高齢者における日常身体活動と反応抑制制御との関係：Go/NoGo課題による事象関連電位の研究

裴 成琰¹, 小川 景子², 山崎 勝男³

The relation between daily physical activity and response inhibition control in older adults : An event-related potential study using a Go/NoGo task

Seongryu Bae¹, Keiko Ogawa² and Katuo Yamazaki³

¹早稲田大学大学院スポーツ科学研究科, 〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15 (*Graduate School of Sport Sciences, Waseda University, 2-579-15 Mikajima Tokorozawa Saitama 359-1192, Japan*)

²広島大学大学院総合科学研究科, 〒739-8521 広島県東広島鏡山1-7-1 (*Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University, 1-7-1 Kagamiyama Higashi-Hiroshima Hiroshima 739-8521, Japan*)

³早稲田大学スポーツ科学学術院, 〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15 (*Faculty of Sport Sciences, Waseda University, 2-579-15 Mikajima Tokorozawa Saitama 359-1192, Japan*)

Received: December 10, 2010 / Accepted: December 6, 2011

Abstract We investigated the relationship between daily physical activity level and response inhibition control aspect of cognitive function in older adults using event-related potentials. Twenty-eight Japanese older adults (70.6 ± 3.8 years) participated in the present study. Daily physical activity (PA) was measured using an accelerometer, including step count and the intensity of PA. Participants were divided on the basis of their step count into “Higher PA group” (more than 10,000 steps/day, $n = 14$) and “Lower PA group” (less than 10,000 steps/day, $n = 14$). Cognitive function was evaluated by performance, NoGo-N2, and NoGo-P3 while they performed a Go/NoGo task. The results indicated that the Higher PA group exhibited shorter reaction time on Go trials, relative to the Lower PA group. NoGo-P3 amplitude was larger in the Higher PA group compared to the Lower PA group, but NoGo-P3 latency did not differ between groups. PA was positively correlated with NoGo-P3 amplitude. NoGo-N2 component was not related to PA. Thus, PA was more sensitive to monitoring of the outcome of response inhibition rather than pre-motor inhibition in Go/NoGo task. These findings suggest that daily PA is associated with preservation of age-related declines in response inhibition control.

Jpn J Phys Fitness Sports Med, 61(2): 169-176 (2012)

Keywords : Daily physical activity, Response inhibition control, cognitive function, event-related brain potentials, older adults

緒 言

加齢とともに身体機能のみならず、記憶、注意、抑制といった認知機能に低下が生じる¹⁻⁴⁾。近年、加齢に伴う認知機能低下を抑え、高齢期における生活の質を良好に保つ有効な手段の一つとして身体活動が注目されている^{1,5)}。

65歳以上の女性高齢者(5,925名)を対象に、質問紙を用いて身体活動と認知機能との関連を検討した横断調査では、両者の間に正の相関関係を認めている⁶⁾。同様な調査によってBarnes et al.⁷⁾も、心肺体力の高い高齢者のほうが低い高齢者よりも認知機能は高いことを報告している。

質問紙以外にも、身体活動と認知機能との関係を調

べる方法として、認知課題遂行中の反応時間 (reaction time : 以下RT), 正反応数, 事象関連電位 (event-related potentials : 以下ERPs) の測定が有効である^{1,5)}。ERPsは、刺激呈示や反応生起など、ある特定の事象に関連して生じる一過性の脳電位変動であり、脳内情報処理過程を高時間分解能で検討するツールとして用いられている⁸⁾。ERPsのなかでもP3成分は、認知機能と身体活動との関係を検討するうえで広く用いられている。P3は刺激提示後約300-600msに最大振幅を示す陽性電位であり、その振幅は標的刺激へ配分された注意資源量を反映し、頂点潜時は刺激評価に要した時間を反映すると解釈されている⁹⁾。高齢者と若年者の心肺体力の違いによるP3変化を検討した研究では、年齢に関係なく心肺体力の高い群のほうが低い群よりもP3振幅が大きいことが報告され

ている^{10,11)}。さらに, Hillman et al.¹⁾は, 高齢者を身体活動レベルの差異によって3群に分け, 認知葛藤課題遂行中のP3を若年者と比較した。その結果, P3潜時は若年者よりも高齢者のほうで長かった。高齢者では身体活動レベルの低い群になるほどP3潜時が長いことを示し, 身体活動の遂行が高齢者の認知処理速度に関連することを示唆している。

