のうち、どの要素に影響を与えるかは詳細に検討されていない。さらに、1年間の縦断調査をした報告はない。

2. 目的

本研究の目的は、9歳から12歳を対象とした児童を対象として、「スピード」、「筋力」、「調整力」を量的に評価した運動能力が1年後の遂行機能の下位構成要素 (作業記憶、抑制機能、認知柔軟性) に与える影響について調査することとした。

3. 方法

3.1. 研究方法および対象者

本研究は、兵庫県内にある2校の公立小学校の普通学級に通う小学4年生および5年生の204名 (4年: 93名、5年: 102名) を対象とした1年間の前向きコホート研究である。対象者のうち、(i)特別支援学級に通う児童3名、(ii)ベースライン時にデータ欠損があった児童14名、(iii)フォローアップ時にデータ欠損があった児童11名、(iv)フォローアップ時の運動能力の成績が10パーセント以下 (診断はされないが、発達性協調運動障害の疑いと定義されるカットオフ値 (Michel et al., 2011)) の児童18名を除外した158名を解析対象者とした (ベースライン時: 平均年齢 ± 標準偏差, 10.1 ± 0.7歳; 女子, 51.9%)。2017年にベースラインとなる遂行機能、運動能力、身長、体重を測定し、著者らの指導の下、対象児童は自己記入式質問紙を用いて、その他の評価項目について回答した。2018年にフォローアップの測定を同時期に同様の方法を用いて測定した。本研究は、「ヘルシンキ宣言」および我が国の「個人情報保護に関する法律」等を踏まえた上で、臨床研究として位置付けられ、「疫学研究に関する倫理指針」および「臨床研究に関する倫理指針」を遵守した。なお、本研究は神戸大学大学院保健学研究科保健学倫理委員会によって審査され、神戸大学大学院保健学研究科学科長の承認を得た上で実施した (承認番号: 第545-3号)。本研究を実施する前に、各小学校の学校長、クラス担任、保護者ならびに児童に書面および口頭で十分な説明を行い、インフォームドコンセントおよびアセントを得た上で実施した。

3.2. 測定項目

3.2.1. 作業記憶

作業記憶は、児童向けウェクスラー式知能検査第3版におけるDigit Span Test (DST) を用いて測定した (Wechsler, 1994)。DSTは、測定者が読み上げた数字列を被検者が復唱するテストである。呈示された数字を前から復唱する順唱と、後ろから復唱する逆唱の2種類のテストを順に実施した。文字列は3桁から9桁まで呈示し、同一桁の試行を2回ずつ行った。同一桁における試行を2回とも実行できなかった時点で終了とした。本研究では、先行研究に従い、逆唱の得点を作業記憶の指標として使用した (Baron, 2003)。逆唱の得点化は、各桁における正当回数 (0、1、2)

とその桁数 (3~9 桁) を掛け合わせた合計点数 (0~84 点) より算出した (最大得点例: 3(桁)×2+4(桁)×2+5(桁)×2+6(桁)×2+7(桁)×2+8(桁)×2+9(桁)×2)。得点が高いほど、作業記憶が高いことを表す。

3.2.2 抑制機能

抑制機能は、Stroop test を用いて測定した (Golden, 1978)。Word Reading 課題では、被検者は、黒色で記載されている色名单語 (あか・あお・みどり) を 45 秒間で可能な限り早く読み上げるように教示された。Color Naming 課題では、被検者は 3 色 (赤・青・緑) のいずれかで塗られた四角の色を 45 秒間で可能な限り早く読み上げるように教示された。Incongruent Color Naming (ICN) 課題は、色名单語 (あか・あお・みどり) がその色とは異なるインクの色 (赤・青・緑) で記載されており (例: 青色で“あか”、緑色で“あお”)、被検者はインクの色の名前を 45 秒間で可能な限り早く読み上げるように教示された。本研究では、先行研究に従い、ICN 課題を抑制機能の指標として使用した (Sarsour, 2011)。各課題における得点は、正確に読み上げた色名单語の数 (0~100) とした。得点が高いほど、抑制機能が高いことを表す。

