

随意動作発現に伴う精神性発汗と中枢性運動指令との関係

桑原裕子¹、塚原玲子²、岩瀬敏¹、西村直記¹、清水祐樹¹、菅屋潤壺¹、青木久²

1 : 愛知医科大学 生理 2、2 : 愛知県心身障害者コロニー 発達障害研究所

Relationship between mental sweating and central motor command preparing for the voluntary muscle contraction

Yuko Kuwahara¹, Reiko Tsukahara², Satoshi Iwase¹, Naoki Nishimura¹, Yuuki Shimizu¹, Junichi Sugeno¹, Hisashi Aoki²

¹Dept. Physiol., Aichi Med. Univ., ²Inst. Develop. Res., Aichi Human Service Center

E-mail: kuwaya28@aichi-med-u.ac.jp

Abstract: During extravehicular activity (EVA), astronauts will have mental sweating as well as thermal sweating, which might disturb EVA by high humidity in the gloves or shoes because mental sweating is localized at palms and soles in humans. We have analyzed that mental sweating at soles are exaggerated by hyperactive skin sympathetic nerve activity (SSNA). In the present study, we examined that motor command activates this SSNA during intended movements. Activation of the skin sympathetic nervous system produces activities of the sudomotor and the vasoconstriction preparing for the exercise activities. Two principal theories have been proposed about sympathetic activation that is caused by voluntary muscle contraction. One is that sympathetic activation is induced by somatosensory afferents. The other is the central motor command signal activates to autonomic circuits. The mechanisms how sympathetic outflow is activated preparing for the motor command has not been well elucidated. The aim of this study is to clarify how much contribution is distributed among central motor command, cognitive function and somatic sensation preparing for the voluntary muscle contraction. Sympathetic skin response (SSR) was recorded from the right sole. EMG was recorded from flexor carpi radialis muscle. We recorded SSNA from tibial nerve by microneurography simultaneously with movement-related cortical potentials (MRCPs) and P300 to analyze the temporal relationship between cognitive function and SSNA evoked by muscle contraction. We concluded that more contribution of central motor commands rather than cognition and somatic sensation to the skin sympathetic outflow on glabrous skin areas preparing for voluntary muscle contraction. Mental sweating evoked by activating of motor command might disturb EVA with wearing airtight suit.

Key words: *extravehicular activity, voluntary muscle contraction, skin sympathetic nerve activity, mental sweating, central motor commands*

1. はじめに

宇宙での船外活動は随意動作であり、皮膚交感神経系の賦活化による手掌や足底の精神性発汗が想定される。随意運動の発現には感覚刺激に対する認知-行動決定-運動企画-運動発現という脳内の情報処理過程があり、体性神経系出力である運動発現には自律神経系出力である皮膚交感神経活動(SSNA)も付随して発生することが知られている^{10) 11)}。皮膚交感神経系の活性化

は発汗活動を賦活化し^{2) 3)}、精神性発汗の指標である交感神経皮膚反応(SSR)は高次機能である認知や情動を反映している^{1) 4)}。随意動作発現に伴う精神性発汗の発現機序は「体性感覚情報」や「中枢性運動指令」により賦活化されるという説があるが、明確に解明されていない^{5) 6) 10) 11)}。我々は、随意的掌把に伴うSSRを精神性発汗の指標とし、運動関連脳電位(MRCPs)や認知電位(P300)を高次機能の評価として、高度に密閉化さ

れた船外活動用宇宙服を装着した状況の精神性発汗について考察した。

2. 実験方法

被験者は健康な成人男性 10 名 (年齢: 22±3 歳、身長: 175.3±6.6 cm) を対象とした。実験に際して、愛知医科大学医学部倫理委員会の承認ならびに被験者からは説明に基づく承諾書を得た。

