

自転車エルゴメーターを用いた有酸素運動におけるボルグスケール評価

川原二千夏¹⁾ 三牧遼平¹⁾

指導教員：大川裕行

要旨 目的：修正ボルグスケール、旧ボルグスケールの主観的運動強度評価としての活用方法を比較検討した。方法：15名の大学生（男性8名、女性7名）を対象とし、無作為に「修正ボルグスケールを使用する群」（A群）と「旧ボルグスケールを使用する群」（B群）に分けた。A群、B群ともに運動強度に対する心拍数および主観的な下肢疲労を各被験者に自転車エルゴメーターを用いた有酸素運動を行わせ、修正・旧ボルグスケールを用いて主観的運動強度を調査した。各被験者には、十分な安静を取らせ、安静時の心拍数を記録した。その後、自転車エルゴメーターを用いて20W、40W、60W、80W、100Wの運動を回転数50rpmで各3分間行わせ、各運動終了前30秒間の平均心拍数を記録した。A群5名には修正ボルグスケール、B群10名には旧ボルグスケールを用いて数字と言葉で主観的運動強度（全身疲労）を聴取した。併せて、下肢の筋疲労に関する主観的運動強度（下肢疲労）も聴取した。その後、両群において各運動強度での心拍数と修正・旧ボルグスケール、カルボーネン法を用いて求めた各運動強度での%HRRの平均値を算出した。次に、各運動強度での心拍数とボルグスケールの関係および各運動強度と%HRRの関係を検討した。また、各ボルグスケールと心拍数の関係、全身疲労と下肢疲労の各ボルグスケールの相関係数を求め、2つの相関係数の差の有意性判定を行った。結果：A群の心拍数と修正ボルグスケールの相関係数は $r=0.71$ 、全身疲労と下肢疲労の相関係数は $r=0.95$ 、B群の心拍数と旧ボルグスケールの相関係数は $r=0.89$ 、全身疲労と下肢疲労の相関係数は $r=0.96$ であり、いずれの関係にも有意差は認められなかった。運動強度と%HRRの関係では、B群よりA群のバラツキが大きかった。結語：修正ボルグスケール、旧ボルグスケールともに運動強度に対する心拍数および主観的な下肢疲労を反映し、両スケールに差はなかった。

キーワード：有酸素運動、自転車エルゴメーター、ボルグスケール

I. はじめに

主観的運動強度（rating of perceived exertion：RPE）とは、Borg G.によって開発された身体作業強度に対する自覚強度を表す指標である¹⁾。Borg²⁾³⁾は、身体作業強度に対する感覚的な自覚強度は、心拍数（heart rate：HR）や酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）と同様に重要な指標であることを指摘し、1962年に21段階のスケールを開発した。さらに、1970年には、6から20までの15段階のRPEを発表した。日本では、1976年に小野寺ら⁴⁾がBorgのスケールを日本語訳し、主観的

運動強度として報告したものが一般に使用されている。これは、15段階のスケール（旧ボルグスケール）は数値の10倍がおよその心拍数であることから、心疾患などを対象にした研究ではよく用いられている。しかし、呼吸器疾患を有する症例の心拍数が旧ボルグスケールを用いた主観的運動強度と相関しないことがしばしばみられた。その問題を解決するため、Borg³⁾は、1982年により簡単でVisual Analog Scale（VAS）としての要素が強い0から10に0.5を加えた12段階で評価するようにしたRPE（修正ボルグスケール）を報告し

受付日：令和4年11月11日、採択日：令和4年12月5日

1) 西九州大学 リハビリテーション学部
リハビリテーション学科 理学療法専攻

た. 修正ボルグスケールは, Category-Ratio Scale (CR-10) とも呼ばれている. 修正ボルグスケールは動脈血酸素飽和度や血中乳酸濃度を反映したものになっており, 運動時の息切れの評価に向いているとされている⁵⁾.

1970年に Borg²⁾の研究で, 心拍数と旧ボルグスケールには高い相関が認められており, 2007年の中村ら⁵⁾の報告では, 修正ボルグスケールは末梢の疲労と高い相関があることが報告されている. そのため, 今回, 有酸素運動での運動強度に応じた心拍数と末梢の疲労に対する修正ボルグスケール・旧ボルグスケールの関係を比較・検討した. さらに, 各運動強度と%HRRの関係も確認した.

