

姿勢維持能力と前頭葉機能との関係について

—八雲研究における縦断資料による検討—

岩原 昭彦 (和歌山県立医科大学 保健看護学部, iwahara@wakayama-med.ac.jp)

八田 武志 (関西福祉科学大学 健康福祉学部, hatta@tamateyama.ac.jp)

加藤 公子 (愛知淑徳大学 心理学部, kimi@asu.aasa.ac.jp)

堀田 千絵 (関西福祉科学大学 教育学部, chie_hotta@yahoo.co.jp)

伊藤 恵美 (名古屋大学 医学部保健学科, emiito@met.nagoya-u.ac.jp)

永原 直子 (大阪健康福祉短期大学 介護福祉学科, n.nagahara@kenko-fukushi.ac.jp)

八田 武俊 (岐阜医療科学大学 保健科学部, hatta@u-gifu-ms.ac.jp)

八田 純子 (愛知学院大学 心身科学部, hatta105@dpc.agu.ac.jp)

藤原 和美 (鈴鹿医療科学大学 看護学部, f-kazumi@suzuka-u.ac.jp)

長谷川 幸治 (関西福祉科学大学 保健医療学部, hasegawa@tamateyama.ac.jp)

The relationship between the postural stability and cognitive ability: The analysis of longitudinal data in Yakumo Study

Akihiko Iwahara (School of Health and Nursing Science, Wakayama Medical University, Japan)

Takeshi Hatta (Department of Health Science, Kansai University of Welfare Sciences, Japan)

Kimiko Kato (Faculty of Psychology, Aichi Shukutoku University, Japan)

Chie Hotta (Department of Education, Kansai University of Welfare Sciences, Japan)

Emi Ito (Department of Occupational Therapy, School of Health, Nagoya University, Japan)

Naoko Nagahara (Department of Welfare, Osaka Health and Welfare Junior College, Japan)

Taketoshi Hatta (Department of Health Science, Gifu University of Medical Sciences, Japan)

Junko Hatta (Faculty of Psychological Science and Physical Science, Aichi Gakusen University, Japan)

Kazumi Fujiwara (Faculty of Nursing, Suzuka University of Medical Science, Japan)

Yukiharu Hasegawa (Department of Rehabilitation Science, Kansai University of Welfare Sciences, Japan)

Abstract

The relation between the postural stability and cognitive ability (attention and logical memory) in healthy elderly people was examined using Yakumo Study longitudinal data. Based upon the regression coefficients for 11 years developmental changes from age 65 to 75 years old, participants were classified into two groups who have preserved digit cancellation test performances and who have shown a substantial decline. Performances of postural ability measured by Ronberg ratio (RQ) using stabilometer, digit cancellation test and logical memory test were compared between two groups. Results showed RQ and digit cancellation test performance were highly correlated while RQ and memory performance did not. These results suggest strong mutual relations between postural motor-kinesthetic function and prefrontal cortex related cognitive function.

Key words

postural ability, digit cancellation test, memory, elderly people, cerebellum function

1. はじめに

小脳は運動機能を統御する器官であり認知機能とは関係しないとするのが長い間の常識であった。系統発生的の視点から見ても、認知機能が最も優れる脊椎動物であるヒトの小脳は大脳に比べてサイズは10分の1に満たないのに対して、ヒトよりも劣るイヌやネコなどでは小脳のサイズが大脳とほぼ同じか大きいことなどから容易に推論され、了解されやすいことである。この長い間の常識を覆す指摘、すなわちヒトの小脳が認知機能に関連していることを明らかにしたのは、Schmahmann (1997) か

らである。この指摘はもともと小動物での神経生理学的研究で検討されてきた小脳の役割を背景に展開されたものである。小脳の神経生理学的研究には伊藤正男らが先進的役割を果たしたということができ、後のロボット研究に基礎的な知見をもたらしたことは、2014年に刊行された *Cerebellum* 誌の review 論文からも明らかである (Konziol, Budding, Andereasen, et al., 2014)。ちなみにこの論文は著名な小脳研究者16名の寄稿によるもので、今後の確認を要する指摘を含むことは言うまでもないが、「小脳は、言語、作業記憶、実行系機能、適応行動の調整、学習をスーパーヴァイズする器官である」と結論づけている。これらの結論の基礎となっているのはラットやサルでの神経学的研究であり、そこでは、ウィルス伝播を染色して可視化する手法によって小脳-視床-前頭葉を

