

Title	律動的掌握運動中の機能的交感神経遮断に及ぼす運動強度の影響
Author	渡辺, 一志 / 弘原, 海剛 / 渡辺, 完児 / 米山, 富士子 / 松永, 智 / 萩田, 亮
Citation	大阪市立大学保健体育学研究紀要. 37 卷, p.7-12.
Issue Date	2001
ISSN	0474-795X
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	Publisher
Publisher	大阪市立大学保健体育研究室
Description	

Placed on: 大阪市立大学学術機関リポジトリ

Placed on: Osaka City University Repository

律動的掌握運動中の機能的交感神経遮断に及ぼす運動強度の影響

渡辺 一志¹⁾、弘原海剛²⁾、渡辺完児³⁾、
米山富士子⁴⁾、松永 智¹⁾、荻田 亮¹⁾

Influence of exercise intensity to functional sympatholysis
during rhythmic handgrip exercise

Hitoshi Watanabe¹⁾, Tsuyoshi Wadazumi²⁾, Kanji Watanabe³⁾,
Fujiko Yoneyama⁴⁾, Satoshi Matsunaga¹⁾, Akira Ogita¹⁾

(平成13年11月30日受付)

Abstract

The present investigation was designed to examine if intensity of exercise influence functional sympatholysis during rhythmic handgrip exercise (RHG). Five men were instrumented for the measurement of muscle oxygenation by near infrared spectroscopy, heart rate and blood pressure. We measured total labile signal (TLS) to evaluate muscle oxygenation by circulatory occlusion for 5 or 6 minutes. Subjects performed RHG (20 times/min) for 6 minutes at 10%, 20%, and 30% of maximal voluntary contraction. We used nonhypotensive lower body negative pressure (LBNP) of -20mmHg to elicit reproducible increases in MSNA at rest and during RHG. Although LBNP caused a decrease in oxygenation at rest, when LBNP was applied during exercise the decrease in oxygenation was attenuated in some intensities of exercise. However, intensity of exercise at functional sympatholysis was not constant. The result of this study was that the constant threshold of exercise intensity to functional sympatholysis didn't exist during RHG. These findings suggest that cause of functional sympatholysis during RHG might be attributed to exercising muscle characteristics individually.

1) 保健体育科研究室 2) 流通科学大学
3) 大阪府立看護大学医療技術短期大学部 4) 神戸女子短期大学

【緒言】

運動時における活動筋への血流調節がいかになされているかということは、運動を遂行するために最も重要な循環生理における課題の一つであろう。生体の循環調節は、神経性および体液性の様々な機序によって、運動に適応して遂行されている。これまでに、律動的な末梢の運動中において、活動筋における交感神経性の血管収縮作用を減弱する作用（機能的交感神経遮断と呼ばれている）が働いていることが報告されている。¹⁾²⁾³⁾ 近年、Thomasらは、交感神経の電気刺激による血管運動の状態や血流を直接測定し、運動中の機能的交感神経遮断による血流調節がなされていることを動物実験により明らかにした。⁴⁾⁵⁾⁶⁾ Thomasらは、この機能的交感神経遮断には、ATP依存のカリウムチャンネル(K_{ATP})⁵⁾ や一酸化窒素⁶⁾ が介在していること。また、主として α_2 アドレナリン作動性血管収縮作用の減弱が働いていること⁷⁾ を報告した。一方、Hansenらは、近赤外線分光法を用いて、ヒトにおいてこの機能をとらえることを試み、ヒトの律動的掌握運動において機能的交感神経遮断の発現する閾値が、最大随意収縮の10%と20%の間にその強度が存在することを示唆した。⁸⁾ 我々も、最大随意収縮の30%強度の律動的掌握運動において、近赤外線分光法を用いて、機能的交感神経遮断の評価が可能であることを報告した。⁹⁾ 本研究では、近赤外線分光法を用いて、機能的交感神経遮断の発現に運動強度の閾値が存在するのかがどうか検討することを目的とした。

