

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 25 日現在

機関番号：30121

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870656

研究課題名(和文) 注意分散が高齢者の一側上肢外転運動時の感覚運動処理と予測的姿勢制御に及ぼす影響

研究課題名(英文) Effects of attentional dispersion on sensory-motor processing of anticipatory postural control during unilateral arm abduction in the elderly

研究代表者

矢口 智恵 (YAGUCHI, Chie)

北海道文教大学・人間科学部・助教

研究者番号：00612300

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：高齢者の注意分散能が脳内の一連の神経処理過程および一側上肢運動時の予測的姿勢制御に及ぼす影響について総合的に検討した。高齢者は、標的刺激に対する反応を重視しており、注意分散時であっても感覚処理には多くの注意を向けていた。このことが関連して、注意分散時には、高齢者では感覚処理以降の高次処理である弁別処理や運動準備に十分な注意を向けることができず、上肢運動時の姿勢筋の活動開始タイミングが遅くなったものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We systematically investigated the effects of attentional dispersion during unilateral arm abduction on sensory-motor processing of anticipatory postural control in the elderly. To perform this task, the elderly persons would concentrate on the early response to the target, and pay a lot of attention to sensory processing of the imperative stimulus even in attentional dispersion condition. Therefore, the attentional allocation on the following higher processing, such as the discrimination or motor preparation would be insufficient by attentional dispersion. These changes of the sensory-motor processing by attentional dispersion may relate to the delay of onset time of postural muscles.

研究分野：姿勢制御、神経生理学

キーワード：注意分散 上肢外転運動 予測的姿勢制御 感覚運動処理 高齢者 事象関連脳電位 筋電図 足圧中心位置

### 1. 研究開始当初の背景

高齢者では、平衡機能の低下が転倒の主要因であると考えられている。加齢に伴う平衡機能の低下は、感覚や運動機能の低下によるものだけでなく、注意の分散能力の低下などの内的要因も関連することが示唆されている (Woollacott and Shumway-Cook, 2002; Maki and McIlroy, 2007)。これまで、高齢者の注意分散能が姿勢制御に及ぼす影響は、主に認知および姿勢制御課題を同時に行う二重課題を用いて検討されてきた。しかし、この二重課題では、そのひとつもしくは両方の課題のパフォーマンスの低下によって注意分散の影響を評価しており、単に運動出力までの処理の総合的な結果を反映しているのみである。一般的に感覚刺激に対して反応課題を実施する場合の神経処理には、刺激の感覚・知覚・認知処理、および反応の準備・選択・実行処理があると考えられている。両処理は並行に行われ、組織制御系によって統合されると考えられている (Goodin and Aminoff, 1998)。さらに、注意の配分は、処理の重要性に応じて変化することが報告されている (Lavie, 1995)。したがって、高齢者の注意分散能の低下が、反応の実行が行われるまでの一連の神経処理のどこに影響し、それが姿勢制御能の低下とどのように関連するかを検討することが重要である。しかし、各神経処理に配分される注意量を定量的に評価し、注意分散能との関係を検討した研究はない。

日常生活では、立位で様々な上肢運動が行われる。立位で上肢を随意的に急速に運動する場合には、上肢運動によって生じる立位姿勢の平衡の乱れを和らげるために、下肢および体幹の姿勢筋が上肢運動の局所筋に先行して活動を開始することが報告されている (Belen'kii et al., 1967; El'ner, 1973; Fridli et al., 1984; Horak et al., 1984)。我々は、若年成人を対象とし、注意の配分量を操作する課題である視空間的手がかり課題 (Posner et al., 1980) と各神経処理に配分される注意量を表す複数の事象関連脳電位を用いて、一側上肢外転運動時の神経処理と予測的姿勢制御に及ぼす視空間的注意の分散の影響を総合的に検討してきた (Yaguchi and Fujiwara, 2012)。神経処理の評価には、事象関連脳電位の P1 および N1 成分を線条体外視覚皮質の視覚の感覚処理活動 (Hopfinger et al., 2001; Di Russo et al., 2003) N2 成分を課題に関連のある視覚特徴の弁別処理 (Simson et al., 1977; O'Donnell et al., 1997) P3 成分を認知文脈の更新処理 (Donchin and Colus, 1988; Fujiwara et al., 2012) のような感覚処理後の認知処理、随伴陰性変動 (CNV) を運動準備 (Rohrbaugh et al., 1976) あるいは上肢運動を課す命令刺激に向ける予測的注意 (Brunia and van Boxtel, 2001) の指標として用いた。その研究の結果から、若年者では、1 か所に注意を集中する場合よりも 2 か所あるいは 3 か所へ分散する場合に刺激の感覚処理および弁別処理に関連する