連絡する神経ネットワークが存在することが確認されている (Lamnani & Miall, 2001; Middleton & Strick, 2001)。

これら動物による基礎研究を基盤とし、ヒトの小脳の役割を変更させ以前よりも重視する見解は、主に小脳損傷児・者での検討と脳画像研究法の進歩によりもたらされたものである。例えば、Levinson, Cronin-Golmb and Schmahmann (2000) では、小脳の腫瘍を切除した 19 名の子どもの認知機能を検査した結果、実行系機能、空間認知機能、言語表現能力、言語記憶能力、情動コントロールなどにおける障害を報告している。脳画像研究では、Desmond, Gabrieli and Glover (1998) が 6 名の右きき女子を対象とする単語完成課題実行中での fMRI 測定で、簡単な問題では左中心前回、左尾状核の活性を、難しい問題では右小脳皮質と小脳虫部における顕著な活性を報告している。

私たちはこれらの小脳に関するいわゆる医学的研究法による報告を踏まえて、行動指標で基底核-小脳を含む運動機能指標と認知機能との関連を検討した。Hatta, Masui, Ito, Ito, Hasegawa, and Matsuyama (2004) は、重心動揺計による姿勢保持機能での指標と、D-CAT、言語流暢性検査との比較検討である。具体的には、姿勢維持機能の成績をもとに平均よりも成績が優れる高成績群と劣る低成績群に二分して、D-CAT、言語流暢性検査の成績を比較した。ちなみに、姿勢維持機能は開眼時と閉眼時における立位での身体の重心移動軌跡が作る面積比 RQ (ロンベルグ比) を用いたもので、パーキンソン病や小脳失調での検査項目として一般的なものである。比較の結果は、D-CAT では群間差が有意に異なった一方で、言語流暢性検査での成績には差異は認められなかった。姿勢維持機能が優れる群は D-CAT での成績が優れたのである。後述するように D-CAT は前頭葉前部の活動を反映する指標であることが確認されており、私たちはこの成果を基底核-小脳を基盤とする機能と前頭葉前部を基盤とする機能との間に密接な関連があることを示唆する行動学的データであるとした。この行動指標での前頭葉機能と小脳運動系機能との関連の私たちの確認は、小脳を対象にした近年の研究のコンセンサスと合致するといえるが、再確認され強化される必要があることは言うまでもない。

本研究の目的は、私たちの先行研究の結果の信頼性を高める試みである。先行研究では姿勢維持機能検査の成績をもとに対象者を分類し、認知機能検査 (D-CAT) での成績を比較する手法を採用した。本研究は逆に、D-CAT 検査成績をもとに対象者を分類し、姿勢維持機能検査 (RQ) の成績を比較する方法を採用する。いわば、逆も真であるのかを検証しようということである。対象者の D-CAT に今回は縦断的資料を採用した。60 歳から 65 歳までの期間における同一の検査結果に基づいて、発達的な変化つまり変化率を算出して指標として採用した。このことは、一度の検査成績結果に依存する際のアーティファクトの要素の混入を除外でき、対象者の認知機能についての信頼性を高めていることになろう。つまり、65 歳か

ら 75 歳までの 11 年間に認知機能を維持している対象者群と低下を示している対象者群での RQ の比較を行うのが本研究の目的である。作業仮説としては、前頭葉機能を反映する D-CAT 検査成績で加齢による低下が見られる群では、低下が見られない群に比べて、RQ の成績も低下しているはずであるというものである。

2. 方法

2.1 対象者

2001 年から 2013 年までの期間に、八雲住民健診において心理学班と整形外科科学班の両方に参加した者の中から、65 歳から 75 歳までの期間で 4 回以上参加していること、最初の測定時点で MMSE 得点が 23 点以上であること、の条件を満たす者 30 名が対象者となった。この年齢期間の選択は、多くの先行研究で認知機能の変化が最も顕著に現れると指摘されたことに基づいている (八田, 2010; Huntley, Gould, Liu, et al., 2015; Nissen, Eimstahl, Minthorn, et al., 2015; Yamada, Lands, Mimori, et al., 2015)。

