

■ 報告

運動後の自律神経活動と心理的効果

Activity of autonomic nervous system and the psychological effects after exercise

奥村裕¹⁾ 江口輝行²⁾ 亀井亮良³⁾ 高橋秀典⁴⁾

Yu Okumura¹⁾ Teruyuki Eguchi²⁾ Akiyoshi Kamei³⁾ Shusuke Takahashi⁴⁾

1) 大阪人間科学大学 人間科学部 理学療法学科
〒566-8501 大阪府摂津市正雀1丁目4番1号

TEL: 06-6383-6441 FAX: 06-6383-6472 E-mail: y-okumura@kun.ohs.ac.jp

2) 介護老人保健施設 深草京しみず

3) 株式会社ソラスト ソラスト住吉川

4) 京都女子大学 家政学部生活福祉学科

1) Department of Physical Therapy, Faculty of Human Science, Osaka University of Human Science

1-4-1 Shojaku, Settsu-city, Osaka-pref 566-8501, Japan

TEL: +81-6-6383-6441

2) Fukakusa Kyoshimizu, Healthcare Facility for Elderly People

3) Solasto Corporation, Solasto Sumiyoshigawa

4) Department of Living and Welfare, Faculty of Home Economics, Kyoto Women's University

保健医療学雑誌 8 (1): 44-49, 2017. 受付日 2015年10月21日 受理日 2017年2月15日

JAHS 8 (1): 44-49, 2017. Submitted Oct. 21, 2015. Accepted Feb. 15, 2017.

ABSTRACT:

This study aimed to investigate the autonomic nervous system activity and the psychological effects immediately after a single bout of exercise performed at different intensities. Indexes of autonomic nervous system function and psychological effects were measured through a frequency analysis of heart rate variability and the Japanese version of the short form of the Profile of Mood States (POMS). Nineteen healthy adults participated in this study as subjects who were divided into two groups with different programs. Exercise was performed on a cycle ergometer at an intensity of 30% or 60% of the target heart rate calculated by using Karvonen's formula. We compared the index values before and immediately after the single bout of exercise. The results of the comparison between before and after the exercise indicated that parasympathetic nerve index significantly increased at 30% exercise intensity. The scores for tension-anxiety and depression in the POMS significantly decreased at 30% exercise intensity. These findings suggest that a single bout of low level intensity exercise may immediately contribute to the activation of parasympathetic nervous function and improvement in moods.

Key words: autonomic nerve, psychological effect, exercise intensity

要旨：

強度の異なる運動直後の自律神経活動と、心理的活性効果を明らかにし、各々の単回運動後に得られる効果について検討した。対象は健常成人 19 名。自律神経活動は心拍変動解析を、心理効果は日本語版 Profile of Mood States 短縮版を用いた。自転車エルゴメータによる運動にて、Karvonen 法による運動強度 30%と 60%の心拍数に達した後の測定値を運動前と比較した。30%負荷の運動後では副交感神経活動指標に上昇を、60%では交感神経活動指標に上昇、副交感神経活動指標では低下を認めた。心理指標は、30%の運動後で、「不安・緊張」と「抑うつ」に低下を認めた。よって単回低強度運動負荷では、副交感神経活動の亢進がみられ、即時的な心理活性効果も有することが示唆された。

キーワード：自律神経、心理的効果、運動強度

はじめに

心機能改善を目的とした運動療法は、神経系、心理面に様々な効果を及ぼす。自律神経系では、交感神経緊張の抑制、副交感神経緊張の亢進をもたらすこと¹⁻³⁾、心理機能では、心疾患にしばしば合併する不安、抑うつ症状を軽減することも知られている⁴⁾。しかし、これらは短期あるいは長期的な継続的運動療法後に得られた知見によるものが多い。運動終了直後の自律神経応答に関しての研究はみられるものの⁴⁻¹¹⁾、即時的な副交感神経活動の亢進を確認した報告は、文献の渉猟に及ぶも認めなかった。同様に心理機能においても、即時的な陰性感情の軽減効果を検討した研究はみられるものの^{12,13)}、その運動方法などの詳細な点は十分に解明されたとはいえず、エビデンスの集積が必要である⁴⁾。このような効果は、継続してはじめて得られるのか、あるいは1回ごとに相応の効果が得られているのかは明確にされておらず、単回にても効果が確認されれば、運動療法が短期間あるいは1回であったとしても一定の効果が期待されると考える。そこで本研究では、健常者の心拍数により設定した、強度の異なる運動負荷直後における自律神経活動と、心理的活性効果を解析することにより生理面、心理面双方の視点から、単回の運動後に得られる効果を検証することを目的とした。

