

局所の骨格筋への電気刺激が気分・感情に与える影響： 随意運動との比較

須藤みず紀¹⁾，安藤創一²⁾

The effects of local skeletal muscle contraction on mood states: comparison with exercise

Mizuki Sudo and Soichi Ando

SUMMARY

Physical activity and regular exercise are known to have beneficial effects on mood state. Similarly, a single bout of exercise seems to improve mood states. Recent studies suggest that electrical muscle stimulation (EMS) has the potential to be an alternative method of exercise. However, the effects of EMS on mood states are unclear. The purpose of this study was to test if the effects of EMS on mood states are comparable to voluntary exercise. Twenty-one participants were recruited in the present study. The participants answered three kinds of questionnaires before and after the EMS or voluntary exercise for 20 min. The order of EMS and exercise was randomized. We performed two-way analysis of variance (ANOVA) with time (pre vs. post) and condition (EMS vs. voluntary exercise) as within factors. Two-way ANOVA showed a significant main effect of time on pleasantness. The present results suggest that physiological and psychological responses to the EMS as well as voluntary exercise have the potential to affect pleasantness.

Key words: electrical muscle stimulation, voluntary exercise, mood state.

緒 言

世界保健機関 (World Health Organization; WHO) によると“メンタルヘルスは単に精神疾患や精神障がいがないだけでなく，自身の能力を認識し，日常の生活ストレスに対処でき，生産的かつ有益な仕事ができ，更に自分が所属するコミュニティに貢献できる健康な状態”と定義されている¹⁾。近年，うつ病などの気分障害を有する患者数は増加の一途をたどっており，気分障害が発生する要

因として，社会生活における多様なストレスが想定されている。更に，近年の COVID-19 の世界的な大流行により，不安やうつ状態を含めたメンタルヘルスの問題は増加しており²⁾，COVID-19 の患者のなかには新たにメンタルヘルスの問題を抱える人も多い³⁾。したがって，メンタルヘルスの問題は今後も続くことが予想され，その対応策を考えることは喫緊の課題であろう。

これまでの数多くの研究から，身体活動量が高いことや運動習慣は，メンタルヘルスにも有益な

1) 公益財団法人 明治安田厚生事業団体力医学研究所 Physical Fitness Research Institute, Meiji Yasuda Life Foundation of Health and Welfare, Tokyo, Japan.
2) 電気通信大学大学院情報理工学研究所 Graduate School of Informatics and Engineering, University of Electro-Communications, Tokyo, Japan.

効果をもたらすことが知られている^{4,6)}。更に、一過性の有酸素運動でも不安感などのネガティブな心理状態が改善し⁷⁾、高揚感の向上、否定的感情の低下をもたらしている⁸⁾。動物モデルを用いた報告でも、自発運動が不安様行動を抑制して、ストレス耐性を高めることが明らかになっている⁹⁾。更に近年我々は、身体不活動者に対しては、一過性のストレッチでも気分・感情の向上がみられることを示した¹⁰⁾。これらの知見は、一過性の運動および運動習慣が気分・感情に対して有益な効果をもたらすことを示している。一過性の運動の積み重ねが運動習慣につながることを考えると、1回の運動が気分・感情にもたらす効果のエビデンスを蓄積することは大きな意義があると考えられる。

しかし、運動といっても気軽にかつ安全に行うことが難しい場合や、自発的に取り組むことができない場合も散見される。そこで、運動の代替として期待されているものに骨格筋への電気刺激(electrical muscle stimulation; EMS)がある。脳からの運動指令により自発的に骨格筋を動かす随意運動とは異なり、骨格筋へのEMSは運動神経に電気刺激を加えることにより不随意に筋収縮を誘発することができる。これまでも一過性のEMSが骨格筋での糖代謝を亢進すること¹¹⁾、継続したEMSがII型糖尿病患者の空腹時血糖値を低下させること¹²⁾、前十字靭帯再建手術後の筋萎縮を予防すること¹³⁾が知られている。これらの結果はEMSによる局所への骨格筋収縮が代謝亢進や筋萎縮の予防に対して効果的であることを示している。加えて、骨格筋へのEMSがもたらす筋収縮は筋機械受容器反射や筋代謝受容器反射を亢進させることが明らかにされている¹⁴⁾。しかし、EMSによる局所への骨格筋収縮が気分・感情に及ぼす効果については検討されていない。我々の先行研究では、一過性の筋の伸展・収縮を重視したストレッチ運動後において生理的な変化を伴うことなく快感情の上昇がみられたことを示した¹⁰⁾。この結果は、筋収縮という物理的な刺激が、気分・感情の向上に貢献している可能性を示してい