認知機能と身体活動との関連を調べた研究では従来, 実行機能の役割に焦点が当てられてきた^{5,12)}。実行機能とは, 自分の置かれた環境下で最適な行動を選択し, 実行するために必要となる機能を指し, 主に前頭前野の担うワーキングメモリ, 注意, 干渉制御, 反応抑制などが該当する¹³⁾。そのなかの反応抑制は, 進行中の反応を素早くかつ確実に抑制するための機能であり¹⁴⁾。他の実行機能と同様に加齢とともに衰退する^{15,16)}。従来, ERPsを用いた反応抑制制御の研究では, 高頻度提示されるGo刺激に対して素早く反応する一方で, 低頻度提示されるNoGo刺激に対しては反応を抑制するGo/NoGo課題が多く用いられてきた。NoGo刺激提示によって惹起するNoGo-N2とNoGo-P3は, 加齢による反応抑制機能の低下に伴って振幅値が低下する^{15,17)}。NoGo-N2は, NoGo刺激呈示後約250-350ms間に前頭-中心部に出現する陰性成分であり, 反応実行の前段階での反応プログラミングの修正や抑制に関係している^{18,19)}。一方, NoGo-P3は, NoGo刺激呈示後約300-600msに前頭-中心部で出現する陽性成分であり, 頭頂部優位に出現するP3成分²⁰⁾とは頭皮上分布が異なることから (NoGo-anteriorization: NGA)^{21,22)}。両者の機能的意義は異なると考えられている。NoGo-P3の機能的意義については, 反応抑制そのものを反映するという解釈²³⁾と, 反応抑制の出力に対するモニタリングを反映するという解釈がある^{18,24)}。

Kramer et al.²⁵⁾は加齢と反応抑制機能との関連について, 健康高齢者のNoGo刺激に対する反応抑制の成功率が若年者よりも低いことを示している。さらにERPsについても, 高齢者の反応抑制機能の低下はNoGo-N2振幅¹⁷⁾およびNoGo-P3振幅の減衰として反映されるという¹⁵⁾。

高齢者の身体活動量と実行機能との関係をERPsで検討した従来の研究を概観すると, 注意機能¹¹⁾。干渉制御¹⁾。ワーキングメモリ²⁶⁾に焦点を当てたものは見られるものの, Go/NoGo課題を用いて高齢者の日常身体活動量とNoGo-N2およびNoGo-P3の関係を検討した研究は見当たらない。

そこで本研究では, 高齢者の日常身体活動量と反応抑制制御との関係を, NoGo-N2およびNoGo-P3成分によって検討することを目的とした。高齢者における身体活動量と実行機能の間には正の相関関係が認められて

いることから^{6,7)}。日常の身体活動量の違いは反応抑制制御にも関係すると考えられる。したがって, 本研究において身体活動量が多い高齢者は少ない高齢者に比べ, NoGo-N2成分およびNoGo-P3成分の高振幅が予想された。

身体活動量と認知機能との関係を検討した先行研究では, 身体活動量を心肺体力²⁷⁾あるいは自己記入式による質問紙^{1,26)}によって評価してきた。心肺体力に關与する諸因子には, 身体活動だけでなく^{28,29)}。遺伝的素因^{28,30)}。身体組成³¹⁾などの要因も含まれる。また, 日常生活下に低強度の身体活動が多い高齢者の場合には, 心肺体力だけでなく, 1日の生活を通した身体活動量を客観的に評価する必要がある。そこで本研究は, 加速度計付き歩数計を用いることで高齢者の日常的な身体活動量を計測し, 定量化することとした。

方 法

参加者および手続き 精神疾患や神経疾患を有さず, 矯正視力が正常な高齢者30名 (男性13名, 女性17名: 平均70.5±3.8歳) が日常の身体活動量測定とGo/NoGo課題を遂行した。参加者の属性および生活習慣は, 自己記入式質問紙によって聴取した。さらに, 抑うつ状態が高齢者の認知機能低下の一要因となることから³²⁾。Zungの自己評価式抑うつ性質質問紙^{33,34)}を参加者の精神衛生調査に用いた。参加者は連続10日間にわたって加速度計付き歩数計を装着し, 日常身体活動量を測定した。測定後, 脳波に対するアーチファクト混入が過多だった2名を除外した28名 (男性12名, 女性16名: 平均70.6±3.8歳) を最終的な検討対象とした。

参加者には, 本研究の目的, 測定内容, 参加に伴う不利益などについて文書および口頭によって詳細に説明し, 書面での研究参加の同意を得た。本研究は早稲田大学における「人を対象とする研究に関する倫理審査委員会」の承認を得て実施した。

