

## 青年期における積雪期の運動量と ワーキングメモリーの関係

石原 暢<sup>1</sup>, 篠原 翠<sup>1</sup>, 村田 浩美<sup>1</sup>  
王 文娟<sup>1</sup>, 苜米地 伸泰<sup>1</sup>, 水野 眞佐夫<sup>2</sup>

### A Relationship between Daily Physical Exercise Levels and Working Memory in the Snowy Period among Youth Adults

Toru Ishihara<sup>1</sup>, Midori Shinohara<sup>1</sup>, Hiromi Murata<sup>1</sup>  
Wenjuan Wang<sup>1</sup>, Nobuyasu Tomabechei<sup>1</sup>, Masao Mizuno<sup>2</sup>

#### Abstract

This study aimed at evaluating the relationships between daily exercise levels and working memory indices in the snowy period among youth men and women. Ten undergraduate and graduate university students were studied in December, 2015. All of the subjects underwent evaluations of their working memory (2-back Task and 3-back Task). Exercise habit in no-snow-season (past 1 year) and snow-season were evaluated by the use of questionnaire. Daily exercise levels decreased from no-snow-season to snow-season (days/week :  $z = 2.11, p = .04, r = .47$ , hours/day :  $z = 2.21, p = .03, r = .49$ , hours/week :  $z = 2.53, p = .01, r = .57$ ). Daily exercise levels in no-snow-season were inversely correlated with reaction time for 2-back Task (hours/day :  $\rho = -.65, p = .06$ , hours/week :  $\rho = -.69, p = .04$ ) and 3-back Task (days/week :  $\rho = -.59, p = .09$ , hours/week :  $\rho = -.59, p = .09$ ), and intra-individual variability on 2-back Task (days/week :  $\rho = -.73, p = .03$ , hours/week :  $\rho = -.61, p = .08$ ) and 3-back Task (days/week :  $\rho = -.75, p = .02$ ). An inverse correlation was also found between daily exercise levels in snow-season and reaction time for 2-back Task (days/week :  $\rho = -.73, p = .03$ , hours/day :  $\rho = -.83, p < .01$ , hours/week :  $\rho = -.86, p < .01$ ) and 3-back Task (hours/day :  $\rho = -.74, p = .02$ , hours/week :  $\rho = -.70, p = .04$ ), and intra-individual variability on 2-back Task (days/week :  $\rho = -.77, p = .01$ , hours/day :  $\rho = -.92, p < .01$ , hours/week :  $\rho = -.93, p < .01$ ) and 3-back Task (hours/day :  $\rho = -.66, p = .05$ , hours/week :  $\rho = -.60, p = .08$ ). Furthermore, a change in daily exercise levels from no-snow-season to snow-season was inversely correlated with the reaction time for 2-back Task (hours/day :  $\rho = -.64, p = .06$ ) and 3-back Task (hours/day :  $\rho = -.71, p = .03$ ), and the intra-individual variability on 2-back Task (hours/day :  $\rho = -.84, p < .01$ ) and 3-back Task (hours/day :  $\rho = -.71, p = .03$ ). This study suggests that daily exercise levels have an important role for facilitation of working memory, and in the snowy period an impairment of the working memory is accompanied by a decrease in daily exercise levels in university students.

**Key words** : executive function, N-back Task, snowy area

1. 北海道大学大学院教育学院  
〒060-0811 札幌市北区北11条西7丁目
2. 北海道大学大学院教育学研究院  
〒060-0811 札幌市北区北11条西7丁目

1. Graduate School of Education, Hokkaido University  
Kita 11, Nishi 7, Sapporo 060-0811
2. Faculty of Education, Hokkaido University  
Kita 11, Nishi 7, Sapporo 060-0811

著者連絡先 石原 暢  
t.ishihara@edu.hokudai.ac.jp

## 緒 言

日常的不活動は身体的な健康のみならず、精神的な健康を阻害することが明らかとなっている。運動習慣を構築することはストレス受容を軽減し（石原ら, 2016）、慢性的なストレスや不安と不眠を軽減すること（Fox, 1999）、メンタルヘルスの維持・増進に寄与すること（石原ら, 2015c）、認知機能の維持・促進に寄与すること（Colcombe and Kramer, 2003; 石原ら, 2015a; 石原ら, 2015c; 石原ら, 2016）が報告されている。