る。

また、これまでの研究から一過性の随意運動により気分・感情の改善がみられることが明らかにされている^{7,8)}。そこで本研究では、EMSに誘発される筋収縮は、随意運動と同様に気分・感情を向上させるという仮説を立て検証することを目的とした。本研究は、EMSが気分・感情の改善に対して新たな有効的な手法となる糸口を検証するものであり、身体活動量の低下が危惧される現在において、その意義は大きいと考えられる。

方 法

A. 参加者

参加者は、健康な若年男性21名であった(年齢: 22.5 ± 1.6 歳, 身長: 172.5 ± 6.5 cm, 体重: 68.4 ± 10.9 kg)。参加者は疾患を有しておらず、EMSおよび運動を行ううえで問題はなかった。参加者は、実験の参加時には週に3日以上以上の運動習慣をもたないものであった。

B. 実験プロトコル

実験は4日間に分けて行った。実験初日にはEMSに慣れるために、参加者にEMSを経験してもらった。EMSの強度は徐々に強くし、最終的にそれぞれの参加者が耐えることができる最大の強度を設定した¹¹⁾。したがって、本研究でEMSの強度は刺激に伴う痛みに対して、どこまで耐えられるのかによって決まったといえる。そして、その強度でのEMSを行っている際の心拍数(heart rate; HR)および主観的運動強度(ratings of perceived exertion; RPE)¹⁵⁾を記録した。2日目から4日目には、EMS(EMS条件)、EMS時のHRと随意運動時のHRが一致するように運動強度を設定した条件(HR一致条件)、EMS時のRPEと随意運動時のRPEが一致するように運動強度を設定した条件(RPE一致条件)の3つの条件をランダムな順番で行った。これにより、EMSが気分・感情にもたらす影響を心臓血管系に対する強度が同じ随意運動、および電気刺激による痛みを含めた主観的に感じる強度が同じ随意運動と比較することができる。3つの条件での実験の実施は、最

低2日間の間隔を空けて行った。実験はできるだけ同時刻から開始し、前日と当日はなるべく同様の生活様式を心がけるよう指示した。参加者には、実験前日には運動を控え、実験開始の3時間前からは水以外の飲食を控えることを指示した。参加者は実験室に到着後10分間の座位安静を保ち、その後実験を開始した。各条件におけるEMSおよび随意運動は20分間とし、参加者はEMSおよび随意運動の前後で質問紙に回答した。それぞれの条件でHRは安静時、EMSおよび随意運動中に測定を実施した。RPEは実験開始時とEMSおよび随意運動の終了直前に回答してもらった。実験を通して、実験室の室温は摂氏21度から23度の範囲で行った。

C. 測定項目

気分・感情の測定には、二次元気分尺度¹⁶⁾、改訂版ポジティブ感情尺度(Mood Check List-short form 2; MCL-S.2)¹⁷⁾と一過性運動に用いる感情尺度(Waseda affect scale of exercise and durable activity; WASEDA)⁸⁾の3種類を用いた。参加者は、二次元気分尺度では8項目の気分尺度に対して6件法で回答した。活性度と安定度は-10点から10点の間で評価し、覚醒度と快適度は-20点から20点の間で評価した。MCL-S.2では快感情、リラックス感、不安感の3因子から構成された12項目の設問に対して7件法で回答し、-12点から12点の間で