身体活動量の測定 身体活動量の測定には, 加速度計付き歩数計 (Kenz Lifecorder-Ex, スズケン社製: 以下ライフコーダ) を用いた。連続10日間の装着期間中, ライフコーダの配布・回収日, 適応日の合計3日間を除外した7日間 (月曜日から日曜日まで) のデータを分析対象とした。1週間における1日当たりの平均歩数を求め, Park et al.³⁵⁾の先行研究を参考に1万歩を超えた参加者 (14名) を身体活動量の多い群 (higher physical activity: Higher PA群), 1万歩未満の参加者 (14名) を身体活動量の少ない群 (lower physical activity: Lower PA群) として分類した。身体活動の強度はライフコーダ強度レベル1-3を低強度 (< 3 METs), 4-6を中等度強度 (3-6 METs), 7-9を高強度 (> 6 METs)

とし、各群におけるそれぞれの強度別活動時間を求めた。身体活動量の指標であるEx (METs・h) に関しては、3 METs以上の身体活動を1週間の合計で求めた。

測定期間中は、同一のライフコーダを使用し、起床時から就寝時まで（入浴時を除外）右または左の腰部側面に装着し、装着部位を変更しないように指示した。また、測定期間中のライフコーダ装着の有無、水中運動や自転車運動の有無、外出の有無等を生活日誌に記入した。ライフコーダ装着自体が介入となり一時的に身体活動量が増加する可能性があるため参加者にはできるだけ普段と同様の生活を送るように教示し、ライフコーダ装着期間中は参加者自身には自らの活動量は確認できないように設定した。

Go/NoGo課題 Go/NoGo課題遂行中の脳波測定はシールドルーム内の椅子に座った状態で行った。視覚刺激は参加者の1 m前方に設置したモニタ上に提示した。モニタ中央部に注視点(+)が500ms間提示された後、実線あるいは破線の四角枠で囲まれた緑色円あるいは赤色円がランダムに提示された。参加者には、実線枠の緑色円と赤色円に対して、左右第3指で可能な限り正確かつ素早くキー上げ反応するように教示した (Go刺激)。色と反応肢との関係は参加者間でカウンターバランスをとった。一方、破線枠に囲まれた緑色円と赤色円に対しては、反応をしないように教示した (NoGo刺激)。Go刺激とNoGo刺激の提示確率はそれぞれ80%と20%であり、刺激提示時間は150msであった。刺激間間隔を1500msとし、1ブロック120試行を合計3ブロック行った。

脳波記録と解析 脳波は国際10-20法に従い、64チャンネルのエレクトロキャップ (Electro-cap International社製) により、頭皮上23部位からQuickAmp (Brain Products社製) を用いて導出した。脳波はオフラインで両耳朶の平均電位を基準に再基準化した。眼電図は両外眼角1 cmから水平眼電図、左眼中心上下2 cmから垂直眼電図を記録した。脳波と眼電図はバンドパスフィルタ0.016-120Hzで導出し、サンプリング周波数は500Hzであり、電極抵抗値は5 k Ω 以下とした。

脳波データはGoとNoGo刺激前100msからGoとNoGo刺激提示後900msの1000ms区間を解析対象とした。眼球運動によるアーチファクトはGratton & Coles法³⁶⁾を用いて修正した。± 100 μ V以上のアーチファクトを含む試行は分析から除外し、正反応試行の脳波データについてGo刺激とNoGo刺激提示時点をトリガにして加算平均した。加算平均で得られたERPsに対してバンドパスフィルタ (0.1-30 Hz, 12 dB/octave) を適用し、振幅値は刺激提示前100ms区間の平均電位をベースラインとして計測した。NoGo-N2振幅値はNoGo刺激提示後150-

300ms区間内における最大陰性電位とした。NoGo-P3振幅値はNoGo刺激提示後300-600ms区間内における最大陽性電位とした。各ERP成分の潜時は刺激提示時点から頂点振幅までの時間とした。RTは刺激提示時点から反応キー上げまでの時間を計測し、150-850msの範囲にある試行のみを分析対象とした。RTの除外基準は脳波の加算平均処理にも適用した。

統計検定 参加者の身体的および生活習慣の特徴、身体活動量、Go/NoGo課題遂行中のRTおよびエラー率に関して、対応のないt検定を用いて群間 (Higher PA群/Lower PA群間) 比較を行った。NoGo-N2とNoGo-P3成分の振幅および潜時に関しては、部位 (Fz・FCz・Cz・Pz) $\times$ 群 (Higher PA群・Lower PA群) の2要因分散分析を適用した。Mauchlyの球面性検定の結果、球面性が仮定されなかった場合には、Greenhouse-Geisserのイプシロンを用いて自由度、有意確率を再計算した。主効果と交互作用が認められた場合は、Bonferroni法を用いて下位検定を行った。また、最大振幅を示した部位のNoGo-N2振幅およびNoGo-P3振幅と身体活動量の指標 (歩数およびEx) との関係について、参加者の特性 (年齢、性別、体格指数 (body mass index: 以下BMI)、教育歴) を制御変数とした偏相関分析を用いて検討した。有意確率は5%とし、すべての統計検定はSPSS for Windows Ver. 17.0を用いて行った。