II. 方法

1. 対象

対象者は, N大学生の男性8名, 女性7名の計15名とした(表1).

2. 方法

各被験者には測定実施1ヵ月前からの運動習慣の有無を聴取した. その後, 十分な安静を取らせて安静時の心拍数を記録した. 次に, 自転車エルゴメーター(AERO BIKE 75XLII, COMBI社製)を用いて20W, 40W, 60W, 80W, 100Wの運動を各3分間行わせ, 安静時および各運動強度の終了前30秒間の平均心拍数をベッドサイドモニター(BSM-2401, NIHON KOHDEN社製)を用いて記録した. 自転車エルゴメーターの駆動に際して, サドルの高さは被験者の訴えに応じて設定した. また, 自転車エルゴメーターのペダルの回転数は50rpmに維持させた. 運動中止基準は志鎌ら⁶⁾の方法に準じて, ペダルの回転数50rpmを維持できなくなった時, 被験者が中止を訴えた時とした. また, 各被験者の心拍数が予測最大心拍数(220-年齢)の90%に到達した時とした.

安静時および各運動強度での運動終了直前にA群5名には修正ボルグスケール(0~10), B群10名には旧ボルグスケール(6~20)を見せて, 数字と言葉でRPEを聴取した. この際, 呼吸に関する疲労度を全身疲労として修正・旧ボルグスケールで聴取し, それとは別に下肢の筋疲労度を下肢疲労として修正・旧ボルグスケールで聴取した.

その後, 各運動強度で得られた心拍数と各ボルグスケール, カルボーネン法を用いて求めた%HRRと運

動強度の関係を確認した. また, 各ボルグスケールと心拍数の関係, 全身疲労と下肢疲労に関する各ボルグスケールをSpearmanの相関係数で比較し, さらに2つの相関係数の差の有意性判定を行った. Spearmanの相関係数は, SPSS(ver.28)を用いて求め, 有意水準5%とした. 2つの相関係数の差の有意性判定はMS Excelを用いて行い, 有意水準5%とした.

なお, 各被験者には事前に十分な説明を行い, 同意を得た上で行った.

III. 結果

全被験者15名には20W~100Wの運動を指示した. しかし, A群2名の被験者が中止を訴えたため最大負荷の100Wを行う前で運動を中止した.

測定実施1ヶ月前からの運動習慣がある被験者は, A群に2名, B群に1名であった.

両群において各運動強度の心拍数とボルグスケール, %HRRの平均値を表2, 表3に示す. 次に, 両群の心拍数とボルグスケールの関係を図1, 図2, 運動強度と%HRRの散布図を図3, 図4に示す.

A群の心拍数と修正ボルグスケールの相関係数は r

表1 各群の年齢, 身長, 体重の平均値(±SD)

	A群	B群
男:女	3:2	5:5
年齢	20.0±1.0歳	20.0±1.0歳
身長	172.0±8.0cm	164.3±4.1cm
体重	66.4±18.5kg	61.8±7.1kg
運動習慣	あり2名	あり1名

表2 A群の各運動強度の心拍数と修正ボルグスケール, %HRRの平均値

運動強度	HR	全身疲労	下肢疲労	%HRR
安静時	81.2	0	0	0
20W	107.2	0.5	1.2	22.2
40W	122.8	1.4	2.6	35.0
60W	140.0	3.3	4.4	49.8
80W	148.0	6.0	7.2	56.4
100W	148.3	5.3	7.0	57.0

表3 B群の各運動強度の心拍数と旧ボルグスケール, %HRRの平均値

運動強度	HR	全身疲労	下肢疲労	%HRR
安静時	88.4	6.0	6.0	0
20W	90.9	7.0	7.4	17.4
40W	105.7	10.6	10.9	28.5
60W	123.7	12.6	13.0	42.0
80W	145.0	15.7	16.7	58.1
100W	161.3	17.0	18.2	70.6

=0.71 ($p<0.01$), B群の心拍数と旧ボルグスケールの相関係数は $r=0.89$ ($p<0.01$)であった。各ボルグスケールと心拍数の関係の相関係数に有意差は認められなかった ($z=-0.67$, $p=1.50$)。