評価した。WASEDAでは、一過性の運動による否定的感情、高揚感、落ち着き感を12項目の設問に5件法で回答し、4点から20点の間で評価した。本研究ではEMSおよび随意運動がもたらす参加者の感情の変化を幅広く評価するために、3種類の質問紙より気分・感情を評価した。これらの評価の信頼性と妥当性は先行研究により確認されている^{8,16,17)}。HRの測定は、心拍計(V800、ポラール社製)を用いて行った。この心拍計による測定の妥当性も先行研究により確認されている¹⁸⁾。HRはEMSおよび随意運動開始の3分後から運動終了までのデータを平均した。RPEはBorgスケールを用いて、6から20の15段階で参加者に回答をしてもらった。

D. 電気刺激(EMS)と随意運動

EMSには電気刺激装置(オートテンズプロ、ホーマーイオン研究所製)を用いた(図1A)。電気刺激はパルス幅0.25ミリ秒、周波数4Hzで、腹部・臀部・大腿・下腿の広い範囲に対して行い、骨格筋を連続的に収縮させた。随意運動は自転車エルゴメータ(XL75III, KONAMI社製)を用いて行った(図1B)。表面筋電図を用いた自転車エルゴメータによる運動時の筋活動は、大殿筋・大腿直筋・外側広筋・内側広筋・大腿二頭筋長頭・半腱様筋・腓腹筋・ヒラメ筋の動員が報告されている¹⁹⁾ことから、本研究における随意運動時におい

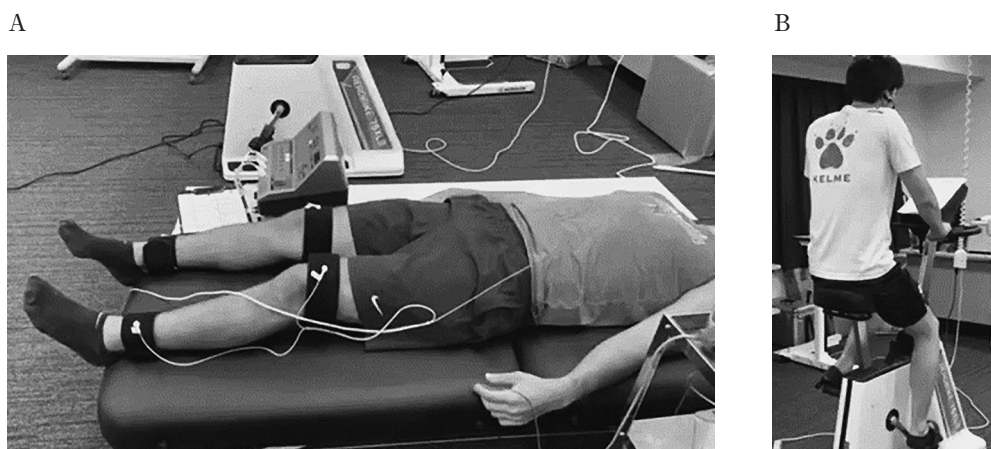


図1. 実験風景

Figure 1. Pictures showing experimental setup.

A: electrical muscle stimulation, B: voluntary exercise.

でも臀部，大腿，下腿の筋群が動員されるといえるだろう。一方，本研究で用いた EMS ではバンド型電極を腰，両大腿，両足首に巻き付けることで経皮的に臀部，大腿，下腿の筋群を刺激することができ，随意運動時に動員される筋群が含まれる。これらは，本研究で用いた EMS により刺激される筋群と随意運動において動員される筋群は一致していることを意味している。HR 一致条件では，運動中の HR が EMS 時と同じになるように，あらかじめ決定した運動負荷で実験を開始した。RPE 一致条件では，あらかじめ決められた RPE と同じになるように運動強度を設定した。HR および RPE は随意運動中に 1 分ごとに確認し，設定値からずれた際は，実験者が運動強度を調整した。