結 果

身体的および生活習慣の特徴 参加者の身体的特徴と生活習慣の特徴を表1に示した。年齢、身長、体重、教育年数、睡眠時間についてHigher PA群とLower PA群間で差はなかった。Zung自己評価式抑うつ得点は、すべての参加者が正常範囲 (正常範囲: 39点以下) にあり、群間に差はなかった。一方、週当たりの運動実施回数 (1日30分以上) は、Higher PA群がLower PA群よりも有意に多かった ($t(26) = 3.58, p < .001$)。

身体活動量の比較 表2はライフコーダによって測定された各群の身体活動量である。身体活動量指標はHigher PA群のほうがLower PA群より有意に高い値を示した (1日当たりの平均歩数: $t(26) = 7.82, p < .001$; 1週間当たりのEx: $t(26) = 9.11, p < .001$)。さらに、1日当たりの強度別活動時間分布に関しても、中等度強度においてHigher PA群の活動時間がLower PA群よりも有意に長かった ($t(26) = 8.57, p < .001$)。

行動指標 Go刺激およびNoGo刺激に対する行動データを表3に示した。Go刺激に対するRTを群間比較した結果、Lower PA群よりもHigher PA群のほうがRTは短かつ

Table 1. Group means for participant characteristics.

	Higher PA (n = 14)	Lower PA (n = 14)
Age (years)	70.5 ± 3.8	70.7 ± 4.0
Sex (Men : Women)	7 : 7	5 : 9
Height (cm)	Men (164.5 ± 5.7), Women (151.5 ± 5.2)	Men (164.7 ± 7.2), Women (154.7 ± 4.6)
Weight (kg)	Men (63.7 ± 8.9), Women (46.0 ± 5.3)	Men (58.9 ± 3.9), Women (52.2 ± 7.5)
Years of education (years)	13.0 ± 1.8	13.0 ± 2.3
Sleeping hour (time/day)	6.2 ± 1.0	6.3 ± 0.8
Exercise frequency (day/week)	5.0 ± 1.5	3.0 ± 1.8
Zung self-rating depression	37.1 ± 7.1	36.5 ± 7.9

Values are means ± SD. Significantly different by Student's t-test, ***p < 0.001
PA: physical activity

Table 2. Comparison of physical activity levels between Higher and Lower PA groups

	Higher PA (n = 14)	Lower PA (n = 14)
Step counts (steps/day) ***	12939.0 ± 1999.0	8037.0 ± 1228.0
Ex (Mets · h/week) ***	24.1 ± 5.5	8.7 ± 3.1
Light PA (min/day)	79.7 ± 22.5	69.3 ± 20.4
Moderate PA (min/day) ***	48.6 ± 11.5	18.4 ± 6.5
Vigorous PA (min/day)	1.6 ± 2.1	0.6 ± 0.5

Values are means ± SD. Significantly different by Student's t-test, ***p < 0.001

た ($t(26) = 2.62, p < .01$). Go刺激 ($t(26) = 1.12, n.s.$) とNoGo刺激 ($t(26) = 0.70, n.s.$)におけるエラー率には群間差が見られなかった。

NoGo-P3成分 NoGo刺激におけるERPsの総加算波形を図1に示した。平均加算回数は 54 ± 12 回であった。NoGo-P3潜時と振幅について部位×群の2要因分散分析を実施した結果、NoGo-P3振幅値はLower PA群よりHigher PA群のほうで有意に大きかった ($F(1, 26) = 4.33, p < .05$)。部位の主効果が認められ下位検定を行った結果、PzよりもFz, FCzおよびCzのNoGo-P3振幅が大きかった ($Fz; p < .01, FCz; p < .001, Cz; p < .001$)。また、群×部位の交互作用が有意だったため ($F(3, 24) = 4.20, p < .05, \varepsilon = .70$)、各部位における群間比較を行った結果、CzとPzでHigher PA群のほうがLower PA群よりもNoGo-P3振幅が大きかった (いずれも $p < .01$) (図2)。各群における部位間の比較を行った結果、Higher PA群ではPzよりもFCzおよびCzで大きかった ($p < .001$)。Lower PA群ではPzよりもFz, FCzおよびCzのNoGo-P3振幅が大きかった ($Fz; p < .01, FCz; p < .001, Cz; p < .001$)。