【方法】

1)被験者

被験者は、健康な成人男性5名で、平均年齢は35歳(25~40歳)であった。

2)測定項目

①心電図：双極誘導により心電図を導出し（日本光電AB-601G）、連続的に心拍数を測定した（日本光電AT601G）。

②血圧：自動血圧計（日本コーリンSTBP780）により1分毎に血圧を測定した。

③近赤外線分光法による筋内酸素化レベル：酸素モニター（浜松ホトニクスNIRO-300）を用いて、掌握運動の主働筋である総指屈筋⁹⁾の筋内酸素化レベルの動態を測定できるように左腕前腕にプローブを装着した。安静時に上腕部をマンシェットにより240mmHgで5~6分間、加圧し総変化量(TLS)を求め相対的变化として評価した。(図1)酸素化レベルの評価は、各設定条件のラスト10秒間の平均値をもって行った。

④掌握運動：運動には律動的掌握運動を採用した。採用した運動強度は、筋交感神経活動の亢進が認められない強度である最大随意収縮の10% (10% MVC)、20% (20% MVC)、30%(30% MVC)であった。¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾ 自作した掌握運動測定装置用い、メトロノームによる1分間に20回（収縮1.5秒、弛緩1.5秒）のテンポにて6分間の律動的掌握運動を、フォーストランスデューサー（共和電業TU-8）を介してオシロスコープ（IWATSUDS-8812）により運動強度をフィードバックさせながら行った。下半身陰圧負荷：交感神経性血管収縮作用を惹起させる方法として、動脈系の圧受容器に影響を及ぼさずに中心静脈圧だけを低下させて、心肺圧反射による交感神経性血管収縮作用を生じさせることができる - 20mmHgの下半身陰圧負荷（サンワ製、下半身陰圧装置WS630E）を採用した。¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾

3)実験手順

被験者は、ベッド上に仰臥位にて約10分間の安静の後、下半身陰圧負荷 (- 20mmHg) および律動的掌握運動を行った。下半身陰圧負荷の時間は2分間とした。律動的掌握運動は、各運動強度6分

間とし、運動中、2分目から4分目までの2分間、下半身陰圧負荷を加えた。

データは、すべてコンピュータに取り込み (Power Lab chart3.6) 分析した。

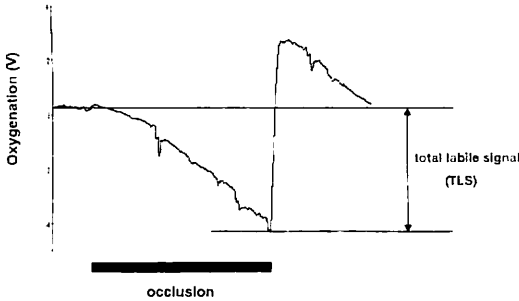


Figure 1. Segment of an original record showing recording of oxygenation by near infrared spectroscopy from forearm muscle. Complete forearm vascular occlusion for 6 minutes that was used to determine the total labile signal (TLS), indicated by arrow.

【結果および考察】

実験の測定結果の1例を図2に示した。Occlusionや下半身陰圧負荷によって筋内酸素化レベルが低下することが認められる。

運動による安静時の下半身陰圧負荷に対する、筋内酸素化レベルは、preとpostそれぞれにおいて安静時に比べ、平均でpreが-13.4% (-5.5~ -17.2%)、postが-19.2% (-8.9~ -30.9%)であった。これは、下半身陰圧負荷に伴って、心肺圧反射による交感神経性の血管収縮作用が亢進した結果であると考えられる。

各運動強度における運動中の下半身陰圧負荷に対する筋内酸素化レベルは、平均でそれぞれ、10% MVC運動強度時が、-10.6% (-7.0~ -16.0%)、20% MVC運動強度時が、-6.5% (4.6~ -14.8%)、30% MVC運動強度時が、-3.7% (1.9~ -15.3%)であった。平均値で捉えてみると、運動強度の増加に伴って、機能的交感神経遮断の発現が惹起される傾向にあるものと考えられる。