E. 統計解析

本研究では，EMS と随意運動が気分・感情にもたらす影響を比較するために，EMS 条件，HR 一致条件，および RPE 一致条件の 3 条件で比較を行った。HR，RPE および質問紙による気分・感情評価のデータに対しては，シャピロ・ウィルク検定により正規性の検定を行った後，条件 (EMS vs. HR 一致 vs. RPE 一致) と時間 (Pre vs. Post) を被験者内因子として，二元配置の分散分析を行った。有意な交互作用がみられた場合には，単純主効果の検定を行い，その後の検定はボンフェローニの多重比較を行った。正規分布をしているデータに対しては効果量として Cohen's *d* および信頼区間を算出した²⁰⁾。正規分布をしていないデータに対しては，ウィルコクソンの符号順位検定を行った。有意水準は 5 % とした。正規性が

確認されたデータは平均値 (標準偏差) で示し，正規分布をしていないデータについては中央値 (範囲) で示した。

F. 倫理的配慮

被験者に対して本研究の趣旨と内容について文書，および口頭で十分な説明を行い，参加同意を書面にて得た。本研究は，電気通信大学ヒトを対象とする実験に関する倫理審査委員会の承認を得た (承認番号：19003号)。

結 果

A. 心拍数 (HR) および主観的運動強度 (RPE)

表 1 に HR と RPE の結果を示す。HR と RPE のデータは正規分布をしていないため中央値 (範囲) で示している。HR は EMS 条件，HR 一致条件と RPE 一致条件の随意運動中に安静時と比較して増加した (それぞれ $P = 0.003$, $P < 0.001$, $P < 0.001$)。また，HR 一致条件の運動後の HR は EMS 条件の EMS 実施後と比較して，有意に大きい値を示した ($P = 0.016$)。RPE は EMS 条件，および 2 条件の随意運動により増加がみられた (それぞれ $P < 0.001$)。RPE は EMS 条件と RPE 一致条件の間で差はみられなかった ($P = 0.98$)。

B. 気分・感情の変化

表 2 に気分・感情の変化を示す。正規性が確認されたデータは平均値 ± 標準偏差および Cohen's *d* と 95 % 信頼区間を示し，正規分布をしていないデータについては中央値 (範囲) で示している。EMS 条件および HR 一致条件と RPE 一致条件の随意運動による二次元気分尺度で評価した活性度，安定度，覚醒度，快適度は統計的な差異はなかつ

表 1. 電気刺激および随意運動の前後における心拍数 (HR) と主観的運動強度 (RPE) の変化 ($n = 21$)

Table 1. HR and RPE before and after EMS or voluntary exercise ($n = 21$).

Variables	HR, bpm			RPE		
	Pre	Post	Pre vs. Post	Pre	Post	Pre vs. Post
EMS	70 (46, 88)	79 (58, 100)	$P = 0.003$	6 (6, 7)	13 (9, 19)	$P < 0.001$
Exercise (HR matched)	71 (56, 100)	84 (68, 106) #	$P < 0.001$	6 (6, 9)	9 (7, 16)	$P < 0.001$
Exercise (RPE matched)	73 (54, 102)	131 (103, 139)	$P < 0.001$	7 (6, 10)	13 (10, 16)	$P < 0.001$

HR; heart rate, RPE; ratings of perceived exertion, EMS; electrical muscle stimulation.

Data are expressed as median (interquartile range). # $P = 0.016$, vs. EMS post.

表 2. 電気刺激および随意運動の前後における気分の変化 (n = 21)
Table 2. Changes in mood states before and after EMS or voluntary exercise (n = 21).

