注意分散が体性感覚の初期反応に及ぼす影響

——体性感覚誘発電位による検討——

*Effect of Divided Attention on the First Response of the Somatosensory System:
A Study of Somatosensory Evoked Potentials*

池田 拓郎¹⁾ 岡 真一郎¹⁾ 中原 雅美¹⁾ 松田 憲亮¹⁾ 秋吉 賢和²⁾
小野 陽平³⁾ 川原 亜実⁴⁾ 高橋 侑希⁵⁾

TAKURO IKEDA, RPT, PhD¹⁾, SHINICHIRO OKA, RPT, Ms¹⁾, MASAMI NAKAHARA, RPT, Ms¹⁾,
KENSUKE MATSUDA, RPT, Ms¹⁾, MASATAKA AKIYOSHI, RPT²⁾, YOHEI ONO, RPT³⁾, AMI KAWAHARA, RPT⁴⁾,
YUKI TAKAHASHI, RPT⁵⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences at Fukuoka, International University of Health and Welfare:
137-1 Enokizu, Okawa-shi, Fukuoka 831-8501, Japan. TEL +81 944-89-2000 E-mail: ikedat@iuhw.ac.jp

²⁾ Department of Rehabilitation, Yokohamashintoshi Neurosurgical Hospital

³⁾ Department of Rehabilitation, Almeida Memorial Hospital

⁴⁾ Department of Rehabilitation, Babakinen Hospital

⁵⁾ Department of Rehabilitation, Hofu Rehabilitation Hospital

Rigakuryoho Kagaku 31(5): 697-700, 2016. Submitted Apr. 1, 2016. Accepted May 14, 2016.

ABSTRACT: [Purpose] The aim of this study was to investigate the effect of divided attention on the first response of the somatosensory system using somatosensory evoked potentials (SEP). [Subjects and Methods] Twelve right-handed healthy subjects participated in this study. To evoke somatosensory responses, we used median nerve stimuli of the left or right side. The participants performed the mental arithmetic task of serial subtraction for the experimental condition, and did nothing for the control condition. The amplitudes and latencies of SEP components (N 20, P 25, N 33 and P 45) were measured. [Results] The latency of N 33 on left median nerve stimulation was significantly delayed by the mental arithmetic task, but not by right median nerve stimulation. [Conclusion] These findings suggest that a change in latency due to performance of mental arithmetic tasks inhibits activation of the right primary somatosensory area.

Key words: divided attention, somatosensory evoked potentials, mental arithmetic task

要旨:〔目的〕経皮電気刺激中に暗算を遂行した時の体性感覚の初期反応に及ぼす影響を検討することとした。〔対象と方法〕対象は健常若年成人12名とした。全員右利きであった。左もしくは右の正中神経に対する経皮電気刺激中に連続7減算の暗算を遂行した時としない時での体性感覚誘発電位(somatosensory evoked potentials: SEP)を誘発電位検査装置によって記録した。SEPは、初期成分(N 20, P 25, N 33 および P 45)の潜時と振幅を計測した。〔結果〕左正中神経刺激での右体性感覚野上のN 33の潜時が暗算によって遅延を示した。〔結語〕右半球での暗算と体性感覚の情報処理が同時に行われた結果、右一次体性感覚野が干渉による抑制を受けたのではないのかと推察される。
キーワード: 注意分散, 体性感覚情報処理, 暗算

¹⁾ 国際医療福祉大学 福岡保健医療学部 理学療法学科: 福岡県大川市榎津137-1 (〒831-8501) TEL 0944-89-2000

²⁾ 横浜新都市脳神経外科病院 リハビリテーションセンター

³⁾ アルメイダ病院 リハビリテーション科

⁴⁾ 馬場記念病院 リハビリテーション部

⁵⁾ 防府リハビリテーション病院 リハビリテーション科

I. はじめに

体性感覚情報は、入力情報の種類に応じて後索-内側毛様帯系と脊髄視床路系に分かれて処理され、大脳皮質体性感覚野領へ求心性に投射される¹⁾。後索-内側毛様帯系においては、感覚情報が入力後 20 ms 前後にブロードマンエリア (Brodmann area; BA) 3 b 野へ投射され、BA 1 野、BA 2 野へと階層的に処理される^{2,3)}。