皮膚交感神経活動(SSNA)は膝窩の脛骨神経からタングステン微小電極を用いてマイクロニューログラフイにより、交感神経皮膚反応(SSR)は右足の足底と足背に血電極を貼付して記録した。高次機能評価法である運動関連脳電位 (BP, NS', MP, P90, N160)や認知電位(P300)を解析するために、脳波(Fz, Cz, C3, C4, Pz)は 10-20 電極配置法により、Fz, Cz, Pz については平均電位基準電極、C3, C4 は耳朶基準電極を用いて、眼球運動とともに記録した。筋電図(EMG)は右前腕の橈側手根屈筋より表面電極(Ag/AgCl)により記録した。

随意的な掌把は最大収縮力の約 20% の力で、反応の速さは要求せず、20~30 秒間隔の視覚による Go シグナルで約 90 回の試行を行った。

3. 結果

1) 随意的な掌把時に発現する筋電図, 皮膚交感神経活動, 交感神経皮膚反応および脳波 (Fig.1)

視覚のGoシグナルにより、随意的な掌把を行うと、まず筋電図(EMG)が発現し、皮膚交感神経活動(SSNA) や交感神経皮膚反応(SSR)も引き続き発現する。また、同時に記録した脳波には運動関連脳電位(MRCPs)や認知電位(P300)が含まれる。

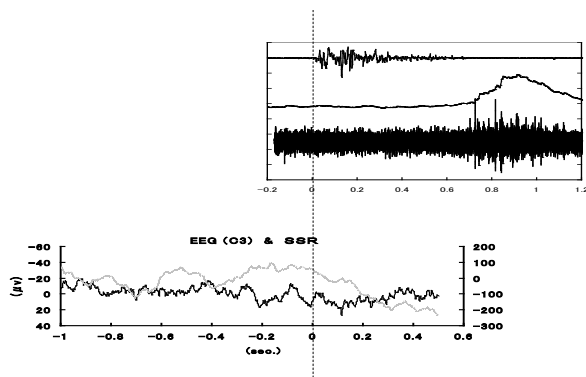


Fig.1 随意的な掌把時のEMG, SSNA, SSRおよびEEG

2) 随意動作発現時の情報処理過程と運動関連脳電位、認知電位、SSNA および SSR の関係 (Fig.2)

運動関連脳電位(MRCPs)や認知電位(P300)は随意運動発現の脳内の情報処理過程に記録される誘発電位である^{3) 10)}。Go シグナルの視覚情報は後頭葉の視覚中枢から前頭連合野に入り、行動の決定がなされる。その後、運動企画により補足運動野から運動準備電位早期成

分(BP)が発生し、運動前野から後期成分(NS')も発生する。さらに、一次運動野の錐体細胞から運動電位(MP)が発生し、掌把動作が発現する。掌把後に体性感覚情報が上行し、一次感覚野からの運動性感覚のフィードバックとして P90 と N160 が発生する。最後に頭頂連合野より体性感覚の認知電位である P300a と P300b が発生する。随意的な掌把発現に伴う SSNA や SSR は以上の情報処理過程の途中で発現すると考えられる。

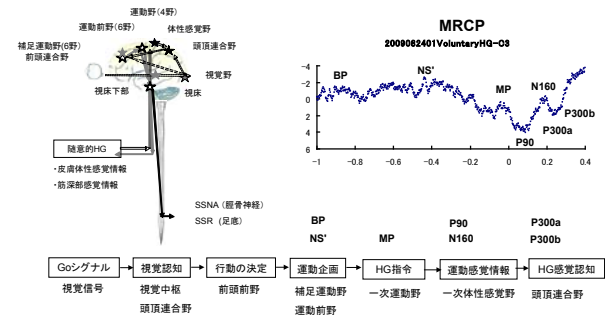


Fig.2 随意的HGの神経回路と運動関連脳電位 (MRCPs)との関連

3) 皮膚交感神経活動と交感神経皮膚反応(Fig.3, Fig.4)

