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

——Rating of perceived exertion の観点から——

小野寺 孝 一* 宮 下 充 正*

(昭和51年2月13日 受付)

A Study on Japanese Scale for Rating of Perceived Exertion in Endurance Exercise

Koichi Onodera, Mitsumasa Miyashita
(Faculty of Education, University of Tokyo)

本研究は、全身持久性運動における主観的強度 (Rating of perceived exertion: RPE) を rating する scale を Borg の scale に対応させて作成し、主観的強度と客観的強度との対応関係を検討した。本報告は3つの内容からなる。

① 持久性運動における主観的強度の rating scale の日本語表示法を検討し、scale を作成した。この scale を用いて得られた値は、 $\% \dot{V}O_{2\max}$ 及び $\%HR_{\max}$ と高い相関があり、Borg の scale を用いた結果とも比較検討が可能であり、日本語表示の rating scale として適切なものであるとの結論に至った。

② 作成した日本語の rating scale を用い、トレッドミル走及び自転車エルゴメーター駆動における主観的強度と客観的強度との対応関係を検討した。その結果、RPE は作業の種類や被検者の体力水準が異なっているにもかかわらず、ある作業における各個人の最大作業能力に対する相対値と高い相関があることが明らかになった。

③ 主観的強度を用いて全身持久性向上のための運動処方を行った。トレーニングの結果、最大酸素摂取量は増加した。各個人について、トレーニング前後の RPE と測定値との関係を比較してみると、RPE と走速度、RPE と $\dot{V}O_2$ との関係は最大作業能力の増加にともなって変化した。RPE と HR 及び $\% \dot{V}O_{2\max}$ との関係は変わらなかった。

The purpose of this study was to construct a Japanese scale for rating of perceived exertion in endurance exercise. The study consisted of four experiments.

Experiment 1: Twenty-one Japanese males (aged 18 to 21 years) were used as subjects in determining a Japanese rating scale of perceived exertion in endurance type of exercise. The exercise was running at three different speeds for six minutes on a treadmill (flat). Oxygen uptake during the last minute of exercise was measured by Douglas bag method with Scholander's apparatus. Heart rate from five to six minutes of exercise was counted from ECG. After some trials and errors, a 15 point graded rating scale in Japanese was determined, which was very similar to Borg's scale.

Experiment 2: In order to test the validity of this Japanese rating scale, 14 Japanese

* 東京大学教育学部

males (aged 18 to 29 years), including six long distance runners, were studied in the same method as mentioned above. The correlation between RPE and relative work load ($\% \dot{V}O_2\text{max}$ and $\%HR\text{max}$) obtained in this experiment well coincided with that reported by Skinner, et al.

Experiment 3: The relationship between rating of perceived exertion and physiological indicators of exertion during running and bicycling was studied. Oxygen uptake and heart rate were measured, and rating of perceived exertion was recorded at three different work loads for 22 subjects working on treadmill and for 14 subjects working on bicycle ergometer. Correlation coefficient between RPE and relative values of $\dot{V}O_2$ ($\% \dot{V}O_2\text{max}$) or HR ($\%HR\text{max}$) was higher than that between RPE and absolute values of $\dot{V}O_2$ or HR, respectively.

Experiment 4: Ten healthy males, aged 18 to 36 years, were subjected to the experiment, in which the effect of regular training upon their aerobic work capacity was investigated by use of perceived exertion as an indicator of training intensity. Training was consisted of 6-minute running, 3 days per week at intensity of RPE 15 equivalent to about 80% of each individual $\dot{V}O_2\text{max}$. Training lasted for ten weeks. Oxygen uptake and heart rate were measured, and rating of perceived exertion was recorded at three different speeds on treadmill before and after training. Significant increase in $\dot{V}O_2\text{max}$ was observed ($p < 0.05$). Concomitant reductions in heart rate and rating of perceived exertion at submaximal exercise were observed after training. The relationship between RPE and running speed changed before and after training, but the relationship between RPE and heart rate, or $\% \dot{V}O_2\text{max}$ remained unchanged. These results suggested that if a subject performed training at a constant intensity of RPE, the absolute intensity of training might increase as his maximal capacity was improved. Consequently, RPE seems to be an effective indicator of training intensity.

(Koichi Onodera, Mitsumasa Miyashita: A Study on Japanese Scale for Rating of Perceived Exertion in Endurance Exercise, *Jap. J. Phys. Educ.*, Vol. 21, No. 4, Dec., 1976, pp. 191~203)

これまで身体運動の強度を問題にする場合、主に仕事量、スピード等のような物理学的方法や、生体にかかる負担度としての心拍数 (HR)、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、最大酸素摂取量に対する割合 ($\% \dot{V}O_2\text{max}$)、酸素摂取量を単位量との比で指標とした RMR 及び Mets 等のような生理学的方法が用いられてきた。

身体運動を行う際、感覚的に判断される強度は、その目的達成のため重要な役割を果たしていると考えられるが、これまでその数量化が困難であり、判断に多くの因子が関与し、分析上の問題もあり、研究の対象としてあまり取り扱われなかった。