対象者の D-CAT の一文字抹消条件の成績に基づいて、個人別に 65 歳を起点とする発達曲線を描き、回帰係数を算出した。回帰係数がマイナスになれば、D-CAT での成績は低下していることになり、プラスの値を取れば成績は向上していることになる。この回帰係数により、認知機能維持群 (以下、維持群) と認知機能低下群 (以下、低下群) をそれぞれ 15 名ずつとなるように選抜した。維持群は成績が 5% 未満の変化であるのに対して、低下群では 5% 以上の低下を示した。維持群は回帰係数の値が上位から 15 名を、低下群では下位から 15 名を選抜し比較を行うこととした。その結果、維持群の平均回帰係数は 0.040 ($SD = 0.05$) であるのに対して低下群では -0.134 ($SD = 0.10$) であった。この群間の差異は有意である ($t = 4.97, df = 28, p < 0.01$)。また、維持群の平均年齢は初回時 65.5 歳、最後時 72.7 歳で男子が 6 名女子 9 名であり平均教育年数は 10.4 歳、低下群では平均年齢は初回時 65.2 歳、最後時 71.8 歳男子 5 名女子 10 名で平均教育年数は 10.9 歳であった。

2.2 姿勢維持機能検査

重心動揺計はアニメ社製を採用した。重心動揺計での測定は整形外科医とアシスタントが時田 (1996) のマニュアルに沿って行った。対象者は検査者の指示に基づいて開眼時と閉眼時それぞれ 1 分間、重心動揺計の足形に裸足で両足をおいて静止した状態を保つように教示された。計測は自動的に行われ、7 種の測度が算出されるが、そのうち姿勢維持機能を最もよく反映するとされるロンベルグ比 (QR) を採用した。これは開眼時と閉眼時の重心の移動軌跡が描く面積の比を表すもので、QR はパーキンソン病の診断や平衡感覚の失調診断に有効な指標として用いられているものである (Maruritz, Dichgans, & Hufschmidt, 1979; Nijokiktjen, Derijke, van Ophem, et al., 1978; 時田, 1996)。

2.3 認知機能検査

認知機能については、NU-CAB (Nagoya University Cognitive Assessment Battery) の中から、D-CAT1 (1文字抹消条件)、論理的記憶検査の成績を分析の対象とした。これは、前述した先行研究では言語流暢性検査を用いたが、単語検索に前頭葉機能の関与が指摘される研究もあり、前頭葉機能の関与が相対的に少ないと考えられる論理記憶検査を用いることにした(最近のfMRI研究では意味流暢性検査での単語産出時には前頭葉前内側回、海馬周辺回、後部帯状回の血流増加が報告されている (Marino, Redondo, Sluna, Sanchiz, & Torres, 2014))。

D-CAT1はランダムに配置された数字を印刷した検査用紙を用いて、1分間に数字の6をできるだけ速く、間違いなく鉛筆で抹消することを求める課題で、D-CATではミスやフォルスアラーム、などいくつかの指標が設けられているが、ここでは、1分間に検索した文字数を指標とした。一般に健常者を対象とした場合にミスやフォルスアラームの出現率は低く変量と見なせないためである。この課題は視覚情報処理速度、注意集中、注意維持の機能を測定するもので、前頭葉機能の評価に信頼性と妥当性を持つことの検討は他の文献を参照されたい (Hatta, Yoshizaki & Ito, 2012; Hibino, Mase, Shirataki, Nagano, Abe, et al., 2013)。論理的記憶検査は、日本版ウェクスラー記憶検査から25文節からなる物語を検査者が2度読み上げ、記憶再生を求める課題である。正しく再生された語数を指標に用いている。なお、NU-CABについては別に紹介しているので、参照されたい (八田, 2002)。

3. 結果

表1は維持群(65歳以降11年間でD-CATの成績が低下率5%以下)及び低下群(65歳以降11年間でD-CAT低下率が5%以上)の平均回帰係数である。言うまでもなく個人間での分散が大きいので、サイン変換した値で統計処理を行った。

2要因繰り返しの分散分析(2(対象者群)×3(RQ, LMT))を実施し、行動指標において群間に差異がないかを検討した。その結果、有意な交互作用効果の傾向が検出された($F_{1,28} = 3.68, MSe = .74, p < 0.07$)。この交互作用は、RQでは有意な群間差が認められるが($F_{1,28} = 4.76, MSe = .95, p < 0.05$)、LMTでは群間に差異を認めないことを反映するものであった($F_{1,56} = 0.05, MSe = .95, ns$)。この結果は私たちの先行研究が明らかにした結果と同じものといえることができる。