皮膚交感神経活動(SSNA)には汗腺を支配する発汗活動が含まれ^{2) 8)}、精神性発汗の指標である交感神経皮膚反応(SSR)は自律神経検査法であると同様に新奇刺激に対する定位反射として情動や認知と関連する心理生理学的指標としても用いられている^{1) 4)}。精神性発汗に關与する SSNA と SSR の相関関係を解析すると、被験者 10 人中 6 人で有意差(P<0.01)、2 人で有意差(P<0.05)、2 人に傾向(P=0.07&0.08)があり、両者の出力には相関関係が認められた。さらに、SSR 出力の大きい群と小さい群を比較した結果、SSNA 出力は、SSR の大きい群のほうが有意(P<0.05)に大きかった。

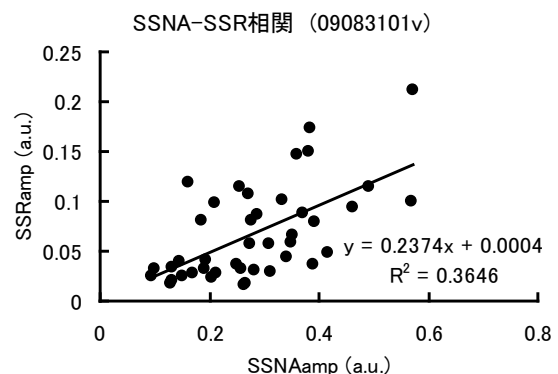


Fig.3 SSNAamp-SSRamp 相関

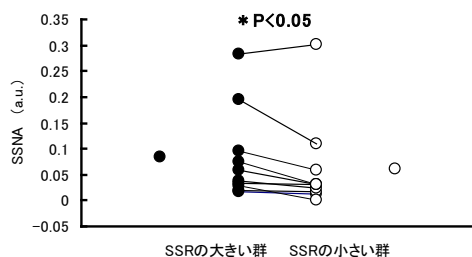


Fig. 4 SSRの大きさによるSSNA出力の差

4) 運動関連脳電位と認知電位 (Fig.5)

精神性発汗に関係する高次機能をみるために、SSRの大きさを2群化し、運動関連脳電位や認知電位を比較した結果、運動準備電位後期成分(NS')の Cz (P=0.09)、運動電位(MP)の Fz と C3 (P<0.01)、Cz と C4 (P<0.05) に有意差があり、体性感覚電位(P90, N160)や認知電位(P300)には有意差は認められなかった。