NoGo-P3潜時については、部位の主効果が認められ ($F(3, 24) = 13.93, p < .001, \varepsilon = .99$) 下位検定を行った結果、FCzのほうが他部位よりも短潜時だった (いずれも $p < .01$)。群間の違いは見られなかった ($F(1, 26) = 0.17, n.s.$)。

最大振幅を示したFz, FCz, Cz部位のNoGo-P3振幅と身体活動量の指標 (歩数およびEx) との関係を偏相関分析によって検討した結果、Cz部位のNoGo-P3振幅と歩数 ($r = 0.44, p < .05$) およびEx ($r = 0.53, p < .01$) と

Table 3. Group means for behavioral performance data

	Higher PA (n = 14)	Lower PA (n = 14)
RT (ms) **	483.4 ± 44.4	533.8 ± 56.6
Error rate		
Go trials (%)	6.3 ± 3.7	8.0 ± 4.3
NoGo trials (%)	7.8 ± 4.8	9.1 ± 5.0

Values are means ± SD

Significantly different by Student's t-test, *p < 0.05 **p < 0.01

の間にそれぞれ正の相関関係が認められた。

NoGo-N2成分 NoGo-N2振幅と潜時についてそれぞれ群×部位の2要因分散分析を行った。その結果、NoGo-N2振幅においては、部位の主効果が有意であった ($F(3, 24) = 4.91, p < .01, \varepsilon = .77$)。下位検定の結果、FCzよりPzで大きかった ($p < .05$)。

NoGo-N2潜時においても部位の主効果が認められ ($F(3, 24) = 5.34, p < .01, \varepsilon = .77$)、下位検定を行った結果、PzよりFzで長かった ($p < .01$)。

NoGo-N2振幅 ($F(1, 26) = 1.64, n.s.$) と潜時 ($F(1, 26) = 2.14, n.s.$) いずれも群間の違いは認められなかった。

最大振幅を示したPz部位のNoGo-N2振幅と身体活動量の指標 (歩数およびEx) との間には相関関係が見られなかった。

考 察

本研究は、高齢者における日常の身体活動量と反応抑制制御との関係をNoGo-N2成分とNoGo-P3成分を用いて検討した。その結果、身体活動量が多い高齢者は少ない高齢者に比べNoGo-P3振幅が大きかった。さらに、身体活動量とNoGo-P3振幅との間に正の相関関係が認められた。一方、NoGo-N2振幅に関しては、身体活動量との関係が見られなかった。以上のことから、高齢者における日常身体活動量の違いが反応抑制制御に関係することが示唆された。この関係は、反応プログラミング段階での抑制よりも反応抑制の結果に対するモニタリングに敏感に表れることが示唆された。

NoGo-P3成分は、反応抑制に関連した成分であり²²⁾、反応抑制の出力をモニタしている可能性も指摘されてい

Fig 1. Grand averaged waveforms for physical activity levels on NoGo trials at four midline electrode sites (Fz, FCz, Cz, Pz).

Fig 2. Mean NoGo-P3 amplitude for electrode sites across groups (means $\pm$ SD).

る。その発生源として行動モニタリング機能に関係の深い前帯状皮質 (anterior cingulate cortex : ACC) が推定されている^{23,37)}。行動モニタリング機能を検討したERPs研究では、前頭中心部優位に出現するエラー関連陰性電位 (error-related negativity potential : 以下ERN) が用いられている³⁸⁾。Themanson et al.³⁹⁾は、心肺体力とERNとの関係を検討した結果、正確性を強調した課題条件において、心肺体力が低い者に比べ高い者のほうでERN振幅が大きいことを示した。この結果は、反応に対するエラーを検出し、修正していく行動モニタリング機能が身体運動と関連することを示唆している。また、Beste et al.¹⁵⁾は、NoGo-P3振幅が若年者に比べ健康高齢者で低振幅を示し、加齢によって反応抑制のモニタリング機能が衰えることを横断研究により報告した。これらの先行研究の結果より、本研究において身体活動量が少ない高齢者に比べ多い高齢者でのNoGo-P3高振幅は反応抑制に対するモニタリングにも身体活動が関わっていることを示唆する。また、加齢によって低下する反応抑制モニタリング機能を身体活動の遂行によって遅らせる可能性も考えられた。