表1: 低下群と維持群の平均回帰係数

	Decline	Maintain
Ronberg	-0.39 (0.93)	0.389 (0.873)
Memory	0.038 (0.89)	-0.038 (1.60)

4. 考察

本研究は、「小脳は単に姿勢の維持や滑らかな運動行為をもたらすのに寄与する脳部位というだけでなく、実行系や注意などを主とする認知機能にも関係する脳部位である」という、小脳のこれまでの役割を大きく変化させるパラダイム変換的な見解を裏付ける行動学的資料の更なる蓄積が目的であった。2000年以降での動物での実験を踏まえたヒトでの脳損傷実験や脳画像研究で概ね支持されるようになっていた頃に、私たちは行動学指標でこの新しい見解を支持する資料を報告した (Hatta, Masui, Ito, Ito, Hasegawa, & Matsuyama, 2004)。この先行研究は、小脳-視床-基底核系の関与が大きい、重心動揺系での測定による姿勢維持機能成績に基づいて中高年者を高群と低群に分類して、認知機能検査との関連を検討したところ、実行系や注意機能への関与が大きい、行動指標(D-CAT)では優位な差異が見られ、言語流暢性検査では差異は認められなかったとするものであった。本研究は、認知機能検査成績で対象者を分類した時にも、認知機能と姿勢維持機能との関連性が認められるのかを検討することが目的であった。「逆もまた真」であるのかを問うことで、先行研究の信頼性を強化することを目指した。前述した「Cerebellum」誌のコンセンサス論文には、まとめとして、小脳が認知機能に関与することはもはや疑いないが、どのように認知過程に寄与するのかを明らかにするのが今後の課題であるとし、このテーマは誕生したばかりである (remains in its infancy, pp.171) としている。なかでも、既知の小脳が認知にどのように寄与するかとは逆の方向性の認知が小脳機能にどのように関連するかの研究が極めて少ないとしており、双方向性の検討が蓄積されるべきであると強調している。具体的に言えば、認知活動中の小脳機能の脳活動の検討を指すもので、いくつか脳画像研究 (Allen & Courchesne, 2003; Imaizumi, Kuroda, Miyauchi, Yoshida, & Kawato, 2003; Wadsworth & Kana, 2011) は散見できるが、行動指標での取り組みは見当たらず、本研究はこのことを受けたものとみなせよう。

本研究では認知機能の成績で対象者を分類するのに、縦断的資料を用いた。加齢による認知機能の低下が顕在化する65歳以降の11年間で前頭葉機能を代表する行動指標である注意および実行系機能を反映するD-CATの1文字条件での作業成績の発達変化があまり見られない維持群と低下が認められる低下群を個人別に算出した回帰係数をもとに分類することとした。行動指標は1回きりの計測結果と11年間で縦断的にとらえた場合では、後者の方が信頼性は高いとみなせるためである。発達曲線での回帰係数は2測定時点があれば算出は可能であるが測定時点が多いほど信頼性が高くなることは言うまでもない (権藤・石岡, 2011)。本研究では4計測点以上の対象者を取り上げることで、認知機能の測定結果は信頼性が高いものとなっていると考えている。

本研究ではRQを小脳-視床-基底核-前頭葉の神経ネットワークを反映する行動指標とした。RQは閉眼時と開眼時の静止立位での身体の重心の動揺の軌跡が描く面積比

を計算する指標で使用した重心動揺計で自動的に計測値が表記されるものを用いた。RQが大きくなることは視覚的な手がかりへの依存が大きいことを表すものであり、基底核および小脳機能の以上を検出するのに用いられるものである (Mergner, Schweigart, Fennell, & Maurer, 2009 に RQ が関連する神経学的機能についての詳細がある)。本研究では先行研究では RQ の成績で二分した群間に認知機能、とりわけ前頭葉関連検査成績に差異があるかの検討であったものを逆に、認知機能成績の成績で二分した群間に RQ で差異があるかの検討を目指したものであった。より具体的に言えば、D-CAT の成績で二分した群間に RQ でも対応する差異が認められるかを検討することであった。そして、先行研究と同じように、前頭葉関連の度合いが少ない記憶検査指標では差異は認められないのかを検討することであった。認知機能成績の信頼性を増す縦断資料でそれらを検討しようとしたところ、仮説したとおり、D-CAT 成績が 65 歳以降ほぼ維持されている群では RQ の成績が優れ、65 歳以降に機能低下が認められる群では RQ の成績は劣ることが確認できた。一方で記憶検査成績には群間に際は見られなかった。