認知機能の中でも目標志向的認知を司る遂行機能（Banich, 2009）は運動による促進効果が大きいことが報告されている（Colcombe & Kramer, 2003; 石原ら, 2015a; 石原ら, 2015c）。遂行機能は以下の3つの下位要素から構成されることが示されている。1）抑制機能：内部または外部の強い欲求を制御し、注意をコントロールする機能。2）ワーキングメモリー：情報を短期的に保持・更新し、その情報を適切に使用する機能。3）認知の柔軟性：考え方や注意を向ける対象を柔軟に切り替える機能（Miyake et al., 2000; Diamond, 2013）。これらの3つの機能が協働して論理的な思考や問題解決を実現していると考えられている（Diamond, 2013）。遂行機能は生活の様々な側面（仕事の成功・継続、心身の健康、恋愛、QOL、犯罪への関与）において重要な役割を果たすことが示されており、青年期に促進させることの重要性が指摘されている（Diamond, 2013）。

積雪寒冷地において、年齢・世代を問わず積雪期に運動量が低下することが知られており（石原ら, 2015b; 志手ら, 1988; 須田ら, 1997）、積雪期における運動量の低下が遂行機能に与える影響を検討することは重要な課題である。そこで、本研究は北海道在住の大学生を対象に積雪期の運動量と遂行機能の下位要素の1つであるワーキングメモリーの関連性を横断的に検討することを目的とした。

## 方 法

## 対象者

健康な大学生または大学院生男女10名を対象とした（男性4名、女性6名）。本研究は北海道大学大学院教育学研究院倫理委員会の承認を得て、すべての対象者に対して実験の趣旨、方法と本実験に関わる安全性について十分な説明を行い、文書にて同意を得た上で実施した。対象者の身体特性をTable 1に示した。

## プロトコル

本研究は2015年12月の積雪期に実施された。対象は測定室入室後、プロフィール、運動量に関するアンケートに解答した。その後、パソコンを用いたワーキングメモリー課題（N-back課題）を実施した。所要時間はおよ

Table 1 Characteristics of the Study Participants

	N or Mean (SD)	Range
N	10	
Male/Female	4/6	
Age (years old)	22.9 (4.1)	19 – 32
Height (cm)	163.3 (9.4)	151.4 – 182.0
Weight (kg)	57.8 (7.7)	45.0 – 73.0
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.7 (1.7)	19.6 – 24.5

Note: BMI = body mass index.

そ30分であった。実験前日に刺激物やアルコールの摂取を避け、当日実験前には運動を行わないよう指示した。

## 運動量

運動量を評価するため、日常生活における一般的な1週間において、生活活動を除いた計画的に実施している身体活動（運動）を週に何回、1回当たり何時間実施しているかを回答させた。質問は過去1年間を無積雪期と積雪期に分けて調査した。また、無積雪期と積雪期の運動量の差を積雪期から無積雪期の値を引くことで算出した。

## ワーキングメモリー

本研究では、PCを用いたN-back Task（Owen et al., 2005）によりワーキングメモリーを評価した。N-back Taskは、系列提示された刺激を最終刺激からN項目まで遡って回答する課題であり、短時間の記憶の保持およびその更新が要求される。本研究では2-back Taskと3-back Taskの2種類を実施した。N項目前に提示された刺激と現在の刺激が同じものである場合に左のCtrlボタン、同じものでない場合は右のCtrlボタンによるボタン押しを行うよう指示した。刺激はアルファベットから構成され（刺激サイズ：1.5cm × 1.5cm, 視角：1.72°）、すべての刺激を持続時間500ms、刺激間隔2500msで提示した（Figure 1）。14刺激から構成される練習ブロックを実施した後に、36刺激から構成されるブロックを2ブロック実施し、ブロック間の休息は1分間とした。各ブロックにおける正反応が正答となる確率は1/6とした。課題実施中は目からディスプレイまでの距離を50cmに保つよう指示し、極端にずれた場合は休憩の間に注意を促した。課題成績として先行研究に倣い、平均反応時間と正答率を用いた（Chen et al., 2014; 石原ら, 2015a; Scudder et al., 2014）。また、反応時間の個人内変動（反応時間の標準偏差）は神経学的健康の行動指標として用いられているため（Macdonald et al., 2006）、反応時間の標準偏差も課題成績に含めた。反応時間の標準偏差は値が小さいほど安定して課題を実施していたことを指し、課題成績が高いことを示す。平均反応時間、反応時間の標準偏差および正答率をワーキングメモリーの指標として用いた。課題の所要時間はおよそ20分であった。