対象と方法**対象**

健常成人 19 名（男性 9、女性 10）で平均年齢は 20.4 (±0.6) 歳。被験者は、事前に調査について口頭、紙面にて説明を行い、参加の同意が得られた者とした。本研究は宝塚医療大学倫理委員会の承認を得て実施された（承認番号 1309091）。

評価指標

(1)自律神経活動指標：Akselrod らは、心拍変動のパワースペクトル解析による、周波数成分は、心臓自律神経機能を反映すると¹⁴⁾報告している。さらに周波数解析により算出した、High frequency（以下 HF）成分は副交感神経活動を、Low frequency（以下 LF）成分と HF の比（LF/HF）は、交感神経活動を反映することが明らかになっている^{5-7,15)}。本研究でも、マルチセンサー生理計測システム（Nexus4: Mind Media）にて測定した脈波を高速フーリエ変換後（ポイント数 1024、ハニング窓関数による）、周波数解析により Very low frequency（以下 VLF:0.0033～0.04Hz）成分、LF（0.04～0.15 Hz）成分、HF（0.15～0.4 Hz）成分として算出し、LF/HF を交感神経指標とした。また HF 成分値そのものは、自律神経活動全体の増減に影響を受ける可能性があるため、副交感神経活動のパワーバランスを把握しやすくするために、%HF（ $100 \times \text{HF}/(\text{VLF} + \text{LF} + \text{HF})$ ）を副交感神経活動指標として用いた¹⁶⁾。

(2)心理指標：日本語版 Profile of Mood States 短縮版（以下 POMS 短縮版）を用い、測定可能な気分の因子は、「不安・緊張」、「抑うつ」、「怒り・敵意」、「活気」、「疲労」、「混乱」であり、得点が高いほどその気分が大きいことを示す。各因子の得点は標準化得点の T-Score に換算した¹⁷⁾。気分が「健常」とされるのは、40～60 点で 68%がこの範囲にあるとされ、95%が 30～70 点の範囲となる¹⁷⁾。

(3)自覚的疲労感：修正 Borg Scale を使用した。

実験条件と測定手順

被験者には予め血圧、脈拍測定と体調に関する問診により健康状態を確認した。被験者は Nexus4 の端子を非利き手の第 II 指に装着し、指尖より脈波を 60 秒間測定した。運動様式は、自

転車エルゴメータ (R2600 HRT Ergometer Bike:Vision Fitness) によるペダリング運動とした。運動強度は、低～中強度の負荷が、心拍数を指標とした Karvonen 法により算出した強度の 30～60%未満に相当するため、30、60%の異なる強度を負荷する 2 群を設定し、以下の手続きを実施した。(i) 被験者は最初に 5 分間の安静をとり、脈波が安定していることを確認した。(ii) 心理指標として POMS 短縮版の記入を依頼した。(iii) 再び 90 秒の安静をとり、脈波を測定し(運動前の脈波とする)、まずウォームアップとして、エルゴメータのペダル負荷レベル 1(約 25W)にて、90 秒間のペダリング運動を開始した。ペダル回転数は、50rpm とした。ただし女性の被験者は、ウォームアップ中に、目標心拍数の 30%に達するものの存在が予測されたため、40rpm とした。(iv) 次にペダルの負荷レベルを 2 (約 30W) にし、1 分毎に、2 段階(約 10W/分)ずつ上げた。運動中、被験者の 9 名(男性 4、女性 5)は、Karvonen 法により算出した 30%、他の 10 名(男性 6、女性 4)は 60%の運動負荷となる心拍数が数秒間持続した時点で、ペダル負荷レベル 1 に戻し、90 秒間のクールダウンを行い運動終了とした。(v) 安静座位での脈波を測定し(運動後の脈波とする)、POMS 短縮版の記入の依頼、修正 Borg Scale を聴取した。

解析方法

運動前、運動後の 60 秒間の脈波から、心拍数と、上記方法による LF/HF、%HF の平均値を算出した。統計学的検討には、心拍数、自律神経活動指標では、独立変数を 30%、60%の運動強度と、その運動前後とし、従属変数を(1)心拍数、(2)LF/HF、(3)%HF とした。心理指標では独立変数を 30%、60%の運動強度と、その運動前後とし、従属変数を POMS 短縮版の各因子とし、2 要因の分割プロットによる分散分析を行い、交互作用が認められた項目に関しては単純主効果の検定を行った。修正 Borg Scale では Wilcoxon の順位と検定を用い、有意水準 5%未満にて比較した。統計解析ソフトは IBM SPSS Ver. 23 Advance Model を使用した。