3.2.3 認知柔軟性

認知柔軟性は、Trail Making Test (TMT) を用いて測定した (Kortte, 2002)。TMT part A において、被検者は可能な限り早く、数字が書かれた円を順番に直線で結ぶように教示された (例: 1→2→3→4)。TMT part B (TMT-B) において、被検者は可能な限り早く、数字およびひらがなが書かれた円を数字とひらがなを交互に直線で結ぶように教示された (例: 1→あ→2→い)。本研究では、先行研究に従い、TMT-B の秒数を認知柔軟性の指標として使用した (Sarsour, 2011)。試行秒数が短いほど、認知柔軟性が高いことを表す。

3.2.4 運動能力

運動能力は、文部科学省体力・運動能力調査による新体力テスト実施要項 (6~11 歳対象) を参照にして、実施した (文部科学省, 1999)。新体力テストの項目の中から、50m 走 (秒)、立ち幅跳び (cm)、ソフトボール投げ (m) の記録をそれぞれスピード、筋力、調整力の指標とした。50m 走の秒数が小さいほど、スピードの指標が高いことを表す。立ち幅跳びおよびソフトボール投げの距離が大きいほど、筋力および調整力の指標が高いことを表す。

3.2.5 その他の評価項目

性別、学年、年齢は、自己記入式質問紙を用いて情報を得た。身長、体重は 2 学期における定期健康診断で測定されたデータを使用した。Body mass index (BMI) は、体重 (kg) を身長 (m) の二乗で除して算出された数値を用いた。身体活動量は、日本語版 Physical Activity Questionnaire for Older Children (PAQ-C) を用いて測定した。日本語版 PAQ-C は 9~12 歳の児童を対象として、9 項目で構成された質問より過去 7 日間の身体活動量を評価する質問紙であり、著者らは妥当性および信頼性について報告している (Isa et al., 2019)。スコア化は、各質問に対して 5 件法で得られた回答の平均値より算出した (1.00~5.00)。日本語版 PAQ-C の得点が高いほど、身体活動量が多いことを表す。

3.3. 統計解析

まず、運動能力の包括的な指標として、バリマックス法による回転を用いた主成分分析を行い、運動能力の合成値 (composite score) を算出した。50m 走、立ち幅跳び、ソフトボール投げのそれぞれの因子負荷量が 0.400 以上である条件の下で、算出された合成値を MS-total (Motor Skill-total) とした。MS-total は一般的に学年および性別と強く関連することから、学年および性別で標準化した MS-total を算出した。

次に、ベースライン時の運動能力がフォローアップ時の各遂行機能に与える影響について検討するために、線形回帰分析を用いた。フォローアップ時の各遂行機能を目的変数、ベースライン時の MS-total を説明変数とした未調整モデルを実施後、交絡因子を考慮するために、性別、BMI、身体活動量、ベースライン時の各遂行機能を強制投入した調整モデルを実施した。なお、各遂行機能は学年に強く影響を受けることから、未調整モデルには学年を強制投入した。

すべての統計解析は STATA software version 14.0 (StataCorp, College Station, TX, USA) を使用した。本研究における統計学的有意水準は 5%未満とした。

4. 結果及び考察

表 1 は、ベースライン時およびフォローアップ時の対象者の特性を示した。

4.1. 主成分分析の結果

主成分分析における第 1 主成分の寄与率は、4 年男子で 58.0% (因子負荷量: 50m 走, -0.83; 立ち幅跳び,

0.75; ソフトボール投げ, 0.70)、4年女子で62.5% (因子負荷量: 50m 走, -0.84; 立ち幅跳び, 0.88; ソフトボール投げ, 0.63)、5年男子で70.3% (因子負荷量: 50m

走, -0.90; 立ち幅跳び, 0.87; ソフトボール投げ, 0.73)、5年女子で65.5% (因子負荷量: 50m 走, -0.88; 立ち幅跳び, 0.74; ソフトボール投げ, 0.80) であった。