体性感覚への注意は、体性感覚情報処理に影響していると考えられている^{4,6)}。空間分解能に特性をもつ機能的磁気共鳴機能画像装置 (functional magnetic resonance imaging; fMRI) を用いた研究によると、体性感覚刺激中の空間や刺激強度の弁別が一次体性感覚野や二次体性感覚野における血流の増加を引き起こし、選択的注意が大脳皮質体性感覚野領の活動を増強させることがわかっている^{4,5)}。また、時間分解能に特性をもつ脳波 (electroencephalogram; EEG) を用いた研究では、刺激後 50 ms から 140 ms に誘発される体性感覚誘発電位 (somatosensory evoked potentials; SEP) の中期ならびに後期成分 P 50、P 100 および N 140 は選択的注意課題によって影響を受けるとされている^{4,6)}。一方で、刺激後 20 ms から 25 ms 前後に誘発される SEP の初期成分 N 20 と P 25 は注意による影響を受けないことが広く知られている^{7,8)}。しかし、刺激後 30 ms から 40 ms に初期の認知過程の存在を示す報告⁹⁾はあるが、30 ms 以降の体性感覚の初期段階が注意の影響を受けるのかどうかまでは明らかになっていない。

また、時間および空間分解能に特性をもつ脳磁図 (magnetoencephalography; MEG) を用いた視覚の研究によると、左半側視野へのパターン反転刺激中の暗算が右半球の視覚の初期反応を抑制させたと報告している¹⁰⁾。この要因として、視覚刺激中の暗算負荷が注意の分散を引き起こしたために視覚情報処理を抑制したものと推察されている¹⁰⁾。視覚情報処理は、視覚情報が入力されると網膜、外側膝状体から一次視覚野へと投射され、高次視覚野までの情報処理が並列的であるとされている^{11,12)}。つまり、視覚情報処理と体性感覚情報処理は脳内で異なる過程で処理されていることになる。そのため、視覚を対象とする先行研究¹⁰⁾のように体性感覚情報処理が暗算による内因性思考課題によって初期段階での抑制を引き起こすのかどうかは明らかとなっていない。

本研究の意義として、暗算による体性感覚の初期反応に及ぼす影響を電磁気生理学的観点から時系列に可視化できれば、内因性思考課題における体性感覚的注意の初期段階に対して定量的評価を構築でき、新たなリハビリテーションのプログラム開発の一助となる可能性がある。

本研究では経皮的電気刺激を行いながら、体性感覚に

注意を向けると同時に暗算を負荷した時の体性感覚野の初期反応に及ぼす影響を検討した。

II. 対象と方法

1. 対象

対象を、健康若年成人 12 名 (男性 6 名、女性 6 名、平均年齢 21.9 ± 0.3 歳、平均身長 164.0 ± 7.7 cm、全員右利き) とした。被検者は、神経学的に実験課題に支障を来すような運動障害、感覚障害や認知機能等に異常のない者とした。被検者の利き手は、エディンバラ利き手テストによって判定した。被検者には事前に研究内容について説明し、書面にて同意を得た上で実施した。なお、本研究は国際医療福祉大学の倫理審査委員会の承認を得た後に行った (15-Ith-10)。

2. 方法

計測環境は静かな暗室とし、被検者の肢位はベッド上での安静臥位とした。課題条件は、左もしくは右の正中神経に対して経皮電気刺激を行いながら、刺激に対する感覚に注意を向けると同時に暗算を行うこととした。経皮電気刺激の強度は感覚運動閾値の 10% 強、頻度は 2 Hz とした。刺激部位は、左もしくは右の手関節近位部とした。正中神経刺激による SEP の計測順番は、被検者毎にランダムとした。暗算は、100-7 の連続 7 減算を閉眼にて行うものとした。被検者には、課題中に指や口を動かして計算しないように指示した。なお、被検者には計測終了段階に暗算を行ったのかを口頭によって確認した。刺激装置および記録計は、筋電図・誘発電位検査装置 (Neuropack MEB-2200、日本光電社製) とし、これにより経皮電気刺激の応答反応である SEP を記録した。サンプリング周波数は 1,000 Hz とし、バンドパスフィルタ処理 (通過地域 5-2,000 Hz) された SEP 波形に対して、200 回の記録を加算平均処理した。電極は、直径 10 mm のゴム枠銀-塩化銀皿電極を使用した。電極接地は、国際 10-20 法を指標に刺激側と対側の左上肢体性感覚野上 (C3': Cz より 2 cm 後方の点から左耳朶に向かって 7 cm の点) と右上肢体性感覚野上 (C4': Cz より 2 cm 後方の点から右耳朶に向かって 7 cm の点) とし、基準電極は鼻尖に接地した。電極は、皮膚接触面に導電性ペーストを用いて固定した。電極皮膚抵抗は、5 k Ω 以下とした。SEP は、4 つの初期成分 (N 20、P 25、N 33 および P 45) の潜時と頂点間の振幅を計測した。統計学的分析には、SPSS Statistics 21.0 (IBM 社製) を用い、暗算ありとなしの場合の比較に対応のある t 検定を行い、有意水準 5% とした。

