健常成人による反復起立運動に伴うダブルプロダクト ならびに心拍数の変化とBorg指数との関係

*Relationship between the Borg Scale and Changes in Heart Rate and the Double Product
after Repeated Standing Exercise Performed by Healthy Adults*

大槻 桂右^{1,2)} 鈴木 哲³⁾

KEISUKE OHTSUKI, RPT, PhD^{1,2)}, TETSU SUZUKI, RPT, MS³⁾

¹⁾ Harvest Medical Welfare College: 91-6 Minamiekima-cho, Himejishi, Hyogo, 670-0962, Japan.
TEL +81 79-224-1777 FAX +81 79-224-1779

²⁾ Kinoko Geriatric Health Services Facility

³⁾ Kasaoka Daiichi Hospital

Rigakuryoho Kagaku 26(2): 247-250, 2011. Submitted Sep. 22, 2010. Accepted Nov. 24, 2010.

ABSTRACT: [Purpose] We analyzed the relationships among the Borg scale, double product (DP), heart rate (HR) and systolic blood pressure (SBP) at 60%, 70% and 80% maximum heart rate (HRmax) induced by repeated standing exercise. [Subjects] The subjects were 18 healthy adults (average age of 27.0 years, 10 men and 8 women). [Method] After 5 min rest in the sitting position, subjects performed repeated standing exercise to achieve heart rates of 60%, 70% and 80% HRmax. HR, DP and SBP were measured. [Results] A significant relationship was found between the Borg scale and DP at all of the heart rates, but no significant relationship was found between HR and the Borg scale. [Conclusion] We discovered that in repeated standing exercise, the Borg scale and HR are not necessarily in agreement. The results suggest that, when conducting repeated standing exercise, rather than undertaking risk management using the relationship between the Borg scale and HR alone, it is necessary to follow the changes in DP for the risk management of exercise therapy.

Key words: repeated standing exercise, double product, Borg scale

要旨:〔目的〕反復起立運動によって最大心拍数 (maximum heart rate; HRmax) の60% (60%HRmax), 70% (70% HRmax), 80% (80%HRmax) 到達時のBorg指数と二重積 (double product; DP) ならびに心拍数 (heart rate; HR), 収縮期血圧 (systolic blood pressure; SBP) との関係を分析することである。〔対象〕健常成人18名 (年齢27.0歳, 男性10名, 女性8名) とした。〔方法〕5分間の安静椅子座位後, 60%, 70%, 80%HRmaxに到達するまで反復起立運動を実施した。計測指標はHR, SBP, DPとした。〔結果〕60%, 70%, 80%HRmax到達時のBorg指数とDPとの間には有意な相関が認められたが, HRはBorg指数の間に有意な相関は認められなかった。〔結語〕反復起立運動では, 必ずしもHRとBorg指数が一致するとは限らないことがわかった。反復起立運動を実施する場合, HRとBorg指数との関係のみでリスク管理を行うのではなく, DPの変化も捉えて運動療法に伴うリスク管理を検討する必要性が示唆された。

キーワード: 反復起立運動, ダブルプロダクト, Borg指数

¹⁾ ハーベスト医療福祉専門学校: 兵庫県姫路市南駅前町91-6 (〒670-0962) TEL 079-224-1777 FAX 079-224-1779

²⁾ きのこ老人保健施設 リハビリテーション部

³⁾ 笠岡第一病院

I. はじめに

反復起立運動は、低い運動耐容能に適した負荷試験として、その有用性が報告されている^{1,2)}。反復起立運動は自主的にも可能な運動療法であるため、在宅や病棟内での自主トレーニングの一環として、本人もしくは家族に指導している。当然、対象者に運動負荷を課すため、負荷量の設定が必要となってくる。厳密な負荷量の設定には、酸素摂取量を中心とする呼吸ガス分析が必要であるということはいままでの間でもないが、在宅分野へと広がりを見せる理学療法において、リアルタイムな呼吸ガス分析は困難と思われる。そのため、一般的に運動負荷試験を実施する場合、運動負荷量は実施回数だけでなく、心拍数 (Heart Rate; HR) や Borg 指数^{3,4)}を代用して、運動負荷量の目安として用いて決定している。特に、漸増運動中のHRは酸素摂取量と有意な相関関係にあるため、信頼ある指標として、広く一般的に用いられている⁵⁾。具体的に、HRを運動負荷量として用いる場合、最大心拍数 (Maximum Heart Rate: HRmax) を求め (220 - 年齢)、その60もしくは70% (60%もしくは70%HRmax) 程度を目標心拍数、すなわち運動負荷量として設定することが多い^{5,6)}。一方、Borg指数は自覚的運動強度を表す指標であり、一般的に疲労度を示す。健康者ではBorg指数の10倍がHRに相当する⁴⁾。Borg指数が心拍数と良好な相関関係があるため、Borg指数の12～13 (ややきつい) は呼吸ガス分析で求めた無酸素性作業閾値にあたりとされ、有酸素性運動を実施する際の目安として、HRと合わせて、理学療法の臨床場面でも幅広く用いられている⁵⁾。しかし、目標心拍数やBorg指数は、あくまで運動負荷量の目安であるため、運動負荷中のHRとBorg指数が、必ずしも一致するとは限らない。さらに、二重積 (Double Product; DP) は心筋の酸素消費量と強い相関を示し、漸増する運動に対して指数関数的に上昇するため、運動中における心臓の負担度を間接的に推測する指標として利用されている⁷⁾。特に二重積は、漸増運動負荷中に変曲点をもち、その変曲点が無酸素性作業閾値と、良好な相関関係があることがわかっているため、呼吸ガス分析に次いで、客観性の高い指標であるといわれている。しかし、我々、理学療法士にとって重要な介入手段とされる反復起立運動における運動負荷量の目安として用いているBorg指数とHR、DPとの関係に着目した研究は見当たらない。