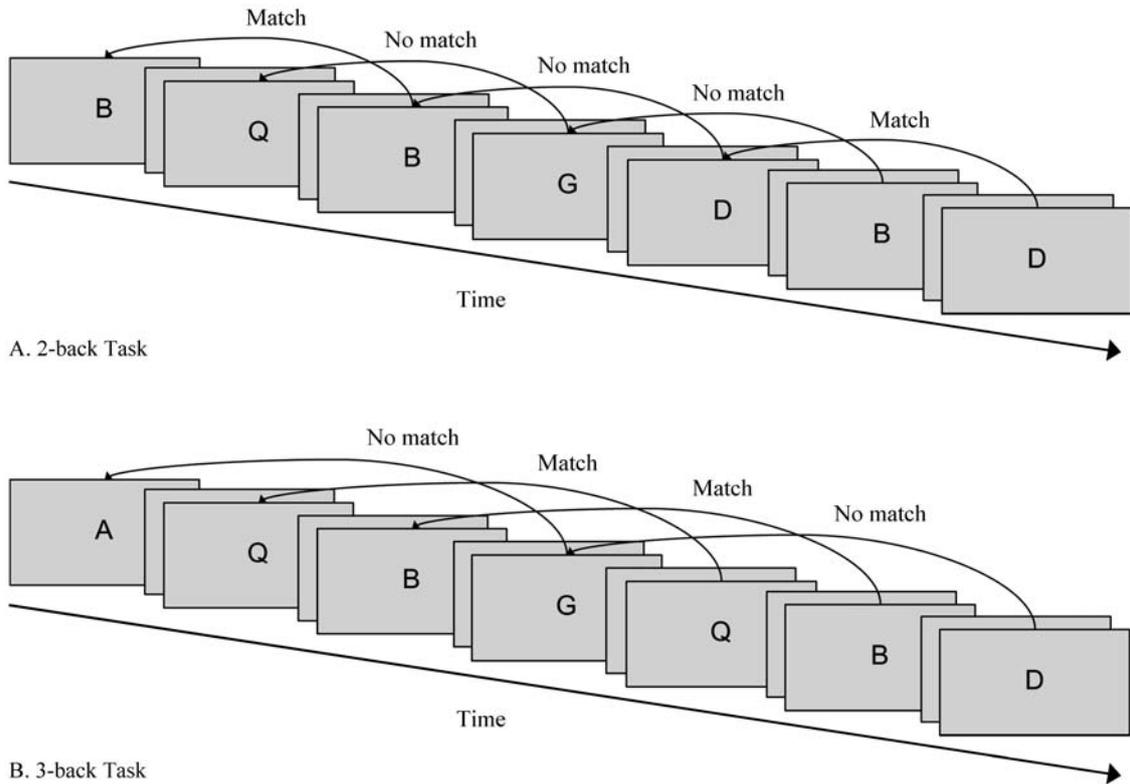


Figure 1 Schematic diagram of the 2-back Task (A) and 3-back Task (B)

統計処理

無積雪期の運動量と積雪期の運動量の比較および 2-back Task 課題成績と 3-back Task 課題成績の比較に ウィルコクソンの符号付順位検定を用いた。各測定項目間の関係は Spearman の順位相関係数を用いて検討した。ワーキングメモリーは加齢に伴い低下することが報告されており (Park et al., 2002), 本研究の対象者は 19 歳から 32 歳と年齢に幅があったため, 相関分析には年齢で調整後の値を用いた。有意水準は 5% 未満とし, 10% 未満を傾向有りとした。