脳領域の活性化が低下し、特に後者にその影響が強いこと、および注意分散が 3 か所に増大すると、運動準備あるいは命令刺激に向ける予測的注意の開始が遅れ、そのことが弁別処理の遅れと連関するとともに姿勢筋の活動開始の遅延をもたらすことが示唆された。

我々は、この研究の方法を高齢者に応用することで、高齢者の一側上肢運動時の注意分散能が視覚の感覚・知覚・認知、および運動準備処理に及ぼす影響を総合的に評価でき、注意分散によるこれらの神経処理の変化と予測的な姿勢筋の活動の関係が検討できると考えた。

### 2. 研究の目的

高齢者の注意分散能が脳内の一連の神経処理過程に及ぼす影響、およびその神経処理の変化と予測的姿勢制御との関係を総合的に検討する。その際、刺激の感覚処理、弁別処理、認知処理および運動準備状態を、それぞれ事象関連脳電位 P1-N1、N2、P3 成分および CNV を用いて直接的に評価する。

### 3. 研究の方法

右利きの健康高齢者 13 名を対象とした。はじめに画面中央の固視点に隣接する位置に、手がかり信号が 100 ms 間出現し、その 1 秒後に命令刺激が出現した (図 1)。さらにその 2 秒後に次の手がかり信号が出現した。命令刺激は、1 辺が視角 6° の格子模様とし、命令刺激内の長方形が縦長の刺激を標的刺激 (出現確率 30%)、横長の刺激を非標的刺激 (70%) とした。命令刺激の出現位置は、画面の左、右あるいは中央の 3 か所のいずれかとした。命令刺激の出現時間および左右の出現位置については、実験前にスクリーニングを行い、命令刺激の弁別を可能とするため、被験者ごとに注意集中時の誤反応率が約 5% となるように設定した (出現時間: 150 ~ 250 ms、出現位置: 固視点から視角の 6 ~ 9° 外側)。手がかり信号は 4 種類とし、左、右、中央のいずれか一側を示すか (一方向手がかり)、それら全てを同時に示した (分散手がかり)。命令刺激は、直前の手がかり信号が示した位置に出現し、手がかり信号が分散手がかりであった場合には、3 か所のうち 1 か所に、等確率でランダムに出現した。したがって、被験者は一方向手がかりに対しては、それが示す位置に潜在的に注意を集中し (注意集中)、分散手がかりに対しては、3 か所に注意を分散した (注意分散)。各手がかり信号と命令刺激の出現順序と、命令刺激の出現位置はランダムとした。

被験者は、床反力計上で、足の内側面を平行に 27 cm 離れた足位にて立位姿勢を保持し、画面中央の固視点を注視した。手がかり信号に従って注意を集中しないしは分散させた。被験者は標的刺激に反応し、右の上肢を最大速度で外転し、水平位置で随意的に止めて 1 秒間保持した後に、初期位置に戻した (図 2)。

このとき被験者には刺激に対して可能な限り早くかつ正確に応答するよう指示した。100 秒間（33 回の命令刺激（標的あるいは非標的）の出現）を 1 セットとした。標的刺激および非標的刺激に対する脳波の加算をオンラインで行い、注意集中時と分散時のいずれにおいても、右視野に出現する命令刺激に対する脳波の加算回数が規定回数に達するまで測定を行った（標的と非標的刺激に対する脳波の加算回数が 60 回以上、かつ標的刺激に対する脳波の加算回数が 20 回以上）。

事象関連脳電位（P1-N1、N2、P3、CNV）を測定するために、記録電極を国際 10-20 法に基づく Fz、Cz、Pz、Oz、OL（O1 と T5 の中間）、OR（O2 と T6 の中間）に配置した。連結された両耳を基準電極、Fpz をアース電極とした。瞬目や眼球運動によるアーチファクトの影響を除くため、垂直および水平方向の眼球運動を、眼電図法により記録した。記録時間は、手がかり信号出現の 100 ms 前から命令刺激出現の 800 ms 後までとした。P1 および N1 は右視野に出現する標的および非標的刺激を、N2 および P3 は右視野に出現する標的刺激をトリガとし、刺激提示前 100 ms 間の平均電位を基線としてそれぞれ 60 回および 20 回加算平均した（図 3）。CNV は右の命令刺激に先行する手がかり信号をトリガとし、その提示前 100 ms 間の平均電位を基線として、オフラインで 12 回加算平均した（図 4）。P1-N1 振幅、P1 および N1 の潜時、N2 および P3 の振幅および潜時、および命令刺激出現の 500 ms 前から出現時点までの区間における 100 ms ごとの後期 CNV の平均電位を、注意状態別に算出した。なお、P1-N1、N2 および P3 成分の分析は、記録が可能であった被験者のみを対象とした（それぞれ 8 名）。