しかしながら、被験者毎に検討してみると、運動強度と機能的交感神経遮断の発現において、被験者に特有の特徴のあることが観察された。図3は、運動強度10% MVCにおける下半身陰圧負荷に対する筋内酸素化レベルの変化を示した一例である。10% MVC運動中のレベルに対して、下半身陰圧負荷を加えることによって、14.4% (TSLに対する相対値)の低下を示し、機能的交感神経遮断の発現が認められないことを示している。このようにそれぞれの運動強度について、被験者毎に下半身陰圧負荷に対する筋内酸素化レベルの変化をまとめたものが図4である。subj 5では、各運動強度における差異は認められず、安静時 (pre) と概ね同様の変化を示した。また、subj 2とsubj 4では、運動強度30% MVCにおいて顕著な機能的交感神経遮断の発現が認められ、その閾値が20% MVCから30% MVCの間にあることを示唆するものであった。subj 3では、運動強度の増加に伴って、機能的交感神経遮断が惹起される傾向が認められ、subj 1やsubj 3では、それぞれ、-17.2%から-7.0%、-14.5%から-7.7%と下半身陰圧負荷に対する、筋内酸素化レベル低下の減弱が認められ、運動強度10% MVCにおいてもある程度、機能的交感神経遮断が発現しうることが示唆されると考えられた。Hansenら⁹⁾は、5% MVC、10% MVCの低強度の律動的掌握運動においては、機能的交感神経遮断の発現は認められず、20% MVC、33% MVCの運動強度において発現 (安静時に比して筋内酸素化レベルの有意な低下抑制) することを報告している。今回の我々の研究結果は、律動的掌握運動における機能的交感神経遮断の発現に対する運動強度については、個人差が存在し、10% MVCと20% MVCの間に閾値が存在するというHansenらの報告とは異なったものであった。Thomasら⁹⁾は、腓腹筋とヒラメ筋を用いて、運動中の活動筋への血流調節において、遅

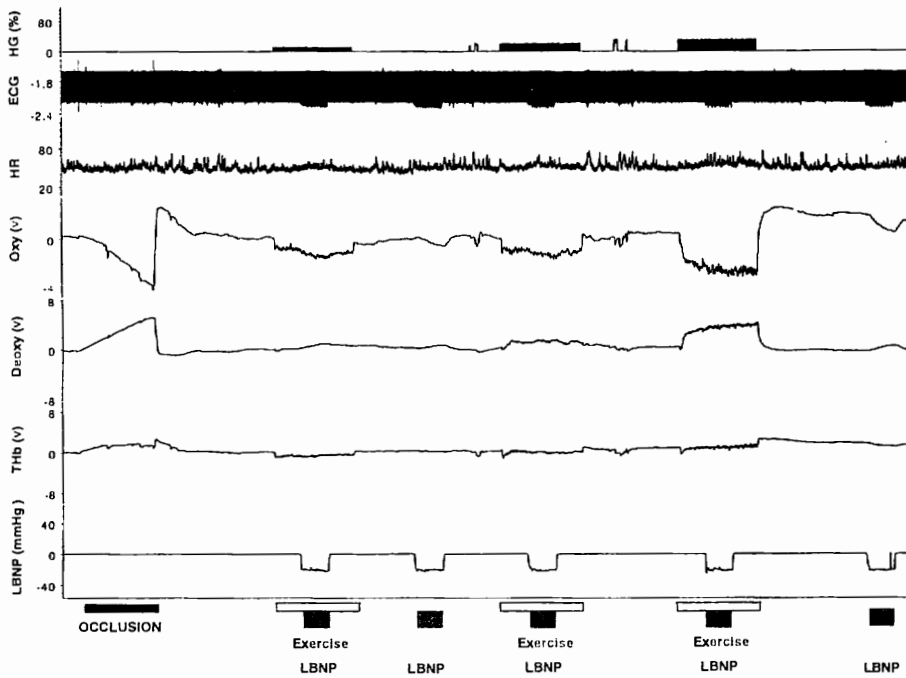


Figure 2. Changes in handgrip force at three intensity (10% MVC, 20% MVC, 30% MVC), electrocardiogram (ECG), heart rate (HR), oxygenation, deoxygenation, total hemoglobin (THb), lower body negative pressure (LBNP) (from the top to the bottom).