Picton et al.⁴⁰⁾は、P3成分の加齢変化を振幅減少、潜時遅延、頭皮上分布の前頭部への移行によって特徴づけている。Hatta et al.⁴¹⁾は、高齢者を対象に運動群と非運動群間のP3成分の変化を検討した結果、運動群ではPz部位でのP3振幅が大きかったが、非運動群ではFzとPzの両部位においてP3振幅が大きな値を示した。この結果から、身体運動は加齢による頭皮上分布の変化を抑える可能性が示唆されている。本研究において、Higher PA群ではNoGo-P3の優勢部位と言われているFCzとCz部位で最大振幅を示した。一方、Lower PA群ではFz部位でも高振幅を示した。この結果は、P3成分と同様にNoGo-P3成分における頭皮上分布の変化が身体活動量の違いに関係する可能性が示唆された。

一般に、NoGo-N2成分は前頭-中心部優勢に分布し、反応実行初期の反応プログラミング段階での抑制を反映すると考えられている^{18,42)}。本研究では、NoGo-N2の頭皮上分布が前頭-中心部に比べて頭頂部よりであった。したがって、本研究におけるNoGo-N2成分の機能的意義に関しては慎重に解釈すべきところである。現象記述的には、NoGo-N2振幅の群間差を示さなかったことから、日常の身体活動量と反応プログラミングの抑制の間には関連のないものと推察される。

NoGo-P3振幅がLower PA群よりHigher PA群で有意に大きかったにも関わらず、NoGo刺激に対するエラー率には群間差が見られなかった。身体活動量とERPsとの関係を調べた先行研究のなかには、RTやエラー率に差がないものの、ERPsの有意な変化を報告した研究がある。たとえば、Hillman et al.¹⁾は身体活動量との関係

をP3には認めたものの, RTには見出していない。また, 反応正解率と身体活動量との関係を認めた研究では, 簡単な課題条件よりも複雑な課題条件でその関係が顕著であると報告している⁴³⁾。これらの先行研究より, 身体活動量との関係は, パフォーマンスよりもERPsに敏感に表れ, パフォーマンスにおける違いを確認するためには, より実行機能を要求する課題設定が必要条件と考えられる。本研究の対象者はすべて健常高齢者であり, 課題難度もエラー率に群間差を生じさせる程度ではなかった可能性が高い。その一方で, NoGo-P3振幅には身体活動量の違いが鋭敏に表れたものと考えられる。

従来, 刺激検出から評価, 反応選択, 反応実行といった脳内情報処理過程を検討するためにRTが用いられてきた⁴⁴⁾。Spirduso⁴⁵⁾は, 高齢者と若年者に対して, それぞれ運動群と非運動群に振り分けてRTを比較した結果, 若年者/運動群は他の3群よりも短い一方で, 若年者/非運動群よりも高齢者/運動群のほうが短い傾向にあることを報告した。この結果は, RTは加齢に伴って遅延するものの, 習慣的運動によってその遅延をある程度遅らせる可能性を示唆しており, 本研究のHigher PA群でみられたGo刺激に対するRT短縮もこの見解を支持するものである。

米国スポーツ医学会(ACSM)によれば⁴⁶⁾, 1週間当たり5日以上, 1日30分以上の中等度強度の身体活動が健康増進や疾病予防のために推奨されている。さらに, 「健康づくりのための運動指針2006」⁴⁷⁾では, 身体活動量の目標値が週23Ex以上の活発な身体活動と定められている。本研究においても1日当たりの歩数が1万歩以上のHigher PA群は, 中等度強度の身体活動時間が1日当たり48.6±3.1分であった。さらに, 1週間当たりのEx (METs・h/week) についてもLower PA群 (8.7±0.8 Ex) よりHigher PA群 (24.1±1.5 Ex) で有意に多く, Higher PA群の身体活動量はACSMおよび「健康づくりのための運動指針2006」の基準と対応を示した。

最後に本研究の方法論上の限界を指摘しておく。本研究では横断的デザインを採用したことから, 身体活動と反応抑制機能との因果関係を明らかにすることはできない。また, 1日当たりの平均歩数(1万歩基準)によって参加者をHigher PA群とLower PA群に分けたため, 両群ともに中等度レベルの身体活動を行う者を含んでいた可能性がある。したがって今後は, 多人数の高齢者を対象としたうえで, 縦断的研究による検討が必要である。

結 語

本研究では, Go/NoGo課題を用いてNoGo-N2, NoGo-P3成分および行動指標が高齢者の日常身体活動量の違いによってどのように異なるのかを検討した。その結果, Lower PA群よりHigher PA群のほうでNoGo-P3が

大きかった。さらに, 身体活動量とNoGo-P3振幅との間に正の相関関係が認められた。一方, NoGo-N2振幅に関しては, 身体活動量との関係が見られなかった。以上のことから, 高齢者における日常身体活動量の違いが反応抑制制御に関係することが示唆された。この関係は, 反応プログラミング段階での抑制よりも反応抑制の結果に対するモニタリングに敏感に表れる可能性が示唆された。