結果

1. 心拍数と自律神経活動指標 (表 1)

(1) 運動強度と運動前後の心拍数：心拍数では運動強度の主効果、運動前後の主効果、交互作用すべて有意であった。[順に $F(1,17)=5.3$, $P<0.05$, $F(1,17)=178.7$, $P<0.01$, $F(1,17)=19.9$, $P<0.01$]。運動強度の単純主効果の検定では、30%、60%の双方の強度において有意であり[順に $F(1,17)=37.6$, $P<0.01$, $F(1,17)=167.8$, $P<0.01$]、ともに心拍数は運動前よりも運動後に有意に上昇した。

(2) 運動強度と運動前後の LF/HF : LF/HF について、運動強度の主効果、運動前後の主効果は有意ではなかったが、交互作用が有意であった [$F(1,17)=7.9$, $P<0.05$]。運動強度の単純主効果の検定では、60%の強度において有意であり [$F(1,17)=7.6$, $P<0.05$]、LF/HF は運動前よりも運動後に有意に上昇した。30%の強度においては、有意な変化ではなかったが、運動前よりも運動後に平均値は低下していた。

(3) 運動強度と運動前後の %HF : %HF について、運動強度の主効果、運動前後の主効果は有意ではなかったが、交互作用が有意であった。 [$F(1,17)=16.0$, $P<0.01$]。運動強度の単純主効果の検定では、30%、60%の双方の強度において有意であり[順に $F(1,17)=8.5$, $P<0.05$, $F(1,17)=7.5$, $P<0.05$]、%HF は 30%では運動前よりも運動後に有意に上昇、60%では有意に低下した。

2. 心理指標 (表 1)

(1) 運動強度と運動前後の「不安・緊張」：運動強度の主効果、運動前後の主効果は有意ではなかったが、交互作用が有意であった [$F(1,17)=5.3$, $P<0.05$]。運動強度の単純主効果の検定では、30%の強度においてのみ有意であり [$F(1,17)=9.1$, $P<0.01$]、「不安・緊張」は運動前よりも運動後に有意に低下した。60%の強度では有意な変化を認めなかった。

(2) 運動強度と運動前後の「抑うつ」：運動強度の主効果、交互作用の主効果は有意ではなかったが、運動前後の主効果は有意であった [$F(1,17)=11.56$, $P<0.01$]。よって「抑うつ」は運動前よりも運動後で低下した。

(3) 運動強度と運動前後の「怒り・敵意」、「活気」、「疲労」、「混乱」：各 4 因子について、運動強度の主効果、運動前後の主効果、交互作用すべて有意ではなかった。

Table 1. Comparison of different intensity exercise

	30% intensity		60% intensity	
	before	after	before	after
HR(bpm)	69.7(5.95)	87.0(10.00)**	70.1(8.86)	105.1(12.6)**
LF/HF	1.78(1.40)	1.20(1.19)	0.71(0.73)	1.90(2.03)*
%HF	26.4(16.4)	45.4(25.2)*	48.0(19.2)	30.1(16.0)*
POMS (T-score)				
tension-anxiety	43.0(10.8)	37.4(5.2)**	38.6(5.2)	38.9(6.0)
depression	44.8(7.1)	42.0(5.5)*	42.6(3.5)	41.8(3.4)
anger-hostility	39.1(3.8)	39.1(4.3)	38.1(1.9)	37.6(1.3)
vigor	35.1(7.8)	35.1(10.5)	40.6(13.9)	41.2(9.9)
fatigue	43.6(8.1)	41.8(6.1)	41.4(9.0)	45.8(7.5)
confusion	48.3(6.4)	49.6(10.5)	48.8(8.6)	47.7(9.9)
modified Borg Scale	3.0(3.3)		5.0(2.3)**	

Mean value (standard deviation) of parameters (heart rate, LF/HF, %HF, and scores of short form of the POMS) and median value (interquartile range) of parameters (scores of modified Borg Scale) are presented. The results of the comparison between before and after the exercise indicated that mean value of heart rate, and %HF were significantly difference at 30% and 60% exercise intensity and LF/HF was significantly difference at 60% exercise intensity. The results of the comparison between before and after 30% exercise intensity indicated the significant score changes of the short form of the POMS in the factor of tension-anxiety and depression. The results of the comparison between 30% and 60% exercise intensity indicated that median value of modified Borg Scale was significantly difference. HR: heart rate, POMS: Japanese version of the short form of the Profile of Mood States, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

3. 自覚的運動強度 (表 1)