これらの結果は先行研究の指摘を強化するものと考えることができ、前頭葉機能と小脳-視床-基底核のネットワークは機能的にとよく関連するという指摘を再確認させるものである。姿勢維持の成績と注意及び実行系が関わる文字抹消課題の成績とに強い関連があることは前頭葉機能と小脳-視床-基底核とが強い関連を持つことを示すことであり、バランスを取ることを含む運動機能を維持訓練することが前頭葉機能の維持に有効なことを神経心理学的に裏付けることを意味している。最近の平衡感覚に抵抗を内包する運動と実行系機能や注意機能とが成人のすべての年齢層で正の相関関係にあることを示唆する指摘を裏付けるものと言えよう (Bherer, 2015; Behrman & Ebmeier, 2014; Kelly, Loughery, Lawlor, Robertson, Walsh, & Brennan, 2014; Ohman, Savikko, Strandberg, & Pitkala, 2014)。

謝辞

本研究は八雲町住民健診における資料収集結果に基づいたものであり、関係各位の協力で感謝申し上げます。

なお、本研究は名古屋大学医学系研究科倫理委員会の承認を受けた (genetic polymorphism study for health check-up examinees in Yakumo town, 2011 #643)。また、対象者から個別に文書による検査結果の研究使用についての書面による承諾書を得た。

また、本研究は、科学研究費補助金 (基盤研究 (B)、代表者：八田武志；研究課題番号 23330219) の補助を受けたものである。

引用文献

Allen, G. & Courchesne, E. (2003). Differential effects of developmental cerebellar abnormality on cognitive and motor functions in the cerebellum: An fMRI study of autism. *American Journal of Psychiatry*, 160, 262-273.

- Awh, E., Jonides, J., Smith, E. E., Schumacher, E. H., Koeppel, R. A., & Katz, S. (1996). Dissociation of storage and rehearsal in verbal working memory: Evidence from positron emission tomography. *Psychological Science*, 7, 25-31.
- Balsters, J., Whelan, C. D., Robertson, I. H., & Ramnani, N. (2013). Cerebellum and cognition: Evidence for the encoding of higher order rules. *Cerebral Cortex*, 23, 1433-1443.
- Behrman, S. & Ebmeier, K. P. (2014). Can exercise prevent cognitive decline? *The Practitioner*, 258, 17-21.
- Bherer, L. (2015). Cognitive plasticity in older adults: effects of cognitive training and physical exercise. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337, 1-6.
- Bherer, L., Erickson, K., & Liu-Ambrose, T. (2013). A review of the effects of physical activity and exercise on cognitive and brain functions in older adults. *Journal of Aging Study*, ID 657508, doi.org/10.1155/2013/657508.
- Buckner, R. L., Krienen, F. M., Castellanos, A., Diaz, J. C., & Yeo, B. T. (2011). The organization of the human cerebellum estimated by intrinsic functional connectivity. *Journal of Neurophysiology*, 106, 2322-2345.
- Desmond, J. E., Gabrieli, J. D., & Glover, G. H. (1998). Dissociation of frontal and cerebellar activity in a cognitive task: Evidence for a distinction between selection and search. *NeuroImage*, 7, 368-376.
- Fiez, J. A., Faife, E. A., Balota, D. A., Schwarz, J. P., Raiche, M. E., & Petersen, S. E. (1996). A positron emission tomography study of the short term maintenance of verbal information. *Journal of Neuroscience*, 16, 808-822.
- Frank, B., Schoch, B., Richter, S., Frings, M., Karnarth, H., & Timmann, D. (2007). Cerebellar lesion studies of cognitive function in children and adolescents-limitation and negative findings. *Cerebellum*, 6, 242-253.
- 権藤恭之・石岡良子 (2011). 高齢者の生活環境、ライフスタイルと認知機能 Y. 箱田 (編) 認知の個人差. 北大路書房, pp.221-252.
- 八田武志 (2004). 住民検診を対象とした認知検査バッテリー (NU-CAB) 作成の試み. 人間環境学研究, 2, 15-20.
- Hatta, T. (2010). Why individual cognitive difference appears in elderly: A neuropsychological model from Yakumo Study. H. Hakoda (ed.) *Individual difference in cognition*. Kitaoji Shobo. Kyoto. pp. 130-169.
- Hatta, T., Masui, T., Ito, Y., Ito, E., Hasegawa, Y., & Matsuyama, Y. (2004). Relation between the prefrontal cortex and cerebro-thalamo-cerebellar functions: Evidence from the results of stabilometer indexes. *Applied Neuropsychology*, 11, 153-160.
- 八田武志・伊藤保弘・吉崎一人 (2006). D-CAT (注意機能スクリーニング検査) 改訂 2 版. FIS.
- Hatta, T., Yoshizaki, K., & Ito, Y. (2012). Reliability and validity of the digit cancellation test: A brief screen of attention.