筋電図を記録するために、右の三角筋中部線維および左の姿勢筋（脊柱起立筋、中殿筋）に表面電極を設置した。命令刺激に対する誤反応率（標的刺激に対する誤反応率、非標的刺激に対する誤反応率および全体での誤反応率）、標的刺激に対する三角筋の反応時間および三角筋に対する姿勢筋の活動開始時間を分析した。さらに床反力計からのデータを用いて、上肢運動に伴う足圧中心位置の変位を分析した。

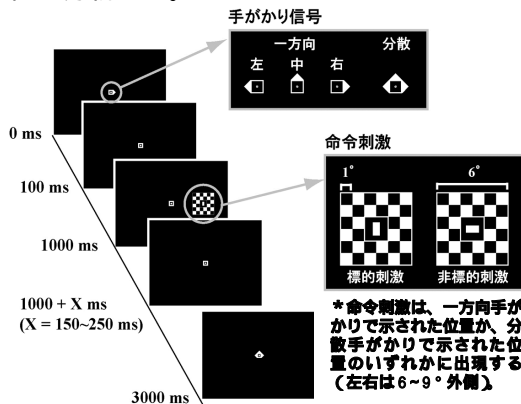


図 1 本研究で用いた視覚刺激



図 2 測定風景

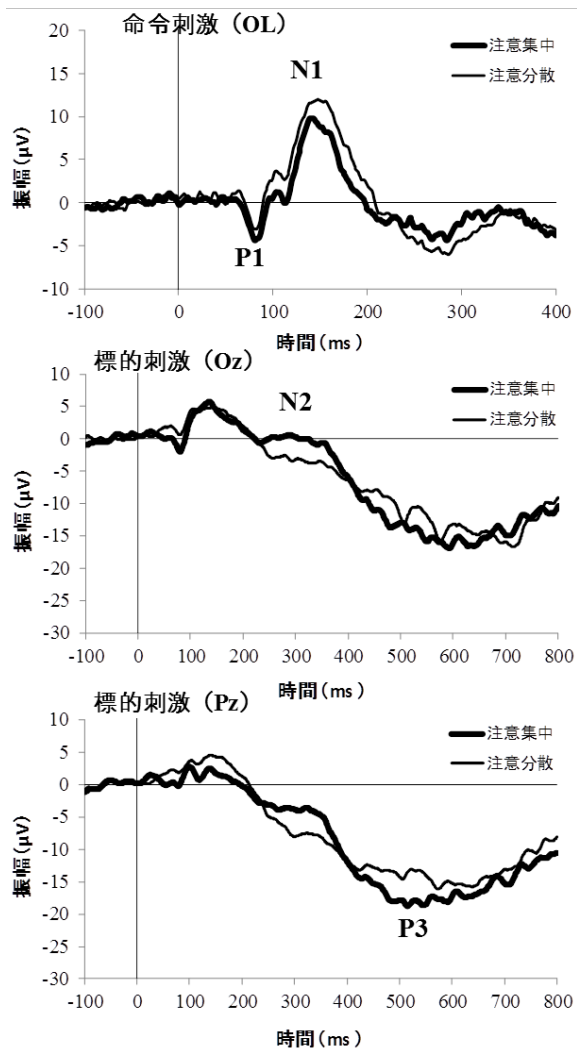


図 3 P1-N1、N2 および P3 成分のグランドアベレージ波形

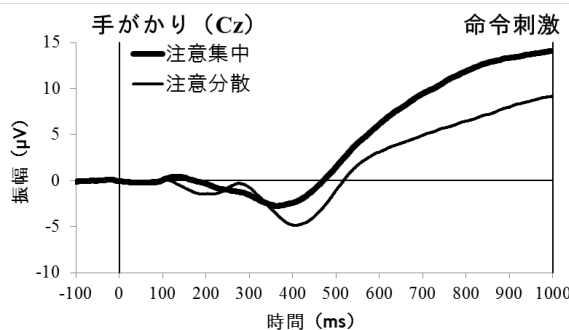


図4 CNVのグランドアベレージ波形

#### 4. 研究成果

P1、N1 および P3 成分の振幅と潜時、および N2 潜時には、注意分散の影響が認められなかった(図3、表1)。N2 振幅および命令刺激出現の400 ms前から直前までの区間の後期 CNV 平均電位は、注意集中時よりも注意分散時に有意に小さくなった( $p < 0.05$ ) (図3、4、5、表1)。三角筋の反応時間は、注意分散時に有意に延長した(注意集中:  $393.7 \pm 65.8$  ms、注意分散:  $435.5 \pm 75.2$  ms)。姿勢筋の活動開始時間は、注意分散時に有意に遅くなり( $p < 0.05$ )、特に中殿筋の活動開始は、注意分散時には三角筋に対して有意に先行しなくなった(図6)。標的刺激に対する誤反応率(注意集中:  $1.6 \pm 2.6\%$ 、注意分散:  $4.7 \pm 7.7\%$ )には注意分散の影響が認められなかったが、非標的刺激に対する誤反応率(注意集中:  $7.2 \pm 7.7\%$ 、注意分散:  $19.0 \pm 21.3\%$ )および全体での誤反応率(注意集中:  $5.7 \pm 5.6\%$ 、注意分散:  $15.0 \pm 15.0\%$ )は、注意分散により有意に大きくなった( $p < 0.05$ )。また、注意状態にかかわらず、標的刺激よりも非標的刺激に対する誤反応率の方が、有意に大きかった( $p < 0.05$ )。足圧中心位置の変位には、注意分散の影響が認められなかった(注意集中:  $0.56 \pm 0.5$  mm、注意分散:  $0.56 \pm 0.56$  mm)。