謝 辞

本研究の実施にあたり, ご協力いただきました関係者および参加者の皆様に御礼申し上げます。

引 用 文 献

- 1) Hillman CH, Belopolsky AV, Snook EM, Kramer AF, McAuley E. Physical activity and executive control: Implication for increased cognitive health during older adulthood. *RQES*, 75: 176-185, 2004.
- 2) Wecker NS, Kramer J, Wisniewski A, Delis DC, Kaplan E. Age effects on executive ability. *Neuropsychology*, 14: 409-414, 2000.
- 3) Milham MP, Erickson KI, Banich MT, Kramer AF, Webb A, Wszalek T, Cohen NJ. Attentional control in the aging brain: Insights from an fMRI study of the stroop task. *Brain Cogn*, 49: 277-296, 2001.
- 4) Park DC, Lautenschlager G, Hedden T, Davidson N, Amth AD, Smith PK. Models of visuospatial and verbal memory across the life span. *Psychol Aging*, 17: 299-320, 2002.
- 5) Hillman CH, Erickson KI, Kramer AF. Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition. *Nat Rev Neurosci*, 9: 58-65, 2008.
- 6) Yaffe K, Barnes D, Nevitt M, Lui LY, Covinsky K. A prospective study of physical activity and cognitive decline in elderly women. *Arch Intern Med*, 161: 1703-1708, 2001.
- 7) Barnes DE, Yaffe K, Satariano WA, Tager IB. A longitudinal study of cardiorespiratory fitness and cognitive function in healthy older adults. *J Am Geriatr Soc*, 51: 459-465, 2003.
- 8) 入野野宏. 心理学のための事象関連電位ガイドブック, 京都: 北大路書房, 1-30, 2005.
- 9) Polich J. Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clin Neurophysiol*, 118: 2128-2148, 2007.
- 10) McDowell K, Kerick SE, Santa maria DL, Hatfield BD. Aging, physical activity, and cognitive processing: an examination of P300. *Neurobiol Aging*, 24: 597-606, 2003.
- 11) Pontifex MB, Hillman CH, Polich J. Age, physical fitness, and attention: P3a and P3b. *Psychophysiology*, 46: 379-387, 2009.
- 12) Colcombe S, Kramer AF. Fitness effects on the cognitive function of older adults: A Meta-Analytic Study. *Psychol Sci*, 14: 125-130, 2003.
- 13) Funahashi S. Neuronal mechanisms of executive con-