30%と60%の運動強度の修正 Borg Scale を比較したところ、各々3, 5に相当し、両群間に有意差を認めた($P < 0.01$)。

考察

1. 自律神経活動

強度の異なる運動負荷直後にて、異なる自律神経活動が示された。60%負荷群においては、交感神経活動の亢進、副交感神経活動の抑制を認めたため、即時的な心負荷の増大が示唆された。一方で、30%負荷群においては、交感神経活動に変化がみられず、副交感神経活動は、運動前よりも運動後に亢進していた。継続的な運動療法による効果は、交感神経緊張の抑制、副交感神経の緊張の亢進をもたらす、自律神経系の機能障害の改善に有効であることが知られており、心疾患患者の持続的な交感神経活動の亢進による心不全の進展、重症不整脈の発生を防止する目的などで実施される¹⁻³⁾。しかしながら文献を渉猟するも、運動直後において、安静時や運動前に比し、運動後に、副交感神経活動が有意に亢進することを示した報告はみられなかった。本結果は、副交感神経活動において、単回軽度負荷運動にて得られる即時的な効果を示したもので、継続した運動療法のもの

たらず効果の基盤となっている可能性も推察される。また30%負荷群では、副交感神経活動の亢進を認めるものの、交感神経活動の抑制は認めなかった。一般に、軽度負荷の運動中に、交感神経活動の亢進を認めず、心拍数が上昇する機序については、血圧レベルは、筋肉ポンプによる静脈還流の増加と、応答の早い迷走神経活動の抑制による拍出量の増加で維持され、交感神経の緊張は関与しないとされる¹⁸⁾。よって軽度の負荷中、交感神経は関与せず、応答が早い副交感神経活動が抑制されており、心拍数が30%負荷に達した後のクールダウン中に、血圧は低く再設定され、速やかに副交感神経活動の亢進が心拍数減少に先んじて生じたと考えられる。したがって副交感神経活動は、運動負荷刺激によって、運動前よりも一時的に亢進した状態になったと考える。本結果のように運動終了後、副交感神経活動指標が、安静時より高値であったデータを記載している報告も存在するが^{5,6)}、有意差については検証されていない。もちろん負荷やクールダウンの方法、測定時間などにより異なる可能性があるが、副交感神経活動が、運動終了後の心拍数減衰応答過程で、一時的に安静時よりも亢進する期間の存在は推測される。

2. 心理的活性効果

30%負荷後には、「不安・緊張」、「抑うつ」に

改善を認め、即時的な心理活性効果も有することが示唆された。心理的活性効果のメタ分析によると、中等度の運動強度による継続的な運動は不安やうつに効果的であり、報告は少ないが一過性の運動においても不安軽減に対して効果があるとされている¹⁹⁾。気分の因子に注目した運動療法の、即時的効果については、心疾患患者において、2時間の運動療法実施後、不安の改善を認めたとする報告や¹²⁾、βブロッカー内服者にて運動療法後のPOMSは、「不安・緊張」、「抑うつ」に改善を認めた報告もあり²⁰⁾、本研究と改善した因子が一致した。よって本結果と併せて、単回の運動において、即時的に不安・緊張や抑うつの改善に効果的であると考えられ、副交感神経活動同様、継続した運動療法のもたらす効果の基盤となっている可能性も推察される。

これに対して、60%負荷群では「不安・緊張」、「抑うつ」の軽減効果は得られなかった。理由として、60%負荷が中等度運動負荷の上限にあたり、修正 Borg Scale の結果より 60%負荷群において 30%負荷群と比較して自覚的な疲労感があらわれていることや、上記のメタ分析での報告¹⁵⁾と異なり、運動時間も被験者によりさまざまであったため、軽減効果が得られなかったものとする。また「怒り・敵意」、「疲労」など、運動前の平均値が低い傾向にあり、もともとそれらの気分が少ないと思われ、運動によるさらなる有意な低下は認めにくい状況であったと思われる。しかしながら本研究では、心理的活性効果の得られる強度を、Karvonen 法による目標心拍数及び修正 Borg Scale を基準に用いたことが基礎的研究として意義深いと考える。

3. 今後の展望と本研究の限界

継続的運動療法によって得られる効果が、単回にても、一時的に得られている可能性が示唆された。しかし、本研究は複雑化を避けるため、目標心拍数に達した時の自律神経活動、心理状態の解明を目的とした基礎的研究であり、言及すべき限界が3点ある。1つ目は、健常若年者を対象としたことである。そのため、本研究の結果を高年齢者や心疾患患者に適用することが困難である。今後、このような対象者に対する研究が必要である。2つ目は、運動中に自律神経の測定を行わなかったことである。運動強度を心拍数で設定する場合、目標心拍数がある程度一定に維持しながら運動