表 1 SEP の潜時と振幅の変化

	左正中神経刺激時		右正中神経刺激時	
	暗算 (-)	暗算 (+)	暗算 (-)	暗算 (+)
潜時 (ms)				
N 20	18.4 ± 1.0	18.6 ± 1.1	18.9 ± 1.8	18.8 ± 1.2
P 25	24.1 ± 1.8	23.6 ± 2.1	24.0 ± 2.4	23.5 ± 2.7
N 33	31.8 ± 2.8	32.9 ± 2.3*	31.0 ± 2.6	31.7 ± 3.1
P 45	42.7 ± 3.3	43.3 ± 3.1	42.0 ± 2.4	43.2 ± 4.1
振幅 (μV)				
N 20	2.64 ± 0.5	2.55 ± 0.7	2.70 ± 0.8	2.62 ± 0.9
P 25	3.56 ± 1.0	3.32 ± 0.9	2.87 ± 1.5	2.79 ± 1.0
N 33	2.27 ± 1.6	2.62 ± 1.5	2.09 ± 1.8	2.54 ± 1.8
P 45	3.94 ± 1.7	4.02 ± 2.0	3.70 ± 1.8	4.11 ± 2.3

平均値 ± 標準偏差. SEP : somatosensory evoked potentials. * : $p < 0.05$.

III. 結 果

図 1 は、12 名における左正中神経刺激時の SEP 加算波形である。左右の正中神経刺激時の SEP は暗算の有無に関係なく刺激後 20 ms, 25 ms, 33 ms および 45 ms 付近に刺激に対する対側の体性感覚野上で SEP の初期成分 (N 20, P 25, N 33 および P 45) が記録された。SEP の潜時は、左正中神経刺激時に右体性感覚野上で誘発される N 33 が暗算により 31.8 ± 2.8 ms から 32.9 ± 2.3 ms へと有意に遅延した ($p < 0.05$) (表 1, 図 1)。一方、右正中神経刺激時には左体性感覚野上で暗算による有意な変化はみられなかった (表 1)。また、振幅は左右の体性感覚野上で暗算による有意な変化を示さなかった (表 1)。

IV. 考 察

本研究結果から、左正中神経刺激に注意を向けながらの暗算は右体性感覚野上で誘発される N 33 の潜時を遅延させることがわかった。このことは、右体性感覚野の初期反応は暗算による注意分散によって抑制されることを示唆する。

頭皮上の電位や磁場から、脳内での電流の発生源を推定することが可能であるとされ、SEP の各初期成分は発生源が異なると考えられている^{3,13,14}。刺激後、30 ms 前後に誘発される N 33 の電流発生源は BA 3b 野または 1 野であると解釈されている^{3,14}。このことより、本研究結果で潜時に遅延を示した N 33 は体性感覚の初期反応を表していると考えられる。

注意の脳内情報処理に関する研究によると、視覚的に注意を向けると右半球の前頭前野と頭頂皮質による背外側前頭頭頂ネットワークに活動変化を示すとされている^{15,16}。また、前頭前野は注意の競合および制御の責

図 1 左正中神経刺激時の SEP 波形 (grand average)

任領域であると考えられ、注意の資源を調整すると推察されている¹⁷。一方、体性感覚の注意においても視覚と類似の脳領域が関与するとされている¹⁸。さらに、近年では BA 3a と 3b は体性感覚への注意によって前帯状回と上前頭回とに神経学的な接続を示し、トップダウン型の制御を受けることがわかっている¹⁹。このことから、本研究での N 33 の潜時の遅延は、正中神経刺激時の暗算が注意の分散を引き起こし、背外側前頭頭頂ネットワーク内の前頭葉がトップダウン型の制御によって一次体性感覚野の活動を抑制したものと推察される。

また、本研究では右半球でのみに潜時が遅延を示す結果となった。連続 7 減算の暗算中の脳活動は、両側の前頭前野と右頭頂小葉が増加を示すことがわかっている²⁰。このことより、右半球での暗算と体性感覚の情報処理が同時に行われた結果、右一次体性感覚野が干渉によって抑制したのではないのかと考えられる。