本研究の目的は健康成人を対象として、反復起立運動に伴う60%、70%、80%HRmax到達時のBorg指数とHR、SBPならびにDPとの関係を分析することで、運動負荷量を設定する際の補助とすることである。

II. 対象と方法

1. 対象

健康成人18名 (年齢27.0 ± 5.0 歳, 身長164.1 ± 9.2 cm, 体重54.3 ± 13.3 kg, BMI19.9 ± 3.4; 平均 ± 標準偏差, 男性10名男性, 女性8名) を対象とした。さらに研究はヘルシンキ宣言に沿って行い、研究の趣旨を対象者本人に十分に口頭説明し、同意を文章にて得ている。

2. 方法

反復起立運動は、窪田ら¹⁾の反復起立運動の方法を参考に一部、修正を加えて使用した。HRmaxは「220 - 年齢」の式にて算出した。循環指標は収縮期血圧 (Systolic blood pressure; SBP)、心拍数 (Heart rate; HR)、二重積 (double product; DP, DP = SBP × HR)、とした。安静時のSBP, DPは椅子に座った状態で、左の上腕動脈からデジタル自動血圧計 (ファジィ HEM700) を用いて測定した。運動中のHRは耳朶式脈拍計 (Monark社製 Monark Rehab Trainer 881) を用いて、30秒ごとに計測した。HRmaxの60%、70%、80%到達時にアラームが鳴るように設定した。Borg指数は、原法⁴⁾の5 (最高に楽である) から20 (最高にきつい) までの数値と内容を示したものを使用した。反復起立運動の中止は、途中で中止の申し出があった時、もしくは80%HRmax到達時とした。安静時から60%、70%、80%HRmax到達時のHR, SBP, DPの変化率を求めた。変化率は変化率 = (変化後 - 変化前) ÷ 変化前の式にて算出した。HR, SBP, DPの変化率を運動負荷に対する間接的な心臓への負担の目安とした。なお、変化前の値は安静時のHR, SBP, DPを用いて算出した。

反復起立運動の環境設定と負荷方法は、椅子の高さは43 cmとし、支持物の高さは76 cmとした。椅子と手すりの距離は任意の立ち上がり安い距離とした。運動負荷プロトコールは5分間安静椅子座位の後、60%HRmaxまで運動し、5分間安静椅子座位をとりながらSBP, DP, HRを測定した。その後、さらに70%HRmax, 80%HRmaxまで運動を実施した。メトロノームの音に合わせて、5秒に1回の反復起立を指示した。坐位姿勢は椅子に殿部が接地した時とし、立位は股関節伸展0°, 膝関節が完全伸展位となった時点とした。確認は検査者が目測にて行った。

統計解析は解析ソフトSPSS Student Version 13.0Jを用いた。60%、70%、80%HRmax到達時点のBorg指数とSBP, HR, DPとの間の関係をピアソンの積率相関係数にて解析した。5%未満を有意とした。

表1 安静時のSBP, HR, DPおよび目標心拍数到達時のBorg指数とSBP, DP, HRとの関係

循環指標	安静時	60%HRmax	70%HRmax	80%HRmax
HR (beats/min)	63.3 ± 6.8	117.2 ± 4.8 (76%)	136.4 ± 4.4 (105%)	149.6 ± 5.2 (135%)
SBP (mmHg)	110.9 ± 10.2	115.8 ± 3.4 (17%)	142.3 ± 8.6 (28%)	154.2 ± 4.6 (35%)
DP (× 10 ³) beat × mmHg	7.3 ± 1.0	15.2 ± 1.1 (107%)	19.4 ± 1.2 (163%)	23.3 ± 1.2 (216%)
Borg指数		13.3 ± 0.5	15.2 ± 0.8	17.5 ± 0.5

Heart rate; HR. Systolic blood pressure; SBP. Double product; DP

表2 Borg指数とSBP, HR, DPとの相関関係

	60%HRmax	70%HRmax	80%HRmax
SBP	0.41	0.64*	0.44
HR	0.20	0.16	0.37
DP	0.50*	0.67*	0.54*

Heart rate; HR. Systolic blood pressure; SBP.
Double product; DP

III. 結 果

60%, 70%, 80%HRmax へと運動負荷量が増加するにしたがって, Borg 指数ならびに HR, DP は直線的に増加したが, SBP は 70%HRmax 以降に著明な上昇が認められた. 一方, 安静時から 60%, 70%, 80%HRmax 到達時の循環指標の変化率は DP, HR, SBP の順に変化率が大きく, 最も DP は著明な増加を示した (表1).