- Psychologia*, 55, 246-256.
- Hibino, S., Mase, M., Shiratalki, T., Nagano, Y., Fukagawa, K., Abe, A., Nishide, Y., Aizawa, A., Iida, A., Ogawa, T., Abe, J., Hatta, T., Tamada, K., & Kabasawa, H. (2013). Oxyhemoglobin changes during cognitive rehabilitation of the traumatic brain injury using near Infrared Spectroscopy. *Neurologia Medico-Chirurgia*, 53, 299-303.
- Hopyan, T., Laughlin, S., & Dennis, M. (2010). Emotions and their cognitive control in children with cerebellar tumors. *Journal of International Neuropsychological Society*, 16, 1027-1038.
- Huntley, J. D., Gould, R. L., Liu, K., Smith, M., & Howard, R. J. (2015). Do cognitive interventions improve general cognition in dementia? A meta-analysis and meta-regression. *British Medical Journal*, Open, 5, pp. e005247.
- Imaizumi, H., Kuroda, T., Miyauchi, S., Yoshioka, T., & Kawato, M. (2003). Modular organization of internal models of tools in the human cerebellum. *Proceedings of National Academy of Sciences*, U S A. 100, 5461-5466.
- Ito, M. (1998). Cerebellar learning in the vestibule-ocular reflex. *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 313-321.
- Ito, Y., Yoshizaki, K. & Hatta, T. (2001). Cognitive dysfunction of TBI patients: A study of their information processing speed and attention by digit cancellation test (D-CAT). *Studies in Informatics and Sciences*, 14, 43-57.
- Jonides, J., Smith, E. E., Koeppe, R. A., Awh, E., Minoshima, S., & Mintun, M. A. (1993). Spatial working memory in human as revealed by PET. *Nature*, 363 623-625.
- Kalashnikova, L. A., Zueva, Yu. V., Orgacheva, O. V., & Korsakova, N. K. (2005). Cognitive impairments in cerebellar infarcts. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 35, 773-779.
- Kapoula, Z., Gaertner, C., Yang, Q., Denise, P., & Toupet, M. (2013). Vergence and standing balance in subjects with idiopathic bilateral loss of vestibular function. *PLOS one*, 8, e66652-.
- Kelly, M. E., Loughrey, D., Lawlor, B. A., Robertson, I. H., Walsh, C., & Brennan, S. (2014). The impact of exercise on the cognitive functioning of healthy older adults: a systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, 16, 12-31.
- Konziol, L. F., Budding, D., Andreasen, N., D'Arrigo, S., Bulh-gheroni, S., Imamizu, H., Ito, M., Manto, M., Marvel, C., Parker, K., Pezzulo, G., Ramnani, N., Rive, D., Schmahmann, J., Vandervert, L., & Yamazaki, T. (2014). Consensus paper: The cerebellum's role in movement and cognition. *Cerebellum*, 13, 151-177.
- Krienen, F. M., & Bucukner, R. L. (2009). Segregated frontocerebellar circuits revealed by intrinsic functional connectivity. *Cerebral Cortex*, 19, 2485-2497.
- Leiner, H. C., Leiner, A. L., & Dow, R. S. (1993). Cognitive and language functions of human cerebellum. *Trends in Neuroscience*, 16, 444-447.
- Levinson, L., Cronin-Golomb, A., & Schmahmann, J. D. (2000). Neuropsychological consequence of cerebellar tumor resection in children. *Brain*, 123, 1041-1050.
- Liu-Ambrose, T., Nagamatsu, L. S., Graf, P., Beattie, L., Asher, M. C., & Handy, T. C. (2010). Resistance training and executive functions. *Archives of Internal Medicine*, 170, 170-178.
- Marino, J., Redondo, S., Luna, F. G., Sanchez, L. M., & Torres, G. F. (2014). Hemodynamic response in a geographical word naming verbal fluency test. *Spanish Journal of Psychology*, 17, E33, 1-7.
- Mauritz, K. M., Dichgans, S. C., & Hufschmidt, J. (1979). Delayed and enhanced long latency reflexes as a possible cause of postural tremor in late cerebellar atrophy. *Brain*, 104, 97-116.
- Mergner T, Schweigart G, Fennell L, & Maurer C. (2009). Posture control in vestibular loss patients. *Annals of New York Academy of Sciences*, 1164, 206-215.
- Middleton, F. A. & Strick, P. L., (2001). Cerebellar projection to prefrontal cortex of primate. *Journal of Neuroscience*, 21, 700-712.
- Njiokiktjen, C., DeRijke, W., Dieker-van Ophem, A., & Voorhoeve-Coebergh, O. (1978). A possible contribution of stabilography to the differential diagnosis of cerebellar processes. *Agressologie*, 19, 87-88.
- Nissen, E. D., Eimstahl, S., Minthon, L., Nisson, P. M., Pihlgard, M., & Nagga, K. (2016). Associations of central and brachial blood pressure with cognitive function: a population-based study. *Journal of Human Hypertension*, 30, 95-99.
- Ohman, H., Savikko, N., Strandberg, T. E., & Pitkala, K. H. (2014). Effect of physical exercise on cognitive performance in older adults with mild cognitive impairment or dementia: a systematic review. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 38, 347-365.
- Paulesu, E., Frith, C. D., & Frackwiak, R. S. J. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature*, 362, 342-345.
- Ramnani, N., Behrens, T. E., Johansen-Berg, H., Richter, M. C., Pinski, M. A., Andersson, J. L., et al. (2006). The evolution of prefrontal inputs to the cortico-pontine system: Diffusion imaging evidence from macaque monkeys and humans. *Cerebral Cortex*, 16, 811-818.
- Schmahmann, J. D. (1997). *The cerebellum and cognition*. London: Academic Press.
- Schmahmann, J.D. (1998). Dysmetria of thought: Clinical consequences of cerebellar dysfunction on cognition and affect. *Trends in Cognitive Sciences*, 2, 362-371.
- Schmahmann, J. D., & Pandya, D. N. (1997). The cerebocerebellar system. In J. D. Schmahmann (Ed.) *The cerebellum and cognition*. San Diego; Academic, pp.31-60.
- Schmahmann, J. D. & Sherman, J. C. (1998). The cerebellar cognitive affective syndrome. *Brain*, 121, 561-579.