Variables	EMS		Exercise (HR matched)		Exercise (RPE matched)		Main effect		Interaction
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post	Condition	Time	
Two-Dimensional Mood Scale									
Vitality	2.6 ± 1.4	3.0 ± 1.4	2.6 ± 3.5	2.9 ± 4.1	2.2 ± 4.1	3.5 ± 4.5	P = 0.99	P = 0.21	P = 0.38
Cohen's d [95% CI]	0.29 [-0.33, 0.89]		0.08 [-0.53, 0.68]		0.30 [-0.31, 0.90]				
Stability	7.3 ± 1.8	6.8 ± 2.7	7.3 ± 2.2	7.4 ± 1.7	6.7 ± 2.2	6.2 ± 2.5	P = 0.06	P = 0.43	P = 0.47
Cohen's d [95% CI]	-0.22 [-0.82, 0.39]		0.05 [-0.56, 0.65]		-0.21 [-0.81, 0.40]				
Arousal	-4.9 ± 4.9	-4.3 ± 5.9	-4.7 ± 3.6	-4.5 ± 4.0	-4.5 ± 3.7	-2.7 ± 4.8	P = 0.37	P = 0.17	P = 0.27
Cohen's d [95% CI]	0.11 [-0.50, 0.71]		0.05 [-0.55, 0.66]		0.42 [-0.20, 1.02]				
Pleasure	9.7 ± 4.1	9.3 ± 3.9	9.9 ± 4.6	10.3 ± 4.8	8.5 ± 5.7	9.8 ± 5.4	P = 0.33	P = 0.47	P = 0.49
Cohen's d [95% CI]	-0.10 [-0.70, 0.51]		0.09 [-0.52, 0.69]		0.23 [-0.38, 0.84]				
MCL-S.2									
Pleasantness	2.0 ± 5.0	3.5 ± 4.7	2.8 ± 4.3	3.0 ± 4.5	1.8 ± 5.2	3.4 ± 4.8	P = 0.89	P = 0.03 *	P = 0.32
Cohen's d [95% CI]	0.31 [-0.31, 0.90]		0.05 [-0.56, 0.65]		0.32 [-0.29, 0.92]				
Relaxation	5.7 ± 3.9	6.1 ± 4.4	6.3 ± 3.3	6.2 ± 2.8	6.2 ± 3.3	4.1 ± 4.7	P = 0.25	P = 0.19	P = 0.01 *
Cohen's d [95% CI]	0.10 [-0.51, 0.70]		-0.03 [-0.64, 0.57]		-0.52 [-1.12, 0.11]				
Anxiety	-12.0 (-12, -4)	-12.0 (-12, -7)	-12.0 (-12, -3)	-12.0 (-12, 3)	-11.0 (-12, -1)	-12.0 (-12, 2)	—	—	—
WASEDA									
Negative affect	4 (4-10)	4 (4-16)	4 (4-10)	4 (4-10)	4 (4-14)	4 (4-14)	—	—	—
Positive engagement	11.3 ± 3.3	11.0 ± 3.8	10.2 ± 3.7	10.8 ± 3.6	10.5 ± 3.6	11.2 ± 4.1	P = 0.57	P = 0.27	P = 0.07
Cohen's d [95% CI]	-0.08 [-0.69, 0.52]		0.16 [-0.44, 0.77]		0.18 [-0.43, 0.78]				
Tranquility	15.6 ± 2.3	15.5 ± 2.9	16.0 ± 1.9	16.0 ± 2.1	16.0 ± 2.1	14.4 ± 3.6	P = 0.13	P = 0.18	P = 0.01 *
Cohen's d [95% CI]	-0.04 [-0.64, 0.57]		0.00 [-0.60, 0.60]		-0.54 [-1.15, 0.08]				

HR; heart rate, RPE; ratings of perceived exertion, EMS; electrical muscle stimulation, CI; confidence interval, MCL-S.2; Mood Check List-short form 2, WASEDA; Waseda affect scale of exercise and durable activity.

Data are expressed as mean (SD) or median (interquartile range). The significance level was set at $P < 0.05$. * Significant main effect or interaction. # Main effect of time in RPE matched condition, $P < 0.05$. † vs. EMS & HR matched condition, $P < 0.05$.