また、全身疲労と下肢疲労の各ボルグスケールの関係は、修正ボルグスケールでは $r=0.95$ ($p<0.01$),

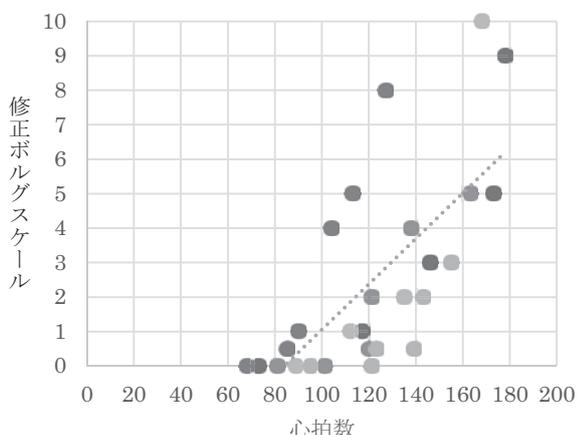


図1 A群(修正ボルグスケール)の心拍数とボルグスケールの関係

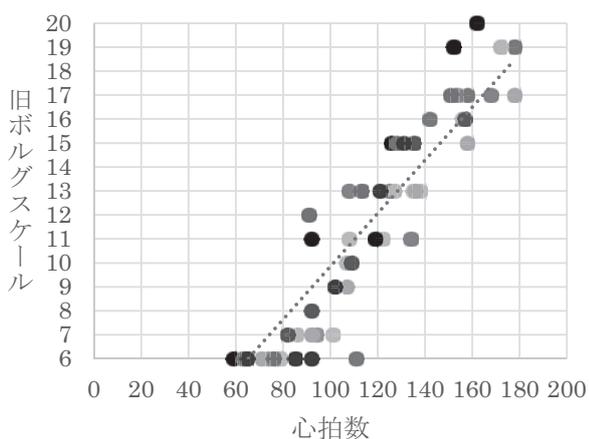


図2 B群(旧ボルグスケール)の心拍数とボルグスケールの関係

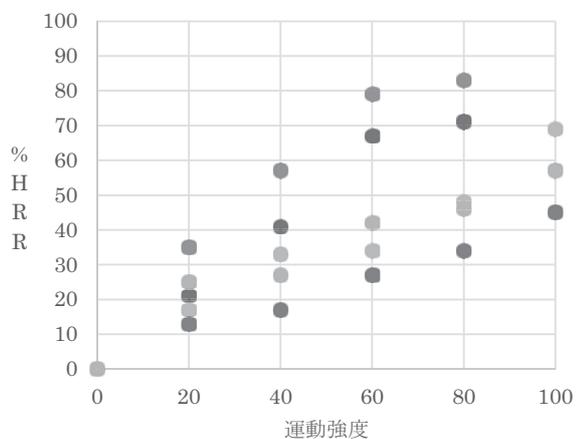


図3 A群(修正ボルグスケール)の運動強度と%HRRの関係

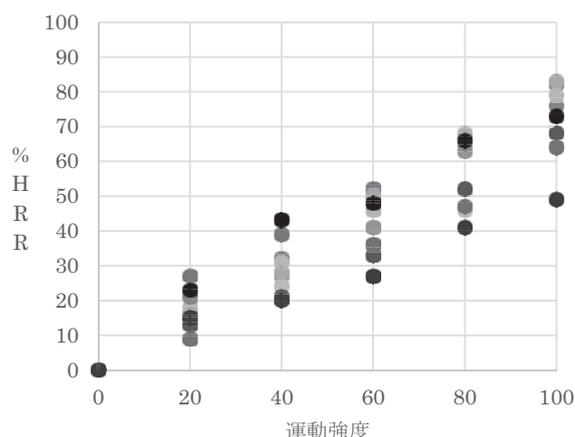


図4 B群(旧ボルグスケール)の運動強度と%HRRの関係

旧ボルグスケールでは $r=0.96$ ($p<0.01$)であり、両者に差は認められなかった ($z=-0.14$, $p=1.11$)。

運動強度と%HRRの散布図では、B群に比べてA群の方のバラツキが大きかった(図3, 4)。

IV. 考 察

今回、修正ボルグスケール、旧ボルグスケールの主観的運動強度評価としての活用方法を自転車エルゴメーターを用いた有酸素運動と比較検討した。

運動強度と各ボルグスケールの関係について、A群(修正ボルグスケール)では、安静時から80Wにかけては運動強度が上がるにつれて、ボルグスケールの数値も比例して増加したが、80Wから100Wにかけてボルグスケールの数値は下がっていた(表2, 図3)。一方、B群(旧ボルグスケール)では、運動強度とボルグスケールの数値が比例して増加している(表3, 図4)。その理由としてA群には、100Wまで運動を実施できていない被検者が2名いたことが原因と考えられる。一方、B群では全被検者が100Wまでの運動を完遂できたため、運動強度に応じたボルグスケールの上昇に両群で差異が生じたと考えられる。

次に、心拍数と各ボルグスケールの関係については、修正ボルグスケールと心拍数の相関係数は $r=0.71$ ($p<0.01$)、旧ボルグスケールと心拍数の相関係数は $r=0.89$ ($p<0.01$)であり、2つの相関係数に有意差はなかった ($z=-0.67$, $p=1.50$)。しかし、修正ボルグスケールよりも旧ボルグスケールの相関係数が高かったことから、心拍数に対しての感度は修正ボルグスケールと比べて旧ボルグスケールの方が高いことが確認できた。これは、旧ボルグスケールは数値の10倍がおよその心拍数であるというBorgの報告³⁾と一致

する結果となった。

さらに、全身疲労と下肢疲労の関係では、修正ボルグスケールの相関係数が $r=0.95$ ($p<0.01$)、旧ボルグスケールの相関係数が $r=0.96$ ($p<0.01$) という結果になり、2つの相関係数に有意差はなかった ($z = -0.14$, $p=1.11$)。このことから、修正ボルグスケールも旧ボルグスケールも下肢疲労に関する訴えは全身疲労を反映しており、感度は同等であることが確認できた。また、修正ボルグスケールは動脈血酸素飽和度や血中乳酸濃度を反映した息切れや末梢系疲労の指標になるという中村らの報告⁵⁾も理解できる結果となった。