を持続した場合の調査も必要となる。しかし心拍数を数分間一定に維持するようなペダル負荷の調整は困難であり、また詳細な予備実験から、周波数解析はエルゴメータなどの電動機器の影響を受けるため、運動中ではなく、一定負荷後の自律神経活動の検証にとどまった。3つ目は、各負荷群の安静時の自律神経活動の統制である。自律神経活動は、精神状態や気分のほか、前日の睡眠状況や、運動歴、月経周期等にも影響するため、厳密な統制はできていない。したがって臨床応用のための各個人に合わせた効果的な運動強度、継続時間の設定に関しては、更なる知見の蓄積が望まれる。

文献

- 1) 日本循環器学会ホームページ：日本循環器学会循環器病の診断と治療に関するガイドライン（2011年度合同研究班報告）心血管疾患におけるリハビリテーションに関するガイドライン（2012年改訂版）。<http://www.j-circ.or.jp/guideline/index.htm>（閲覧日 2015年6月1日）
- 2) Leon AS, Franklin BA, Costa F, et al.: Cardiac rehabilitation and secondary prevention of coronary heart disease. *Circulation* 111:369-376, 2005.
- 3) 福間長知, 林寛子, 加藤和代, 他：自律神経と心臓リハビリテーション—自律神経機能障害に対する介入を考える—。心臓リハビリテーション 16: 44-46, 2011.
- 4) 佐藤真治, 牧田茂, 樋田あゆみ：冠動脈疾患患者の運動後心拍数減衰応答(HRR)と圧受容器反射感受性(BRS)の関係。心臓 37: SUPPL.2: 24-25, 2005.
- 5) Mendonca GV, Fernhall B, Heffernan KS et al.: Spectral methods of heart rate variability analysis during dynamic exercise. *Clin Auton Res* 19: 237-245, 2009.
- 6) 正保哲, 洲崎俊男, 出口清喜, 他：karvonen法による運動負荷強度における生体反応。理学療法科学 26: 33-39, 2011.
- 7) 西田祐介, 樋渡正夫, 丸山仁司, 他：施設入所高齢者における低強度運動負荷時の心拍変動—周波数解析を用いた自律神経活動の評価—。理学療法学 33: 1-6, 2006.

- 8) Barak OF, Jakovljevic DG, Popadic Gacesa JZ, et al.: Heart rate variability before and after cycle exercises in relation to different body positions. *J Sports Sci Med.* 9(2): 176-182, 2010.
- 9) Martinmäki K, Rusko H: Time-frequency analysis of heart rate variability during immediate recovery from low and high intensity exercise. *Eur J Appl Physiol.* 102: 353-360, 2008.
- 10) Kaikkonen P, Nummela A, Rusko H: Heart rate variability dynamics during early recovery after different endurance exercises. *Eur J Appl Physiol.* 102: 79-86, 2007.
- 11) Imai K, Sato H, Hori M, et al.: Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 24(6): 1529-35, 1994.
- 12) 浜崎博, 青戸公一, 杉本寛恵, 他: 運動療法実施前後における精神・心理的効果についての検討. *心臓リハビリテーション* 8: 145-148, 2003.
- 13) Knapen J, Sommerijns E, Vancampfort D, et al.: State anxiety and subjective well-being responses to acute bouts of aerobic exercise in patients with depressive and anxiety disorders. *Br J Sports Med* 43: 756-759, 2009.
- 14) Akselrod S, Gordon D, Madwed JB, et al.: Hemodynamic regulation: Investigation by spectral analysis. *Am J Physiol* 249: H867-H875, 1985.
- 15) Pagani M, Lombardi F, Guzzetti S, et al.: Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circ Res* 59: 178-193, 1996.
- 16) 高田晴子, 高田幹夫, 金山愛: 心拍変動周波数解析の LF 成分・HF 成分と心拍変動係数の意義-加速度脈波測定システムによる自律神経機能評価-. *総合健診* 32: 13-20, 2005.
- 17) 横山和仁著: POMS 短縮版手引と事例解説. 金子書房, 2006.
- 18) 井上博(編集): 循環器疾患と自律神経機能 第2版. pp33-38, 医学書院, 2001.
- 19) 青木邦男: 運動の不安軽減効果及びうつ軽減効果に関する文献研究. *山口県立大学大学院論集* 3: 37-45, 2002.
- 20) Head A, Kendall MJ, Ferner R, et al.: Acute effect of beta blockade and exercise on mood and anxiety. *Br J Sports Med* 30: 238-242, 1996.