結果

無積雪期と積雪期の運動量の比較

無積雪期と積雪期の運動頻度および運動時間を Table 2 に示した。運動頻度, 1 日当たりの運動時間, 総運動時間は無積雪期と比較して積雪期で有意に低値を示した (頻度:  $z = 2.11, p = .04, r = .47$ ; 1 日当たりの時間:  $z = 2.21, p = .03, r = .49$ ; 総運動時間:  $z = 2.53, p = .01, r = .57$ )。

N-back Task 課題成績

2-back Task および 3-back Task の課題成績を Table 3 に示した。2-back Task と 3-back Task の課題成績に有意な差は認められなかったが, 2-back Task から 3-back Task にかけて反応時間が遅延する傾向が認められた (反応時間:  $z = 1.88, p = .06, r = .42$ ; 反応時間の標準偏差:  $z = 0.81, p = .42, r = .18$ , 正答率:  $z = 0.81, p = .42, r = .18$ )。

運動量と N-back Task 課題成績の関連

運動頻度, 1 日当たりの運動時間, 総運動時間と N-back Task 課題成績の間の順位相関係数を Table 4 に

Table 2 Exercise Habit of the Study Participants

	Mean (SD)	Range
Exercise habit of no snow season		
days/week	3.2 (1.8)	0.3 — 6.0
hours/day	2.1 (1.3)	0.3 — 4.5
hours/week	7.5 (6.9)	0.1 — 18.0
Exercise habit of snow season		
days/week	1.7 (2.1) *	0.0 — 5.0
hours/day	1.3 (1.7) *	0.0 — 4.5
hours/week	4.9 (6.6) *	0.0 — 18.0
Change in exercise habit		
days/week	-1.5 (1.7)	-4.0 — 1.0
hours/day	-0.8 (0.8)	-2.0 — 0.0
hours/week	-2.7 (2.9)	-9.0 — 0.0

Note : \* versus exercise habit of no snow season,  $p < .05$ .

Table 3 N-back Task Performance of the Study Participants

	Mean (SD)	Range
2-back RT (ms)	717.99 (216.52)	395.91 — 1118.24
3-back RT (ms)	838.79 (236.21) †	473.23 — 1268.88
2-back SDRT (ms)	256.80 (117.67)	66.57 — 440.18
3-back SDRT (ms)	311.21 (127.77)	96.05 — 465.79
2-back accuracy (%)	91.76 (4.45)	85.29 — 97.06
3-back accuracy (%)	90.30 (6.36)	78.79 — 96.97

Note : RT = reaction time, SDRT = standard deviation of reaction time, † versus 2-back condition,  $p < .10$ .

Table 4 Intercorrelations between exercise habit and N-back Task performance (adjusted for age)

	2-back RT	3-back RT	2-back SDRT	3-back SDRT	2-back accuracy	3-back accuracy
Exercise habit of no snow season						
days/week	-.46	-.59 <sup>†</sup>	-.73*	-.75*	-.43	.00
hours/day	-.65 <sup>†</sup>	-.42	-.50	-.10	.11	-.23
hours/week	-.69*	-.59 <sup>†</sup>	-.61 <sup>†</sup>	-.37	.05	-.06
Exercise habit of snow season						
days/week	-.73*	-.48	-.77*	-.53	-.25	-.25
hours/day	-.83**	-.74*	-.92**	-.66 <sup>†</sup>	-.21	-.06
hours/week	-.86**	-.70*	-.93**	-.60 <sup>†</sup>	-.14	-.07
Change in exercise habit						
days/week	-.46	.11	-.05	.40	.39	-.32
hours/day	-.64 <sup>†</sup>	-.71*	-.84**	-.71*	-.27	.22
hours/week	-.25	.00	-.18	.19	.34	.19

Note : Data are presented as Spearman's correlation coefficient, RT = reaction time, SDRT = standard deviation of reaction time, <sup>†</sup>  $p < .10$ , \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$