最後に、運動強度と%HRRの関係について、B群に比べA群の方が%HRRのバラツキが大きかった。その理由として、A群で確認された100Wまで完遂できていない被検者の2名がグラフの上方に位置していたためだと考えられる。運動習慣があると答えた人はA群が約40%、B群が約10%だったが、運動習慣の有無による差は認められなかった。

今回の結果から、修正・旧ボルグスケールともに有酸素運動における心拍数変化と下肢疲労を反映していることが確認できた。中村ら⁵⁾によると、修正ボルグスケールは、実際の臨床現場では、運動時の息切れや末梢の疲労度の評価として用いられている。また、修正ボルグスケールはVASの要素も含んでいる²⁾ため、今回は特に、有酸素運動時の下肢疲労の指標としての感度に着目した。しかし、今回の結果、修正・旧ボルグスケールの全身疲労と下肢疲労の相関係数に有意差が無かったことから、末梢系の下肢疲労の評価としては、修正・旧ボルグスケールの両スケールとも使用できると考えられる。また、旧ボルグスケールは運動時の心拍数との関係で感度が高かったため、心拍数を基準に運動強度を推定するのであれば、旧ボルグスケールの使用が望ましいことも確認できた。

本研究の反省として、同一被検者で2つの指標（修正・旧ボルグスケール）を確認すべきであったこと、サンプル数が少なかったことがあげられる。

引用文献

- 1) 内山靖, 小林武, 潮見泰藏: 臨床評価指標入門: 適用と解釈のポイント. 株式会社協同医書出版社: 2003, 81-85.
- 2) Borg G: Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehab Med*, 1970, 2 (3): 92-98.
- 3) 小野寺孝一, 宮下充正: 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性. *体育学研究*, 1976, 21 (4): 191

-203.

- 4) Borg G: Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1982, 14 (5): 377-381.
- 5) 中村健, 岡村正嗣, 佐伯拓也: 特集『息切れのリハビリテーション』息切れの評価法. *The Japanese Journal Rehabilitation Medicine*, 2007, 54: 941-946.
- 6) 志鎌瑠, 早坂恵利, 赤塚清矢・他: 若年者の運動耐容能と副交感神経活動との関係. *東北理学療法学*, 2019, 31: 27-32.