本研究では、注意集中時の全体での誤反応率が、若年者の設定(Yaguchi and Fujiwara, 2012)と同じ約5%となるように、被験者ごとに命令刺激出現の位置と時間を調節した。本課題遂行時のパフォーマンスの結果に関して、注意分散により三角筋の反応時間は延長し、誤反応率は増大したが、足圧中心位置の変位には変化がなかった。若年者を対象に同様な課題を行った場合には、注意分散により三角筋の反応時間は延長したが、誤反応率や足圧中心位置の変位には変化がなかった(Yaguchi and Fujiwara, 2012)。三角筋の反応時間は、注意集中と分散のいずれでも高齢者の方が長かった(若年者 注意集中:  $348.8 \pm 41.2$  ms、注意分散:  $383.86 \pm 44.3$  ms)。課題を遂行するには、命令刺激を弁別し、適切な応答を選択し、標的刺激に対しては上肢運動を行う必要がある。本研究では、足幅を27 cmに設定していたこともあり、上肢運動による平衡の乱れは、相対的に小さかったと考えられる。したがって、高齢者には、命令刺激を

弁別して応答をすることが困難であったと考えられる。本研究では、標的刺激よりも非標的刺激に対する誤反応率の方が高く、かつ注意分散の影響は、非標的刺激に対する誤反応率にのみ認められた。したがって、高齢者は、標的刺激に対して早急に反応することを重視した制御を行っていたと考えられる。

このような課題遂行時の神経処理の指標である事象関連脳電位について、P1-N1 および P3 成分には注意分散の影響が認められなかったが、N2 振幅と後期 CNV 電位は注意分散により有意に小さくなった。これらの結果から、高齢者は、注意分散時にも命令刺激の出現を知るために、感覚処理には多くの注意を向けていたことが推察される。しかし、注意には、一度に向けることのできる資源量に限界があり、注意分散時には、注意集中時と比べて向けられる注意資源量が減少する(Kahneman, 1973)。したがって、感覚処理に多くの注意を向けたことで、相対的にそれ以降の高次処理である命令刺激の弁別処理や、運動準備には十分な注意を向けることができなかったと考えられる。この事象関連脳電位の結果を若年者と比較すると、若年者では注意分散により P1-N1 振幅が減少する点、および後期 CNV 電位は立ち上がり開始が遅れるものの、命令刺激出現の直前では注意集中時と同等である点が異なっていた。したがって、高齢者では、標的刺激に対して早急に反応する制御を重視した結果、注意分散時にも過度に感覚処理に注意を向けることとなり、相対的に命令刺激出現前の運動準備が不十分となる特徴があることが明らかとなった。