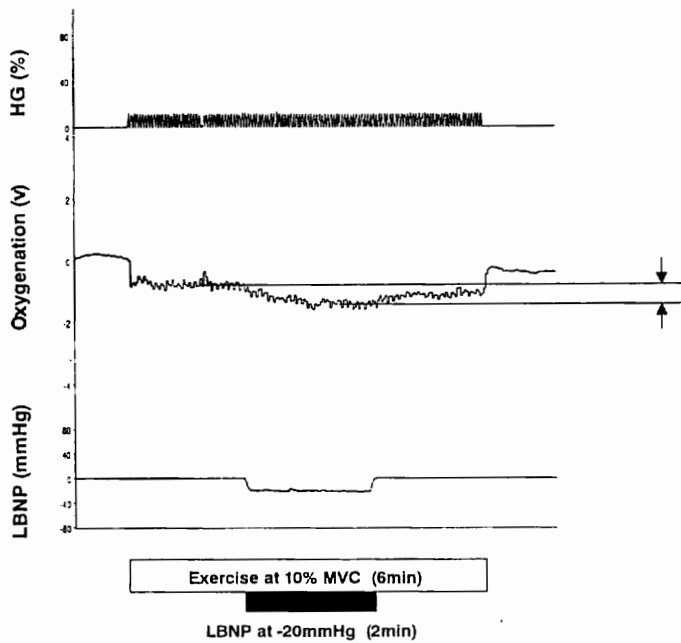


Figure 3. Changes in handgrip force at 10% MVC for 6 minutes, oxygenation, LBNP for 2 minutes (from the top to the bottom). Change in forearm muscle oxygenation in response to LBNP during rhythmic handgrip exercise at 10% MVC, indicated by arrow.

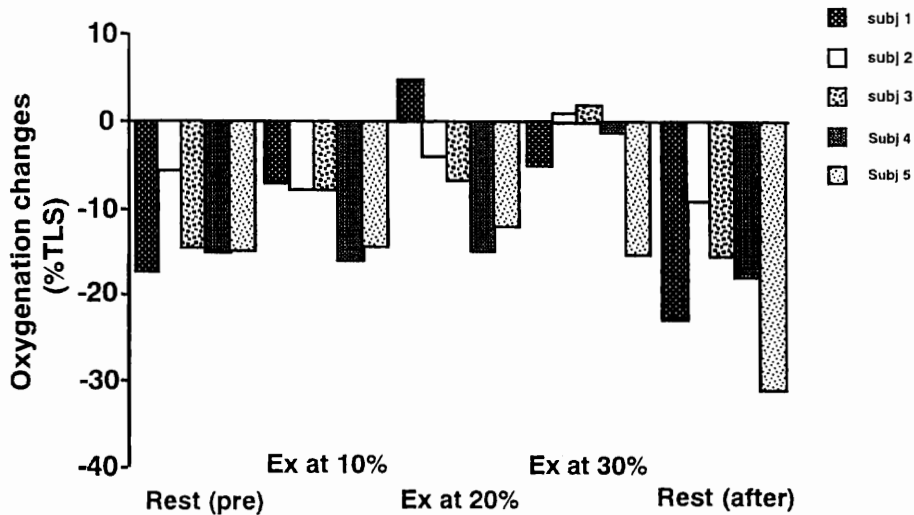


Figure 4. Summary data showing the changes in forearm muscle oxygenation in response to LBNP pre, during, and post rhythmic handgrip exercise at 10% MVC, 20% MVC, and 30% MVC. There was no change in response to LBNP at each intensity in subject 5. Functional sympatholysis produced at 30% MVC in subj 2 and subj 4. The important point to note is to produce functional sympatholysis even 10% MVC in subj 1 and subj 3.

筋線維（ヒラメ筋）よりも速筋線維（腓腹筋）における交感神経性血管収縮作用の減弱が、主として α_2 アドレナリン作動性血管収縮の減弱によって発現していることをラットによる動物実験によって明らかにした。

以上のことから、筋線維組成など活動筋の機能的な個人特性が律動的掌握運動時の機能的交感神経遮断の発現における運動強度に関与していることが推察された。また、活動筋からの代謝性因子によって惹起するとされる、ヒトにおける運動中の機能的交感神経遮断の発現は、解糖系代謝産物の産生に関与する筋線維組成などの影響を受けている可能性が示唆された。

【文 献】

- 1) Remensnyder J.P., Mitchell J.H., Sarnoff S.J.. Functional sympatholysis during muscular activity. *Circ Res.* 11: 370-380, 1962.
- 2) Hilton S.M., A periferal arterial conducting mechanism underling dilatation of the

femoral artery and concerned in functional vasodilatation in skeletal muscle. *J. Physiol.* 149: 93-111, 1959.