示した。無積雪期における運動頻度と2-back Taskと3-back Taskにおける反応時間の標準偏差の間に有意な負の相関関係が認められ (2-back Task :  $\rho = -.73$ ,  $p = .03$ ; 3-back Task :  $\rho = -.75$ ,  $p = .02$ )。無積雪期における運動頻度と3-back Taskにおける反応時間との間に負の相関傾向が認められた ( $\rho = -.59$ ,  $p = .09$ )。無積雪期における1日当たりの運動時間と2-back Taskにおける反応時間の間に負の相関傾向が示された ( $\rho = -.65$ ,  $p = .06$ )。無積雪期における総運動時間と2-back Taskにおける反応時間に有意な負の相関関係が認められ ( $\rho = -.69$ ,  $p = .04$ )。また、無積雪期における総運動時間と3-back Taskにおける反応時間、2-back Taskにおける反応時間の標準偏差の間に負の相関傾向が認められた (3-back Task反応時間 :  $\rho = -.59$ ,  $p = .09$ ; 2-back Task反応時間の標準偏差 :  $\rho = -.61$ ,  $p = .08$ )。以上の結果は、無積雪期における運動量が多い者ほど積雪期において高いワーキングメモリーを保持していることを示している。

積雪期における運動頻度と2-back Taskにおける反応時間と反応時間の標準偏差の間に有意な負の相関関係が認められた (反応時間 :  $\rho = -.73$ ,  $p = .03$ ; 反応時間の標準偏差 :  $\rho = -.77$ ,  $p = .02$ )。積雪期における1日当たりの運動時間と2-back Taskにおける反応時間と反応時間の標準偏差および3-back Taskにおける反応時間の間に有意な負の相関関係が示された (2-back Task反応時間 :  $\rho = -.83$ ,  $p < .01$ ; 2-back Task反応時間の標準偏差 :  $\rho = -.92$ ,  $p < .01$ ; 3-back Task反応時間 :  $\rho = -.74$ ,  $p = .02$ )。積雪期における1日当たりの運動時間と3-back Taskにおける反応時間の標準偏差の間に負の相関傾向が認められた ( $\rho = -.66$ ,  $p = .05$ )。積雪期における総運動時間と2-back Taskにおける反応時間と反応時間の標準偏差および3-back Taskにおける反応時間の間に有意な負の相関関係が示された (2-back Task反応時間 :  $\rho = -.86$ ,  $p < .01$ ; 2-back Task反応時間

の標準偏差 :  $\rho = -.93$ ,  $p < .01$ ; 3-back Task反応時間 :  $\rho = -.70$ ,  $p = .04$ )。積雪期における総運動時間と3-back Taskにおける反応時間の標準偏差の間に負の相関傾向が認められた ( $\rho = -.60$ ,  $p = .08$ )。これらの結果は積雪期において運動量が多い者ほど高いワーキングメモリーを有していることを示している。

無積雪期から積雪期にかけての1日当たりの運動時間の変化と2-back Taskにおける反応時間の標準偏差、3-back Taskにおける反応時間と反応時間の標準偏差の間に有意な負の相関関係が認められた (2-back Task反応時間の標準偏差 :  $\rho = -.84$ ,  $p < .01$ ; 3-back Task反応時間 :  $\rho = -.71$ ,  $p = .03$ ; 3-back Task反応時間の標準偏差 :  $\rho = -.71$ ,  $p = .03$ ) (Figure 2)。また、無積雪期から積雪期にかけての1日当たりの運動時間の変化量と2-back Taskにおける反応時間の間に負の相関傾向が認められた ( $\rho = -.64$ ,  $p = .06$ )。以上の結果は、無積雪期から積雪期にかけて運動量が減少した者ほど積雪期におけるワーキングメモリーが低いことを示唆している。

## 考 察

本研究は、青年男女を対象に無積雪期及び積雪期の運動量と積雪期におけるワーキングメモリーの関連を検討した。その結果、青年期における無積雪期と積雪期の運動量とワーキングメモリーの間に正の関連があることが示された。また、無積雪期から積雪期にかけて運動量が低下した者ほど積雪期のワーキングメモリーが低い水準であるという関連が認められ、積雪期における運動量の低下によりワーキングメモリーが損なわれることが示唆された。