60%HRmax 到達時の Borg 指数と DP の間に有意な相関が認められた. 70%HRmax 到達時の Borg 指数と SBP, DP との間に有意な相関が認められた. 80%HRmax 到達時の Borg 指数と DP との間に有意な相関が認められた. しかし, HR と Borg 指数との間には有意な相関は認められなかった (表2).

IV. 考 察

反復起立運動によって 60%, 70%, 80%HRmax 到達時の Borg 指数と HR との間には有意な相関は認められなかったが, DP との間に有意な相関が認められた. また, 70%HRmax 到達時以外の Borg 指数は SBP との間にも有意な相関が認められなかった. 一般的に運動時における SBP の増大の要因として, 筋ポンプ作用や換気亢進に基づく吸気時胸腔内圧低下による静脈還流の増加, 交感神経緊張による心拍出量の増加などがあげられる. 反復起立動作を筋電図で分析すると, 大腿四頭筋の筋活動だけでなく, その他股関節屈筋群や腹筋群が参加することが報告されており⁸⁾, バルサルバの影

響を強く受けるとものと推察される. その結果, 反復起立運動によって得られた 70%HRmax 到達時の Borg 指数と増加した SBP との間に有意な相関を認めたのではないかと考えられる. しかし, なぜ 70%HRmax 到達時のみに Borg 指数と SBP との間に有意な相関関係が認められたのか, 不明であり, 今後の課題としたい. HR が Borg 指数を反映しやすい運動負荷は自転車エルゴメーターやトレッドミルなどの漸増運動負荷試験, ウォーキングなどの有酸素性運動を用いた場合が多い^{3,4)}. しかし, 本研究で行った反復起立運動は, 単純な立ち座りの繰り返し運動であるが, 下肢筋だけでなく, 姿勢安定制御のために体幹筋も動作に参加する. そのため身体的負荷は自転車エルゴメーターより強く, HR が Borg 指数を反映しにくかったのではないかと推測される. また, Borg 指数は DP との間に有意な相関が認められた. DP は心筋の酸素消費量と強い相関を示し, 漸増する運動に対して指数関数的に上昇することから, 運動中における心臓の負担度を間接的に推測する指標として利用されている⁷⁾. DP は運動に伴い著明な増加を示すことが報告されている⁷⁾. 本研究においても, 安静時から 60%, 70%, 80%HRmax 到達時の DP の変化率はそれぞれ約 107%, 約 163%, 約 216%であり, HR や SBP よりも著明な増加を示した (表1). さらに DP は Borg 指数との間に有意な相関が認められた. 反復起立運動における運動負荷量の目安として用いた Borg 指数は DP を反映しやすい運動方法である可能性が示唆された.

反復起立運動は, 低い運動耐容能に適した運動方法として, 有用性が報告されている. しかし本研究結果より, 反復起立運動では, 必ずしも HR が Borg 指数を反映するとは限らないことがわかった. Borg 指数もあくまでも目安の一つであると考えられるため, Borg 指数や HR のみを指標として, 反復起立運動を継続することは好ましくないとと思われる. また起立回数が増えると, 心血管への負担が著明に増加するため, HR と Borg 指数との関係のみでリスク管理を行うのではなく, DP の変化も捉えて運動療法に伴うリスク管理を検討する必要性が示唆された.

引用文献

- 1) 窪田俊夫, 花田 実, 山口恒弘: 脳血管障害片麻痺の運動負荷テストとその臨床応用について. 総合リハ, 1981, 9(10): 811-818.
- 2) 大隅秀信, 緒方 甫, 美津島隆: 脳卒中片麻痺に対する AT 決定のための運動負荷方法としての反復起立動作の検討. リハビリテーション医学, 1994, 31(3): 165-171.
- 3) Borg G: A general scale to rate symptoms and feeling related to problems of ergonomic and organizational importance. G Ital Med Lav Ergon, 2008, 30(1 Suppl): A8-A10.
- 4) Borg C: Perceived exertion as an indicator of somatic stress. Scand J Rehabil Med, 1970, 2(2): 92-98.
- 5) Hofmann P, Pokan R, Preidler K, et al.: Relationship between heart rate threshold, lactate turn point and myocardial function. J Sports Med, 1994, 15(5): 232-237.
- 6) 大宮一人, 伊藤春樹: 心不全運動療法の適応と禁忌. J Clin Rehab, 2002, 11(1): 26-31.
- 7) Riley M, Maehara J, Porszasz, et al.: Association between the anaerobic threshold and the break-point in the double product/work rate relationship. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1997, 75(1): 14-21.
- 8) 上杉 睦, 秋山純和: 下肢の荷重配分が反復起立動作時の酸素摂取量, 心拍数に与える影響. 理学療法科学, 2005, 20(2): 139-142.