表 1. 対象者特性

	ベースライン		フォローアップ	
	4年生 (n = 68)	5年生 (n = 90)	5年生	6年生
年齢, 歳	9.5 ± 0.5	10.5 ± 0.5	10.5 ± 0.5	11.5 ± 0.5
女子	33 (49%)	49 (54%)	—	—
BMI, kg/m ²	16.7 ± 2.0	17.1 ± 2.2	17.7 ± 2.5	17.9 ± 2.4
PAQ-C, 点	3.33 ± 0.70	2.85 ± 0.76	2.76 ± 0.69	2.50 ± 0.70
DST 逆唱, 点	10.1 ± 5.1	14.0 ± 7.7	14.4 ± 8.9	19.4 ± 10.9
Stroop ICN 課題, 点	41.5 ± 10.7	47.4 ± 11.3	48.9 ± 12.4	55.2 ± 14.2
TMT-B, 秒	89.3 ± 25.9	73.5 ± 22.9	69.2 ± 17.7	60.7 ± 21.8
50m 走, 秒	9.73 ± 0.58	9.71 ± 0.64	8.96 ± 0.52	8.97 ± 0.63
立ち幅跳び, cm	140.1 ± 21.7	147.5 ± 19.7	153.9 ± 16.3	162.9 ± 20.6
ソフトボール投げ, m	17.4 ± 8.2	17.9 ± 7.9	21.9 ± 9.9	20.3 ± 9.0

数値は平均値 ± 標準偏差, あるいは個体数 (%) を表す。

PAQ-C は身体活動量、DST 逆唱は作業記憶、Stroop ICN 課題は抑制機能、TMT-B は認知柔軟性の評価指標として使用した。

BMI, body mass index; PAQ-C, Physical Activity Questionnaire for Older Children; DST, Disit Span Test; ICN, Incongruent Color Naming; TMT-B, Trail Making Test part B

表 2. ベースライン時の運動能力とフォローアップ時の遂行機能の関連を検討した線形回帰分析の結果

	フォローアップ時の遂行機能					
	作業記憶		抑制機能		認知柔軟性	
	未調整*	調整	未調整*	調整	未調整*	調整
MS-total	0.16 ‡	0.07	0.18 ‡	0.03	-0.21 †	-0.14 ‡
学年	0.23 †	0.06	0.22 †	0.02	-0.19 ‡	-0.01
性別	—	-0.08	—	0.06	—	0.01
BMI	—	-0.04	—	-0.01	—	0.11
身体活動量	—	-0.08	—	0.02	—	0.08
ベースライン時の遂行機能**	—	0.57 †	—	0.81 †	—	0.55 †

数値は標準化 B で表示した。

MS-total, Motor Skills-total; BMI, body mass index

*: 学年は遂行機能と強く関連するため未調整モデルに投入

** : アウトカムの遂行機能を投入

†: p < 0.01

‡: p < 0.05

4.2. 線形回帰分析の結果

表2は、フォローアップ時の各遂行機能に対するベースライン時のMS-totalの影響を検討した線形回帰分析の結果を示した。未調整モデルにおいて、ベースライン時のMS-totalは、フォローアップ時の作業記憶、抑制機能、認知柔軟性と有意に関連した（作業記憶、標準化 $\beta = 0.16$: 抑制機能、標準化 $\beta = 0.18$: 認知柔軟性、標準化 $\beta = -0.21$ ）。調整モデルにおいて、ベースライン時のMS-totalは、フォローアップ時の作業記憶、抑制機能と有意な関連を示さなかったが（作業記憶、標準化 $\beta = 0.07$: 抑制機能、標準化 $\beta = 0.03$ ）、認知柔軟性と有意な関連を示した（標準化 $\beta = -0.14$ ）。

4.3. 考察

本研究の結果は、学年やベースライン時の認知柔軟性を含む交絡因子と独立して、ベースライン時の運動能力がフォローアップ時の認知柔軟性と関連することを示した。これまで、運動能力が遂行機能に与える影響を報告した調査は限られている。幼児期における運動能力が幼児期や児童期の作業記憶に影響を与えることは、いくつかの調査において報告されている（Niederer et al., 2011, Piek et al., 2008）。しかし、これらの調査は作業記憶のみの評価で留まっており、発達段階で重要とされる遂行機能の評価は不十分であった。また、すべての遂行機能を評価した調査において、健常発達児童のみを対象とした報告はない。したがって、9~12歳の健常発達児童のみを対象として、遂行機能の中で認知柔軟性がベースライン時の運動能力と関連することを初めて示したと考える。