姿勢筋の活動開始時間に関しては、脊柱起立筋と中殿筋のいずれも、注意分散時に有意に活動開始が遅くなり、特に中殿筋の開始は、三角筋に対して先行しなくなった。若年者では、注意分散時に活動開始時間が遅れるのは中殿筋のみであり、その筋も三角筋に対しては先行していた(Yaguchi and Fujiwara, 2012)。これらのことから、若年者に比べて高齢者では、注意分散による姿勢制御の準備の遅れが、顕著であったことが示唆された。姿勢筋の活動開始は、後期 CNV 電位と相関することが知られている(Fujiwara et al., 2009; Yaguchi and Fujiwara, 2012)。したがって、上述したような注意特性により命令刺激出現前の運動準備が不十分となったことが、姿勢筋の活動開始の遅れと関連したと推察される。

結論として、高齢者は標的刺激に対する反応を重視しており、注意分散時であっても感覚処理には多くの注意を向けていた。それにより、感覚処理以降の高次処理である弁別処理や運動準備には十分な注意を向けることができなかった。このような注意特性によって、上肢運動時の姿勢筋の活動開始タイミングが遅くなることが明らかとなった。本知見より、高齢者の注意分散トレーニングを考案する際には、課題遂行時に注意の配分が偏ることを考慮する必要性が示唆された。

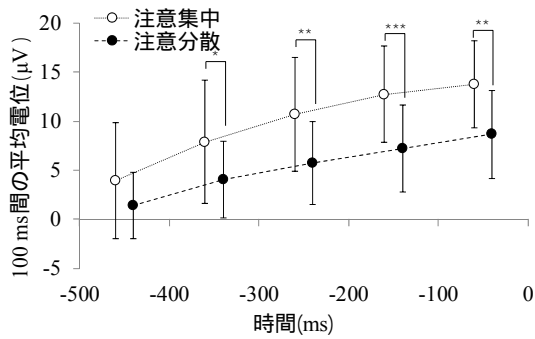


図5 CNV 平均電位の結果

\* $p < 0.05$ 、\*\* :  $p < 0.01$ 、\*\*\* :  $p < 0.001$

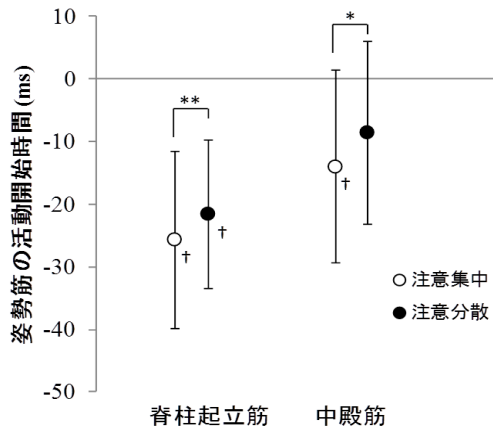


図6 姿勢筋の活動開始時間

\* $p < 0.05$ 、\*\* :  $p < 0.01$ 、† : 三角筋の活動開始時点との有意差を示す ( $p < 0.05$ )

表1 事象関連脳電位の結果

	注意集中	注意分散	有意差
P1潜時 (ms)	83.3 ± 4.8	82.4 ± 3.9	N.S.
N1潜時 (ms)	145 ± 9.9	146.1 ± 9.6	N.S.
P1-N1振幅 (μV)	17.3 ± 9.1	16.9 ± 9.2	N.S.
N2潜時 (ms)	324.1 ± 37.2	330.1 ± 37.5	N.S.
N2振幅 (μV)	2.9 ± 4.5	-1.8 ± 4.2	$p < 0.01$
P3潜時 (ms)	488.9 ± 73.3	483.1 ± 83.5	N.S.
P3振幅 (μV)	21.1 ± 6.4	19.3 ± 7.2	N.S.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 2 件)

Yaguchi C., Fujiwara K.: Effects of attentional dispersion on sensory-motor processing of anticipatory postural control during unilateral arm abduction in the elderly. Society for Neuroscience 44th Annual Meeting, 2014.11, Washington D.C., USA

矢口智恵、藤原勝夫：注意分散が高齢者の一側上肢外転運動時の感覚運動処理と予測的姿勢制御に及ぼす影響．日本健康行動科学会第13回学術大会，2014年8月，埼玉県さいたま市

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

矢口 智恵 (YAGUCHI, Chie)

北海道文教大学・人間科学部・助教

研究者番号：00612300