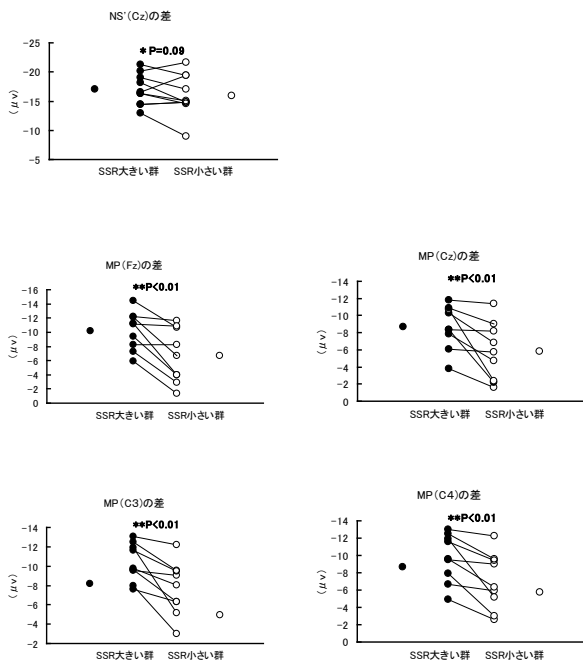


Fig.5 運動関連脳電位出力の比較

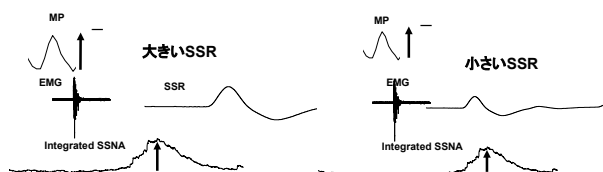


Fig.6 SSRとSSNAの大きさによる比較

4. まとめと考察

我々は随意動作発現時の精神性発汗に関するSSNAとSSRから運動関連脳電位や認知電位を解析した結果、運動準備後期成分(NS)に傾向と運動電位(MP)に有意差(P<0.01)を認めたが、感覚電位(P90,N160)や認知電位(P300)には有意差を認めなかった。Vissingらは等尺性掌把の収縮力に応じてSSNAが増加し、局所的神経筋遮断薬による筋力低下に関わらず、SSNAに変化が見られなかったことより、Schestatskyらは随意的筋収縮時と電気刺激による筋収縮時を比較し、その潜時や振幅より随意的筋収縮時のSSRは運動指令により発生するとした^{6) 10) 11)}。Rossiniらは末梢神経障害患者に対して運動皮質を経頭蓋磁気刺激してSSRを誘発させ、感覚神経線維の賦活化はSSR誘発に必須ではないとした⁵⁾。また、Shibasakiらは等尺性筋収縮時の無毛部皮膚の精神性発汗は中枢性指令が調節していると報告した⁷⁾。我々は精神性発汗の指標であるSSRを賦活化するSSNAを直接記録するとともに高次機能を解析し、随意動作発現時の精神性発汗が運動性体性感覚やその認知より中枢性運動指令により依存することを明らかにした。

宇宙における船外活動は意志による中枢性運動指令によるものであるため、手掌や足底に精神性発汗が発現することは必須である。従って、高度に密閉化された船外活動用宇宙服を装着するには、精神性発汗による影響を考慮されることが望ましい。

5. 文献

- 1) Aihara M, Sata Y, Osada M et al: The effects of higher cortical functions on SSR. In Resent advances in human neurophysiology,. Hashimoto I, Kakigi R, eds, 1089-1094, Elsevier, Amsterdam, 1998
- 2) Bini G, Hagbarth KE, Hynninen P et al: Thermoregulatory and rhythm-generating mechanisms governing the sudomotor and vasoconstrictor outflow in human cutaneous nerves. J Physiol, 306, 537-552, 1980
- 3) Ito H, Sugiyama Y, Mano T et al: Skin sympathetic nerve activity and event-related potentials during auditory oddball paradigms. J Auton Nerv Syst, 60, 129-135, 1996
- 4) 岩瀬敏、間野忠明: 交感神経皮膚反応. 基礎. 臨床脳波, 38, 558-565, 1996
- 5) Rossini PM, Massa R, Sancesario G et al: Sudomotor skin responses to brain stimulation do not depend on nerve sensory fiber functionality. Electroenceph Clin Neurophysiol, 89, 447-451, 1993

- 6) Schestatsky P, Valls-Solé J, Felix-Torres V et al: Sympathetic skin responses evoked by muscle contraction. *Neurosci Lett.* 463(2), 140-4, 2009
- 7) Shibasaki M, Secher NH, Selmer C et al: Central command is capable of modulating sweating from non-glabrous human skin. *J Physiol*, 15, 553 (Pt3), 999-1004, 2003
- 8) Sugeno J, Iwase S, Mano T et al: Identification of sudomotor activity in cutaneous sympathetic nerves using sweat expulsion as the effector response. *Eur J Appl Physiol*, 61, 302 -308, 1990
- 9) Terada K, Ikeda A, Nagamine T, et al: Movement-related cortical potentials associated with voluntary muscle relaxation. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* 95, 335-345, 1995
- 10) Vissing SF, Scherrer U, Victor RG : Stimulation of skin sympathetic nerve discharge by central command. Differential control of sympathetic outflow to skin and skeletal muscle during static exercise. *Circ Res*, 69(1), 228-38, 1991
- 11) Vissing SF, Hjortsø EM : Central motor command activates sympathetic outflow to the cutaneous circulation in humans. *J Physiol.* 492 (Pt 3), 931-9, 1996