た。MCL-S.2で評価した快感情は、時間の主効果がみられた($P = 0.032$)。リラックス感において交互作用が認められ($P = 0.013$)、単純主効果の検定を行ったところ、PRE一致条件において時間の主効果が認められ、実験後においてリラックス感が有意に低下していた($P = 0.018$)。また、3条件間のPost測定時において主効果がみられ($P = 0.022$)、RPE一致条件とEMS条件、およびRPE一致条件とHR一致条件との間に有意差がみられた(それぞれ $P = 0.045$)。WASEDAで評価した気分・感情では、落ち着き感に交互作用が認められ($P = 0.014$)、単純主効果の検定を行ったところ、RPE一致条件において時間の主効果が認められた($P = 0.019$)。また、3条件間のPost測定時において主効果がみられ($P = 0.016$)、RPE一致条件とEMS条件、およびRPE一致条件とHR一致条件との間に有意差がみられた(それぞれ $P = 0.016$)。

考 察

本研究は、健康な若年者を対象にして、EMSに誘発される筋収縮は、随意運動と同様に気分・感情を向上させるという仮説のもと、検証を行った。その結果、EMSと随意運動には快感情において時間の主効果がみられたが、交互作用はみられなかった。これらの結果は、EMSと随意運動における時間経過が快感情に影響を与えることを示している。また、リラックス感と落ち着き感は、有意な交互作用がみられた。これは、リラックス感と落ち着き感がRPE一致条件実施後に低下したことに起因すると考えられる。一方で、その他の気分・情動の指標については、統計学的な有意な差異はみられなかった。

近年、骨格筋における代謝や筋肥大に対する随意運動の影響に対し、EMSがその代替となる影響を示す可能性が示唆されている。本研究では、EMSと比較のために2種類の負荷強度指標(HR, RPE)をもとに強度を設定した。その結果、HR一致条件ではHRの変化量がEMS条件群よりも統計的に有意に高い値を示したが、その差は5 bpm

程度であったことから、心臓血管系に対する運動負荷強度はほぼ同じであったと推定された。一方、RPEで強度設定した場合は、RPE一致条件ではEMS条件と同じレベル(13ポイント)までの上昇であった。これらの結果から、本研究における条件設定はおおむね上手くいったと考えられる。

本研究で検討した気分・感情は、活性度、安定度、覚醒度、快適度(二次元気分尺度)、快感情、リラックス感、不安感(MCL-S.2)、否定的感情、高揚感、落ち着き感(WASEDA)であった。本研究で得られた結果のなかで特筆すべきことは、快感情に対して時間の主効果がみられたことである。この結果は、EMSと随意運動における時間経過が快感情に影響を与えることを示すものである。一過性の有酸素運動が気分・感情に有益であることは知られていたが^{7,8)}、本研究はこれらの先行研究の結果を広げるとともに、随意運動およびEMSによる局所的な筋収縮の生理的および心理的な応答が快感情にどのように影響を与えるのかを推察するうえで新しい知見を提供したといえる。これまでも一過性の運動による覚醒レベルの上昇²¹⁾や神経伝達物質の分泌²²⁾などが示唆されている。したがって、これらの要因が本研究においても気分・感情の向上に関与する可能性が考えられる。本研究で用いたEMSは随意運動とは異なり不随意的に骨格筋の筋収縮をもたらすものである。局所的な筋収縮により、活動筋では筋機械受容器反射や筋代謝受容器反射が亢進される¹⁴⁾。また、我々は先行研究で、筋の伸展・収縮の動きを重視したストレッチ運動後に快感情が上昇したことを示している¹⁰⁾。これらの結果は、局所的な物理的刺激である筋収縮による生理的および心理的な応答が、気分・感情の向上に貢献している可能性を示している。しかし、随意運動と局所的な筋収縮が気分・感情に影響を与えるメカニズムについては明らかになっておらず、今後の更なる検討が必要であると考えられる。本研究の結果は、一過性のEMSおよび随意運動による変化をとらえたものである。先行研究において、一過性の運動負荷の前後の比較においてポジティブな感情の誘発を

報告していることから^{7,8)}、本研究の応答は限定的ではあるが一種の感情変化をとらえていることを示唆するものである。今後、随意運動あるいはEMSにおける継続的負荷が気分・感情の向上に関与するか否かについて引き続き検証する必要があるだろう。