- trol by the prefrontal cortex. *Neurosci Res*, 39: 147–165, 2001.
- 14) Johnstone SJ, Barry R, Markovska V, Dimoska A, Clarke AR. Response inhibition and interference control in children with AD/HD: A visual ERP investigation. *Int J Psychophysiol*, 72: 143–153, 2009.
- 15) Beste C, Willemsen R, Saft C, Falkenstein M. Response inhibition subprocesses and dopaminergic pathways: Basal ganglia disease effects. *Neuropsychologia*, 48: 366–373, 2010.
- 16) Buckner RL. Memory and executive function in aging and AD: Multiple factors that cause decline and reserve factors that compensate. *Neuron*, 44: 195–208, 2004.
- 17) Czigler I, Csibra G, Ambro A. Aging, stimulus identification and the effect of probability: an event-related potential study. *Biol Psychol*, 43: 27–40, 1996.
- 18) Falkenstein M, Hoormann J, Hohnsbein J. ERP components in Go/Nogo tasks and their relation to inhibition. *Acta Psychol*, 101: 267–291, 1999.
- 19) Ruchow M, Groen G, Kiefer M, Hermle L, Spitzer M, Falkenstein M. Impulsiveness and ERP components in a Go/Nogo task. *J Neural Transm*, 115: 909–915, 2008.
- 20) Sutton S, Tueting P, Zubin J, John ER. Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150: 1187–1188, 1965.
- 21) Lehmann D, Ozaki H, Pal I. EEG alpha map series: brain micro-states by space-oriented adaptive segmentation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 67: 271–288, 1987.
- 22) Fallgatter AJ, Mueller ThJ, Strik WK. Age-related changes in the brain electrical correlates of response control. *Clin Neurophysiol*, 110: 833–838, 1999.
- 23) Smith JL, Johnstone SJ, Barry R. Movement-related potentials in the Go/NoGo task: The P3 reflects both cognitive and motor inhibition. *Clin Neurophysiol*, 119: 704–714, 2008.
- 24) Schmajuk M, Liotti M, Busse L, Woldorff MG. Electrophysiological activity underlying inhibitory control processes in normal adults. *Neuropsychologia*, 44: 384–395, 2006.
- 25) Kramer AF, Humphrey DG, Larish JF, Logan GD, Strayer DL. Aging and inhibition: Beyond a unitary view of inhibitory processing in attention. *Psychol Aging*, 9: 491–512, 1994.
- 26) Hillman CH, Kramer AF, Beloposky AV, Smith DP. A cross-sectional examination of age and physical activity on performance and event-related brain potentials in a task switching paradigm. *Int J Psychophysiol*, 59: 30–39, 2006.
- 27) Themanson JR, Hillman CH. Cardiorespiratory fitness and acute aerobic exercise effects on neuroelectric and behavioral measures of action monitoring. *Neuroscience*, 141: 757–767, 2006.
- 28) Dvorak RV, Tchernof A, Starling RD, Ades PA, DiPietro L, Poehlman ET. Respiratory fitness, free living physical activity, and cardiovascular disease risk in older individuals: a doubly labeled water study. *J Clin Endocrinol Metab*, 85: 957–963, 2000.
- 29) Paffenbarger RSJr, Blair SN, Lee IM, Hyde RT. Measurement of physical activity to assess health effects in free-living population. *Med Sci Sport Exerc*, 25: 60–70, 1993.
- 30) Marcuello A, Martinez-Redondo D, Dahmani Y, Casajus JA, Ruiz-Pesini E, Montoya J, Lopez-Perez MJ, Diez-Sanchez C. Human mitochondrial variants influence on oxygen consumption. *Mitochondrion*, 9: 27–30, 2009.
- 31) Wong SY, Chan FW, Lee CK, Li M, Yeung F, LumCC, Choy DT, Woo J. Maximum oxygen uptake and body composition of healthy Hong Kong Chinese adult men and women aged 20–64 years. *J Sports Sci*, 26: 295–302, 2008.
- 32) Crocco EA, Castro K, Loewenstein DA. How late-life depression affects cognition: Neural mechanisms. *Curr Psychiatry Rep*, 12: 34–38, 2010.
- 33) Zung WWK. A self-rating depression scale. *Arch Gen Psychiatry*, 12: 63–70, 1965.
- 34) 福田一彦, 小林重雄. 自己評価式抑うつ性尺度の研究. *精神神経学雑誌*, 75: 673–679, 1973.
- 35) Park S, Park H, Togo F. Year-long physical activity and metabolic syndrome in older Japanese adults: Cross-sectional data from the Nakanojo study. *J Gerontol A Biol Sci*, 63: 2008.
- 36) Gratton G, Coles MGH, Donchin E. A new method for off-line removal of ocular artifact. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 55: 468–484, 1983.
- 37) Beste C, Saft C, Andrich J, Gold R, Falkenstein M. Response inhibition in Huntington's disease – A study using ERPs and sLORETA. *Neuropsychologia*, 46: 1290–1297, 2008.
- 38) Holroyd CB, Coles MG. The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychol Rev*, 109: 679–709, 2002.
- 39) Themanson JR, Pontifex MB, Hillman CH. Fitness and action monitoring: Evidence for improved cognitive flexibility in young adults. *Neuroscience*, 157: 319–328, 2008.
- 40) Picton TW, Stuss DT, Champagne SC, Nelson RF. The effects of age on human event-related potentials. *Psychophysiology*, 21: 312–325, 1984.
- 41) Hatta A, Nishihira Y, Kim SR, Kaneda T, Kida T, Kamijo K, Sasahara M, Haga S. Effects of habitual moderate exercise on response processing and cognitive processing in older adults. *Jpn J Physiol*, 55: 29–36, 2005.
- 42) Heil M, Osman A, Wiegmann J, Rolke B, Hennighausen E. N200 in the Eriksen-task: inhibitory executive processes. *J Psychophysiol*, 14: 218–225, 2000.
- 43) Hillman CH, Motl RW, Pontifex MB, Posthuma D, Stubbe JH, Boomsma DI, de Geus EJ. Physical activity and cognitive function in a cross-section of younger and older community-dwelling individuals. *Health*

- Psychol*, 25: 678-687, 2006.
- 44) Doucet C, Stelmack RM. The effect of response execution on P3 latency, reaction time, and movement time. *Psychophysiology*, 36: 351-363, 1999.
- 45) Spirduso WW. Reaction and movement time as a function of age and physical activity level. *J Gerontol*, 30: 435-440, 1975.
- 46) American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for exercise testing and Prescription, 8th Edition, Williams Wilkins, Philadelphia, 2009.
- 47) 厚生労働省運動所要量・運動指針の策定検討会. 健康づくりのための運動指針2006～生活習慣病予防のために～エクササイズガイド2006. (2006).