- 3) Hansen J, Sander M., Thomas D.G., Metabolic modulation of sympathetic vasoconstriction in exercising skeletal muscle. *Acta. Physiol. Scand.* 168: 489-503, 2000.
- 4) Thomas G.D., Hansen J., Victor R.G.. Inhibition alpha 2-adrenergic vasoconstriction during contraction glycolytic, not oxidative, rat hindlimb muscle. *Am. J. Physiol.* 266: H920-H929, 1994.
- 5) Thomas G.D., Hansen J., Victor R.G.. ATP-sensitive potassium channels mediate contraction-induced attenuation of sympathetic vasoconstriction in rat skeletal muscle. *J Clin. Invest.* 99: 2602-2609, 1997.
- 6) Thomas G.D., Victor R.G.. Nitric oxide mediates contraction-induced attenuation of sympathetic vasoconstriction in rat skeletal muscle. *J. Physiol.* 506: 817-826, 1998.
- 7) Hansen J., Thomas G.D., Harris S.S., Parsons W.J., Victor R.G.. Differential sympathetic neural control of oxygenation in resting and exercising human skeletal muscle. *J. Clin. Invest.* 98: 584-596, 1996.

- 8) 渡辺一志, Paul J. Fadel, Gail D. Thomas, Ronald G. Victor. 近赤外分光法による運動中の機能的交感神経遮断の評価, 日本生理人類学会誌, 6 (特別号)(2): 96-97, 2001.
- 9) Fleckenstein J.L., Watumull D., Bertocci L.A., Parkey R.W., Peshock R.M. Finger-specific flexor recruitment in humans: depiction by exercise-enhanced MRI. *J. Appl. Physiol.* 72: 1974-1977, 1992.
- 10) Saito M.. Different responses of muscle sympathetic nerve activity to sustained and rhythmic handgrip exercise. *Jpn. J. Physiol.* 36: 1053-1057, 1986.
- 11) Victor R.G., Seals D.R., Mark A.L.. Differential control of heart rate and sympathetic nerve activity during dynamic exercise. *J. Clin. Invest.* 79: 508-516, 1987.
- 12) Victor R.G., Bertocci L.A., Pryor S.L., Nunnally R.L.. Sympathetic nerve discharge is coupled to muscle cell pH during exercise in humans. *J. Clin. Invest.* 82: 1301-1305, 1988.
- 13) Victor R.G., Seals D.. Reflex stimulation of sympathetic outflow during rhythmic exercise in humans. *Am. J. Physiol.* 257: H2017-H2024, 1989.
- 14) Zoller R.P., Mark A.L., Abboud F.M., Schmid P.G., Heistad D.D.. The role low pressure baroreceptors in reflex vasoconstrictor responses in man. *J. Clin. Invest.* 51: 2967-2972, 1972.
- 15) Johnson J.M., Rowell L.B., Niederberger M., Eisman M.M.. Human splanchnic and forearm vasoconstrictor responses to reductions of right atrial and aortic pressures. *Circ. Res.* 34: 515-524, 1974.
- 16) Victor G.R., Leimbach Jr. W. N.. Effects of lower body negative pressure on sympathetic discharge to leg muscles in humans. *J Appl. Physiol.* 63: 2558-2562, 1987.
- 17) Jacobsen T. N., Morgan B.J., Scherrer U., Vissing S.F., Lange R.A., Johnson N., Ring W.S., Rahko P.S., Hanson P., Victor R.G.. Relative contributions of cardiopulmonary and sinoaortic baroreflexes in causing sympathetic activation in the human skeletal muscle circulation during orthostatic stress. *Circ. Res.* 73: 367-378, 1993.