- Schmahmann, J. D., Weilburg, J. B., & Sherman, J. C. (2007). The neuropsychiatry of the cerebellum-insights from the clinic. *Cerebellum*, 6, 254-267.
- Smith, E. E., Jonides, J., Koeppe, R. A., Awh, E., Schumacher, E. H., & Minoshima, S. (1995). Spatial versus object working memory: PET investigation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7, 337-356.
- Sohlberg, M. M. & Mateer, C. A. (1987). Effectiveness of an attention training program. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 19, 117-130.
- Tedesco, A. M., Chiricozzi, F. R., Clausi, S., Lupo, M., Molinari, M., & Leggio, M. G. (2011). The cerebellar cognitive profile. *Brain*, 134, 3672-3686.
- Timmann, D. & Daum, I. (2007). Cerebellar contributions to cognitive functions: A progress report after two decades of research. *Cerebellum*, 6, 159-162.
- 時田 喬 (1996). 重心動揺検査・その実際と解釈. アニマ社.
- Wadsworth, H. M. & Kana, R. K. (2011). Brain mechanisms of perceiving tools and imaging tool use acts: A functional MRI study. *Neuropsychologia*, 49, 1863-1869.
- Yamada, M., Lands, R. D., Mimori, Y., Nagano, Y., & Sasaki, H. (2015). Trajectories of cognitive function in dementia-free subjects: Radiation Effects Research Foundation Adult Health Study. *Journal of the Neurological Sciences*, 351, 115-119.

(受稿：2016年7月2日 受理：2016年8月19日)