本研究においては積雪期および無積雪期の運動量が多い者ほど積雪期におけるワーキングメモリーが高いことが示唆されたが、運動とワーキングメモリーの関連

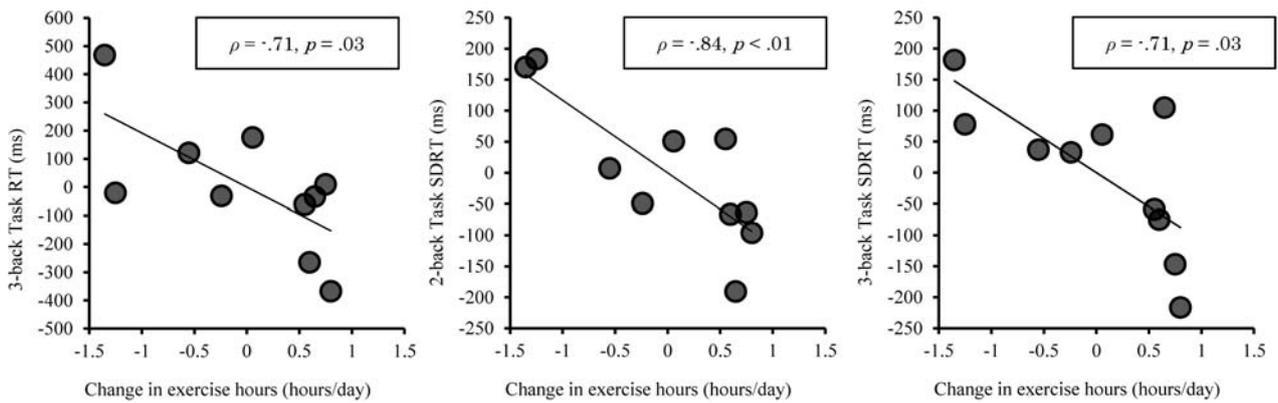


Figure 2 Relationships between change in exercise hours and N-back Task performance (adjusted for age).  
Note: RT = reaction time, SDRT = standard deviation of reaction time

については統一された見解が持たれていない。運動はワーキングメモリーの促進に寄与することが報告されている一方で (Drollette et al., 2016 ; Kamijo et al., 2011 ; Scudder et al., 2014), 運動とワーキングメモリーの間に関連が認められなかったとする報告も存在する (石原ら, 2015a ; Smith et al., 2010). 我々は本研究と同様に北海道在住の青年において、積雪期の運動量が多い者は積雪期の抑制機能が高い一方で、ワーキングメモリーにおいてはそのような関連が認められなかったことを報告した (石原ら, 2015a). 本研究の結果は、我々の先行研究とは異なる結果を示した (石原ら, 2015a). その原因として、対象者の運動習慣者の割合が異なったことが予想される。本研究の対象者において運動習慣を形成していた者 (週2回, 1回30分以上) の割合は50%であったのに対して、石原ら (2015a) の対象者においては70%の者が運動習慣形成者であった。この違いが運動習慣とワーキングメモリーの関連性に影響を与えたと推察される。厚生労働省による「平成26年国民健康・栄養調査結果の概要」によると、運動習慣形成者は男性で31.2%, 女性で25.1%であることが報告されている。本研究の対象は比較的運動習慣形成者が多い集団であった。より一般的な集団を対象とした調査が望まれる。

運動がワーキングメモリーに与える効果を検討した研究は発育発達期の子どもを対象としたもの (Drollette et al., 2016 ; Kamijo et al., 2011 ; Scudder et al., 2014), 中高齢者を対象としたものが多数を占める (Hoffman et al., 2008 ; Kramer et al., 2002 ; Oken et al., 2004). 青年期を対象に運動とワーキングメモリーの関連を検討した研究は比較的少ないが、本研究により青年期において運動量を増加させることでワーキングメモリーの保持・増進に寄与することが示唆された。ワーキングメモリーを下位要素とする遂行機能の維持・促進は生活の様々な側面 (仕事の成功・継続, 心身の健康, 恋愛, QOL, 犯罪への関与) に影響を与えていることが示されており (Diamond, 2013), 運動量の増加による遂行機能の亢進が実際に生活に影響を与えるかを検討することが今後の