本研究で評価した運動能力（走る、跳ぶ、投げるといった技能）にも含まれる協調運動と認知柔軟性は、非常に近い脳内ネットワークを持つことが報告されており（Koziol et al., 2014, Specht et al., 2009）、本研究の結果は支持されると考える。先行研究において、運動介入による認知柔軟性の向上が報告されたことから（Ludyga et al., 2018）、本研究における習慣的な運動によって得られる運動能力が認知柔軟性と関連した結果は支持され、運動能力が認知柔軟性の発達にとって重要であることを示した。

5. まとめ

本研究は、9~12歳における児童を対象として、運動能力が認知柔軟性に影響を与えることを示した。本研究の結果によって、すべての子どもにとって、運動能力の習得の重要性が示された。

【参考文献】

- Aadland KN, Moe VF, Aadland E et al. (2017) Relationships between physical activity, sedentary time, aerobic fitness, motor skills and executive function and academic performance in children. *Ment Health Phys Act*, 12: 10-8.
- Baron IS. (2003) *Neuropsychological evaluation of the child*, Oxford University Press.
- Blair C, Raver CC. (2015) School readiness and self-regulation: a developmental psychobiological approach. *Annu Rev Psychol*, 66: 711-31.
- Bös K. (1987) *Handbuch sportmotorischer Tests (Handbook of sport motor tests)*. Göttingen: Hogrefe.
- Diamond A, Lee K. (2011) Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, 333(6045): 959-64.
- Golden CJ. (1978) *Stroop Color and Word Test: A manual for clinical and experimental uses.*, Chicago, Stoelting Co.
- Hartman E, Smith J, Houwen S et al. (2017) Skill-related physical fitness versus aerobic fitness as a predictor of executive functioning in children with intellectual disabilities or borderline intellectual functioning. *Res Dev Disabil*, 64: 1-11.
- Isa T, Sawa R, Torizawa K et al. (2019) Reliability and validity of the Japanese version of the Physical Activity Questionnaire for Older Children (PAQ-C). *Clin Med Insights Pediatr*, [In press]
- Kortte KB, Horner MD, Windham WK. (2002) The trail making test, part B: cognitive flexibility or ability to maintain set? *Appl Neuropsychol*, 9(2): 106-9.
- Koziol LF, Budding D, Andreasen N et al. (2014) Consensus paper: the cerebellum's role in movement and cognition. *Cerebellum (London, England)*, 13(1): 151-77.
- Ludyga S, Gerber M, Mücke M et al. (2018) The acute effects of aerobic exercise on cognitive flexibility and task-related heart rate variability in children with ADHD and healthy controls. *J Atten Disord*, doi: 10.1177/1087054718757647
- Michel E, Roethlisberger M, Neuenschwander R et al. (2011) Development of cognitive skills in children with motor coordination impairments at 12-month follow-up. *Child Neuropsychol*, 17(2): 151-72

Moffitt TE, Arseneault L, Belsky D et al. (2011) A gradient of childhood self-control predicts health, wealth, and public safety. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 108(7): 2693-8.

文部科学省. (1999) 新体力テスト実施要項 (6歳~11歳対象)

Niederer I, Kriemler S, Gut J et al. (2011) Relationship of aerobic fitness and motor skills with memory and attention in preschoolers (Ballabeina): A cross-sectional and longitudinal study. *BMC Pediatr*, 11(34): doi: 10.1186/1471-2431-11-34.

Piek J, Dawson L, Smith LM et al. (2008) The role of early fine and gross motor development on later motor and cognitive ability. *Hum Mov Sci*, 27(5): 668-81.

Sarsour K, Sheridan M, Jutte D et al. (2011) Family socioeconomic status and child executive functions: the roles of language, home

environment, and single parenthood. *J Int Neuropsychol Soc*, 17(1): 120-32.

Schmidt M, Egger F, Benzing V et al. (2017) Disentangling the relationship between children's motor ability, executive function and academic achievement. *PLoS One*, 12(8): e0182845. doi: 10.1371/journal.pone.0182845.

Specht K, Lie CH, Shah NJ et al. (2009) Disentangling the prefrontal network for rule selection by means of a non-verbal variant of the Wisconsin Card Sorting Test. *Hum Brain Mapp*, 30(5): 1734-43.

Wechsler D. (1994) Wechsler Intelligence Scale for Children, 3rd ed., London, Psychological Corporation.

この研究は笹川スポーツ研究助成を受けて実施したものです。