本研究では、リラックス感と落ち着き感に交互作用がみられた。この交互作用はEMSと2条件の随意運動との間で、運動前後でのリラックス感と落ち着き感の変化パターンに違いがみられたことを示している。RPE一致条件において、リラックス感と落ち着き感に時間の単純主効果がみられたことから、この交互作用はRPE一致条件における低下が主な要因であろう。一方、EMSおよびHR一致条件ではこれらの気分・感情に変化がみられなかった。HRがおよそ130 bpmであったRPE一致条件と比較して、EMSとHR一致条件の随意運動ではHRの上昇が小さかったことから、運動がリラックス感と落ち着き感に与える影響は、運動強度に依存すると考えられ、HRがその目安になるかもしれない。しかし、有酸素運動による生体に対するさまざまな有益な効果を考慮すると本研究にて中強度の運動により一時的にリラックス感と落ち着き感が低下したことは、これらの運動を行うことを推奨しないものではないと考えられる。

本研究では、随意運動だけでなく、EMSによる局所的な筋収縮によっても気分・感情が向上する可能性を示したという点において意義があると考えられるが、いくつかの限界がある。1つ目に、気分・感情の評価方法についてである。本研究でもこれまでの先行研究と同様に、気分・感情の評価は質問紙による主観的評価で行ったため、客観的な評価が不十分であったことが考えられる。気分・感情を定量的に評価することは難しいが、今後、主観的評価に加えて、客観的評価を併せて行うことが重要になるであろう。2つ目に、本研究では局所的な筋収縮が気分・感情にもたらす効果を検証する第一歩として、まずは健康な若年男性のみを対象にして行ったものである。今回の参加

者は気分・感情が良好なものが多かったため、局所的な筋収縮が気分・感情にもたらす効果が他の集団にも適応できるかを明らかにするためには、女性の参加者や高齢者、有疾患者などを対象にしたより規模の大きい研究を行うことが今後の検討に必要であると考えられる。3つ目に、本研究の実験デザインの限界点が挙げられる。安静の前後で気分・感情を評価する対照群を設けていない。そのため、本研究では時間経過による影響を除去できていないことが研究の限界として含まれるであろう。更に、EMSと随意運動との間で運動の随意性以外の条件(例えば、痛みに耐えることや姿勢など)を一致させることができなかった。今後は、更に実験条件を追加することでEMSが気分・感情にもたらす効果をより詳細に検討する必要があると考えられる。

総 括

本研究では、健康な若年男性を対象に一過性のEMSにより誘発された筋収縮が随意運動と同様に気分・感情を向上させるか否かを検討した。その結果、気分・感情を反映する多くの指標においてEMS、および随意運動による変化は認められず、結論は不明であった。一方で、快感情においては、EMS、および随意運動の両条件による改善がみられた。また、交互作用も認められなかったことから、EMSによる筋収縮は、随意運動と同様の快感情における改善効果をもたらす可能性があることが示唆された。

謝 辞

本研究は、科学研究費補助金(課題番号16H05919)の一部を用いて行われた。

利 益 相 反

本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はない。

参 考 文 献

- 1) World Health Organization. Mental health: strengthening our response. [updated 2018 March 30]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-strengthening-our-response>.
- 2) Dedoncker J, Vanderhasselt MA, Ottaviani C, Slavich GM.