課題である。

運動が認知機能に与える効果を検討した研究は横断的研究 (Drollette et al., 2016 ; 石原ら, 2015a ; 石原ら, 2015c ; 石原ら, 2016 ; Scudder et al., 2014), または介入研究 (Hillman et al., 2014 ; Kamijo et al., 2011 ; Kramer et al., 2002 ; Oken et al., 2004) による様々な研究デザインのもの存在するが、積雪期における運動量の低下が認知機能に与える効果を検討した研究は存在しない。本研究の結果、積雪期に運動量が低下することを報告した先行研究 (石原ら, 2015b ; 志手ら, 1988 ; 須田ら, 1997) と同様に無積雪期から積雪期にかけて運動量が有意に減少した。さらに積雪期にかけて運動量が減少した者ほど積雪期におけるワーキングメモリーが低い結果を得た。本研究により、積雪寒冷地在住の青年男女において、積雪期の運動量の低下がワーキングメモリーを阻害することが示唆された。

本研究の限界として、サンプルサイズが小さいこと、横断的な研究デザインであることが挙げられる。本研究においてはサンプルサイズが小さかったため、性別、喫煙歴、飲酒習慣、既往歴等の交絡因子については検討することができなかった。また、運動以外の無積雪期から積雪期にかけて変容すると予想される生活習慣 (e.g., 生活活動, 食習慣, 睡眠習慣) が考慮されていなかった。本研究の結果は、運動量とN-back Taskで評価したワーキングメモリーの間に正の関連があることを示唆するものであるが、運動量とN-back Task課題成績との間に関連が認められなかった項目もいくつか存在する。その原因として、上記の交絡因子の影響を排除しきれていなかったこと、無積雪期から積雪期にかけて運動以外の生活習慣の変容の影響を評価していないことが挙げられる。今後はサンプル数を増やし、様々な交絡因子の影響を排除した検討が望まれる。また、本研究は横断的な研究デザインを用いたため運動とワーキングメモリーの間の因果関係を示したとは言えない。今後は縦断的な研究デザインを用いて検討する必要があると考えられる。

## 結 語

本研究は青年男女を対象に無積雪期と積雪期の運動量とワーキングメモリーの関連を検討した。その結果、運動量が多い者ほど高いワーキングメモリーを保持していることが示された。さらに、積雪期に運動量が低下した者ほど積雪期におけるワーキングメモリーが低いことが示され、積雪期における運動量の維持がワーキングメモリーの保持・増進にとって重要であることが示唆された。