本研究の限界として、暗算による前頭葉と頭頂葉の関連が右半球の体性感覚の初期反応に抑制を引き起こした理由については明らかにできていないことがあげられる。そのため、今後は多チャンネルの EEG や MEG などを用いて多面的に脳内情報処理を検討する必要がある。また、EEG や MEG によって記録できる微細な律

動成分 (θ 波, α , β 波および γ 波) を検出し, 注意の分散による皮質-皮質間の機能的結合や分散を明らかにする必要がある。

引用文献

- 1) Kandel ER, Schwartz JH, Jessell TM, et al.: カンデル神経科学, 第5版. 金澤一郎・他(監訳), メディカル・サイエンス・インターナショナル, 東京, 2014, pp484-485.
- 2) Hari R, Reinikainen K, Kaukoranta E, et al.: Somatosensory evoked cerebral magnetic fields from SI and SII in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1984, 57(3): 254-263.
- 3) Papadelis C, Eickhoff SB, Zilles K, et al.: BA3b and BA1 activate in a serial fashion after median nerve stimulation: Direct evidence from combining source analysis of evoked fields and cytoarchitectonic probabilistic maps. *Neuroimage*, 2011, 54(1): 60-73.
- 4) Schubert R, Ritter P, Wüstenberg T, et al.: Spatial attention related SEP amplitude modulations covary with BOLD signal in S1—a simultaneous EEG-fMRI study. *Cereb Cortex*, 2008, 18(11): 2686-2700.
- 5) Backes WH, Mess WH, van Kranen-Mastenbroek V, et al.: Somatosensory cortex responses to median nerve stimulation: fMRI effects of current amplitude and selective attention. *Clin Neurophysiol*, 2000, 111(10): 1738-1744.
- 6) Kida T, Wasaka T, Nakata H, et al.: Active attention modulates passive attention-related neural responses to sudden somatosensory input against a silent background. *Exp Brain Res*, 2006, 175(4): 609-617.
- 7) Papanicolaou AC, Moore BD, Gary HE Jr: Selective attention effects on somatosensory evoked potentials. *Int J Neurosci*, 1989, 45(3-4): 277-282.
- 8) Velasco M, Velasco F: Differential effect of task relevance on early and late components of cortical and subcortical somatic evoked potentials in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1975, 39(4): 353-364.
- 9) Desmedt JE, Huy NT, Bourguet M: The cognitive P40, N60 and P100 components of somatosensory evoked potentials and the earliest electrical signs of sensory processing in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1983, 56(4): 272-282.
- 10) 水野健太郎, 岡本 剛, 池田拓郎・他: 暗算負荷による視覚誘発脳磁界の変化. *臨床神経生理学*, 2011, 39(4): 181-191.
- 11) Livingstone M, Hubel D: Segregation of form, color, movement, and depth: Anatomy, physiology, and perception. *Science*, 1988, 240(4853): 740-749.
- 12) Tobimatsu S, Celesia GG: Studies of human visual pathophysiology with visual evoked potentials. *Clin Neurophysiol*, 2006, 117(7): 1414-1433.
- 13) Homma S, Musha T, Nakajima Y, et al.: Location of electric current sources in the human brain estimated by the dipole tracing method of the scalp-skull-brain (SSB) head model. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1994, 91(5): 374-382.
- 14) Allison T, McCarthy G, Wood CC, et al.: Human cortical potentials evoked by stimulation of the median nerve. II. Cytoarchitectonic areas generating long-latency activity. *J Neurophysiol*, 1989, 62(3): 694-710.
- 15) Corbetta M, Shulman GL: Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nat Rev Neurosci*, 2002, 3(3): 201-215.
- 16) Petersen SE, Posner MI: The attention system of the human brain: 20 years after. *Annu Rev Neurosci*, 2012, 35: 73-89.
- 17) Duncan J: An adaptive coding model of neural function in prefrontal cortex. *Nat Rev Neurosci*, 2001, 2(11): 820-829.
- 18) Burton H, Sinclair RJ, McLaren DG: Cortical network for vibrotactile attention: A fMRI study. *Hum Brain Mapp*, 2008, 29(2): 207-221.
- 19) Bauer CC, Diaz JL, Concha L, et al.: Sustained attention to spontaneous thumb sensations activates brain somatosensory and other proprioceptive areas. *Brain Cogn*, 2014, 87: 86-96.
- 20) Kazui H, Kitagaki H, Mori E: Cortical activation during retrieval of arithmetical facts and actual calculation: A functional magnetic resonance imaging study. *Psychiatry Clin Neurosci*, 2000, 54(4): 479-485.