- Mental health during the COVID-19 pandemic and beyond: the importance of the vagus nerve for biopsychosocial resilience. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2021; 125: 1-10.
- 3) Varatharaj A, Thomas N, Ellul MA, Davies NWS, Pollak TA, Tenorio EL, Sultan M, Easton A, Breen G, Zandi M, Coles JP, Manji H, Al-Shahi Salman R, Menon DK, Nicholson TR, Benjamin LA, Carson A, Smith C, Turner MR, Solomon T, Kneen R, Pett SL, Galea I, Thomas RH, Michael BD, CoroNerve Study Group. Neurological and neuropsychiatric complications of COVID-19 in 153 patients: a UK-wide surveillance study. *The Lancet. Psychiatry*. 2020; 7: 875-82.
 - 4) Adamson BC, Ensari I, Motl RW. Effect of exercise on depressive symptoms in adults with neurologic disorders: a systematic review and meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2015; 96: 1329-38.
 - 5) Pascoe M, Bailey AP, Craike M, Carter T, Patten R, Stepto N, Parker A. Physical activity and exercise in youth mental health promotion: a scoping review. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 2020; 6: e000677.
 - 6) Stanton R, Happell B, Reaburn P. The mental health benefits of regular physical activity, and its role in preventing future depressive illness. *Nursing: Research and Reviews*. 2014; 4: 45-53.
 - 7) LeBouthillier DM, Asmundson GJ. A single bout of aerobic exercise reduces anxiety sensitivity but not intolerance of uncertainty or distress tolerance: a randomized controlled trial. *Cognitive Behaviour Therapy*. 2015; 44: 252-63.
 - 8) Arai H, Takenaka K, Oka K. Affect scale for acute exercise: scale development and examination of the exercise-induced affects. *The Japanese Journal of Health Psychology*. 2003; 16: 1-10.
 - 9) Garcia-Capdevila S, Portell-Cortes I, Torras-Garcia M, Coll-Andreu M, Costa-Miserachs D. Effects of long-term voluntary exercise on learning and memory processes: dependency of the task and level of exercise. *Behavioural Brain Research*. 2009; 202: 162-70.
 - 10) Sudo M, Ando S. Effects of acute stretching on cognitive function and mood states of physically inactive young adults. *Perceptual and Motor Skills*. 2020; 127: 142-53.
 - 11) Hamada T, Sasaki H, Hayashi T, Moritani T, Nakao K. Enhancement of whole body glucose uptake during and after human skeletal muscle low-frequency electrical stimulation. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*. 2003; 94: 2107-12.
 - 12) Miyamoto T, Iwakura T, Matsuoka N, Iwamoto M, Takenaka M, Akamatsu Y, Moritani T. Impact of prolonged neuromuscular electrical stimulation on metabolic profile and cognition-related blood parameters in type 2 diabetes: a randomized controlled cross-over trial. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2018; 142: 37-45.
 - 13) Hasegawa S, Kobayashi M, Arai R, Tamaki A, Nakamura T, Moritani T. Effect of early implementation of electrical muscle stimulation to prevent muscle atrophy and weakness in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2011; 21: 622-30.
 - 14) Williamson JW, Fadel PJ, Mitchell JH. New insights into central cardiovascular control during exercise in humans: a central command update. *Experimental Physiology*. 2006; 91: 51-8.
 - 15) Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1982; 14: 377-81.
 - 16) Sakairi Y, Nakatsuka K, Shimizu T. Development of the Two-Dimensional Mood Scale for self-monitoring and self-regulation of momentary mood states. *Japanese Psychological Research*. 2013; 55: 338-49.
 - 17) Hashimoto K, Murakami M. Reliability and validity of the reversed Mood Check List-short from 2 (MCL-S.2) measuring the positive mood state following exercise. *Journal of Health Science*. 2011; 33: 21-6.
 - 18) Giles D, Draper N, Neil W. Validity of the Polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. *European Journal of Applied Physiology*. 2016; 116: 563-71.
 - 19) van Ingen Schenau GJ, Dorssers WM, Welter TG, Beelen A, de Groot G, Jacobs R. The control of mono-articular muscles in multijoint leg extensions in man. *The Journal of Physiology*. 1995; 484 (Pt 1): 247-54.
 - 20) Cohen J. A power primer. *Psychological Bulletin*. 1992; 112: 155-9.
 - 21) Brisswalter J, Collardeau M, Rene A. Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Medicine*. 2002; 32: 555-66.
 - 22) McMorris T. Developing the catecholamines hypothesis for the acute exercise-cognition interaction in humans: lessons from animal studies. *Physiology and Behavior*. 2016; 165: 291-9.