## 文 献

- Banich, M. T. (2009) Executive function : The search for an integrated account. *Curr. Dir. Psychol. Sci.*, 18 (2) : 89-94.
- Chen, A. G., Yan, J., Yin, H. C., Pan, C. Y., and Chang, Y. K. (2014) Effects of acute aerobic exercise on multiple aspects of executive function in preadolescent children. *Psychol. Sport Exerc.*, 15 (6) : 627-636.
- Colcombe, S., and Kramer, A. F. (2003) Fitness effects on the cognitive function of older adults a meta-analytic study. *Psychol. Sci.*, 14 (2) : 125-130.
- Diamond, A. (2013) Executive functions. *Annu. Rev. Psychol.*, 64 : 135-168.
- Drollette, E. S., Scudder, M. R., Raine, L. B., Davis Moore, R., Pontifex, M. B., Erickson, K. I., and Hillman, C. H. (2016) The sexual dimorphic association of cardiorespiratory fitness to working memory in children. *Dev. Sci.*, 19 (1) : 90-108.
- Fox, K. R. (1999) The influence of physical activity on mental well-being. *Public Health Nutr.*, 2 (3A) : 411-418.
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., Khan, N. A., Raine, L. B., Scudder, M. R., Drollette, E. S., Moore, R. D., Wu, C. T., and Kamijo, K. (2014) Effects of the FITKids randomized controlled trial on executive control and brain function. *Pediatrics*, 134 (4) : e1063-e1071.
- Hoffman, B. M., Blumenthal, J. A., Babyak, M. A., Smith, P. J., Rogers, S. D., Doraiswamy, P. M., and Sherwood, A. (2008) Exercise fails to improve neurocognition in depressed middle-aged and older adults. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 40 (7) : 1344-1352.
- 石原暢・篠原翠・苔米地伸泰・水野眞佐夫 (2015a) 青年期における運動習慣が抑制機能とワーキングメモリーに与える効果。北海道体育学研究, 50 : 9-15.
- 石原暢・篠原翠・苔米地伸泰・水野眞佐夫 (2015b) 北海道在住大学生における積雪期の運動有能感と運動習慣の関係。北海道大学大学院教育学研究院紀要, 123 : 55-65.
- 石原暢・富田有紀子・小笠原都貴子・竹花滯・水野眞佐夫 (2016) 運動習慣が急性ストレスに対する遂行機能および主観的・生理的ストレス受容度に及ぼす影響。日本生理人類学会誌, 21 (1) : 3-9.
- 石原暢・唐家楽・瀧澤一騎・水野眞佐夫 (2015c) 中高年齢者における異なる種目の運動習慣が遂行機能とメンタルヘルスに与える効果—低強度運動と中高強度運動の比較—。日本生理人類学会誌, 20 (3) : 127-133.
- Kamijo, K., Pontifex, M. B., O'Leary, K. C., Scudder, M. R., Wu, C. T., Castelli, D. M., and Hillman, C. H. (2011) The effects of an afterschool physical activity program on working memory in preadolescent children. *Dev. Sci.*, 14 (5) : 1046-1058.
- Kramer, A. F., Hahn, S., McAuley, E., Cohen, N. J., Banich, M. T., Harrison, C., Chason, J., Boileau, R. A., Bardell, L., Colcombe, A., and Vakil, E. (2002) Exercise, aging, and cognition : healthy body, healthy mind?. In : Rogers, W. A. and Fisk, A. D. (Eds.). *Human Factors Interventions for the Health Care of Older Adults*, pp. 91-120.
- Macdonald, S., Nyberg, L., and Backman, L. (2006) Intra-individual variability in behavior : Links to brain structure, neurotransmission and neuronal activity. *Trends Neurosci.*, 29 (8) : 474-480.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., and Wager, T. (2000) The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks : A latent variable analysis. *Cognit. Psychol.*, 41 (1) : 49-100.
- Oken, B. S., Kishiyama, S., Zajdel, D., Bourdette, D., Carlsen, J., Haas, M., Hugos, C., Kraemer, D. F., Lawrence, J., and Mass, M. (2004) Randomized controlled trial of yoga and exercise in multiple sclerosis. *Neurology*, 62 (11) : 2058-2064.
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., and Bullmore, E. (2005) N-back working memory paradigm : A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Hum. Brain Mapp.*, 25 (1) : 46-59.
- Park, D. C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., and Smith, P. K. (2002) Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychol. Aging*, 17 (2) : 299-320.
- Scudder, M. R., Lambourne, K., Drollette, E. S., Herrmann, S. D., Washburn, R. A., Donnelly, J. E., and Hillman, C. H. (2014) Aerobic capacity

and cognitive control in elementary school-age children. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 46 (5) : 1025-1035.

志手典之・新開谷央・伊藤久美子 (1988) 非降雪期および降雪期における小学校児童の身体活動水準の差異について. *北海道体育学研究*, 23 : 33-42.

Smith, P. J., Blumenthal, J. A., Hoffman, B. M., Cooper, H., Strauman, T. A., Welsh-Bohmer, K., Browndyke, JN., and Sherwood, A. (2010) Aerobic exercise and neurocognitive performance : a meta-analytic review of randomized controlled trials. *Psychosom. Med.*, 72 (3) : 239-252.

須田力・森谷繁・中川功哉 (1997) 積雪寒冷地における高齢者の生活と運動. *北海道大学図書刊行会*, 11-14.

{平成28年3月29日 受付}  
{平成28年9月20日 受理}