しかし、近年欧米諸国において感覚的に判断さ

れた強度について、多くの研究がなされるようになってきた。⁴⁾

このように身体運動の強度を問題にする場合、物理学的方法、生理学的方法及び感覚的判断による強度という3つの観点から取り扱うことができる。本研究では、測定上の意味から主観の参与及び影響がないということで、前者2つを客観的強度、後者を主観的強度として扱う。

物理学の強度や生理学の強度を測定する方法は、かなり一般化したものとなっているが、主観的強度を測定する場合、まず強度を数量化する尺度 (scale) の構成が問題になる。⁹⁾

Borg と Dahlström^{2,3)} は、自転車エルゴメーター駆動で、マグニチュード推定法 (method of

magnitude estimation)^{6,9)}を用いたとき, 刺激強度(pedal resistance)と感覚量との間に $R=C(S+175)^{1/6}$, (R : perceived intensity, C : constant, S : stimulus intensity in kpm per minute) が成立することを見い出した。

さらに Borg は, カテゴリー尺度 (category scale) を用いると, 感覚と心拍数との間に密接な関係があることを見い出し, それを比尺度 (ratio scale) の観点から両者を組み合わせ, “category ratio scale” を考案した.³⁾

Borg ははじめ 1 から 21 までの 21 段階からなる scale を作成したが, 後に 6 から 20 までの 15 段階からなる scale に改良した (表 1 中, Borg's). Borg はこの scale を用いて, 主観的強度と心拍数との間に直線的関係を得た. また, この scale の数字が心拍数の 1/4 と対応して考えられるということから, 現在欧米諸国では, 運動の主観的強度を数値化するときに広く用いられてきている.⁴⁾

本研究では, 主観的強度を数値化する scale が体育の指導, 一般人への運動処方, リハビリテーション及び臨床診断等の分野で有用なものであると考え, 全身持久性運動を対象として, Borg の 6 から 20 まで 15 の段階からなる scale をもとにして, 日本語による rating scale を作成 (実験 1), 検討 (実験 2) することを主目的とした。

そして, 作成した scale を用い, テレドミル走及び自転車エルゴメーター駆動で主観的に rating した強度 (rating of perceived exertion: 以下 RPE) と客観的強度との対応関係を検討した (実験 3)。

さらに, 全身持久性向上のためのトレーニングによって RPE と客観的強度との対応関係がどのように変化するかについても検討した (実験 4)。

〔実験 1〕 日本語による rating scale の作成

Borg の考案による 6 から 20 までの 15 段階からなる scale (表 1 中, Borg's) に, 日本語で説明を表示し, 全身持久性運動を対象として, RPE と客観的強度との関係を検討し, 日本語による rating scale を作成しようとした。

(1) 方法

①被検者: 被検者は日常生活において特に活発な身体運動を行っていない健康な男子学生 21 名

表 1 RPE scale の日本語表示法試案 左端は Borg の英語による表示
(Japanese rating scales of perceived exertion compared with Borg's English scale)

Borg's	A 試案	B 試案	C 試案
20			
19 Very very hard	最高にきつい	最高にきつい	非常にきつい
18			
17 Very hard	非常にきつい	非常にきつい	かなりきつい
16			
15 Hard	きつい	きつい	きつい
14			
13 Somewhat hard	ややきつい	ややきつい	ややきつい
12			
11 Fairly light	まあまあ楽である	楽である	楽である
10			
9 Very light	楽である	非常に楽である	かなり楽である
8			
7 Very very light	非常に楽である	最高に楽である	非常に楽である
6			

で, 平均年齢 18.9 歳 (18~21 歳) であった。被検者の平均身長は, 168.5 ± 4.2 cm, 平均体重は, 58.6 ± 7.1 kg であった。

②負荷方法: 負荷は水平でのテレドミル走を用いた。

負荷方法は速度の異なる 3 種 (被検者の最大下負荷に対する反応の仕方によって, 4 種のこともあった) の最大下作業を 6 分間ずつ無作為に与えた。最大作業は最後に与えた最大下作業から毎分 20 m/分の速度, または毎分 1° の仰角漸増法を用いて与えた。なお, 各作業間に 8 分以上の休息をおいた。

③rating scale: Borg の scale は表 1 中の Borg's に示すように, 6 から 20 までの 15 段階からなり, 奇数ごとに Very hard とか, Hard とかの説明がしてある。日本語の scale を作成する際, 数字は Borg の scale をそのまま用い, 奇数ごとの説明を日本語で表わすことにした。

A 試案は Borg の説明に従いながらも, 運動経験者の表現の仕方に基づいて grading した日本語

を数字に対応させたものであり、語学的に忠実に訳したものではなかった。B, C 試案は実験結果を検討しながら試行錯誤的に作成したものである。

④rating: 運動中 rating scale を被検者の前方に位置しておき、運動終了直後に数字による口答で rating を求めた。例えば、A 試案において、被検者が“きつい”と感じた場合には“15”と、“まあまあ楽である”と感じた場合は“11”と、“15”か“17”か判断しにくいときは中間の“16”というように答えさせた。最大下作業から最大作業に運動が継続する際は、呼気ガス採集のためのマスクをつけている関係上、rating は5分から6分の間に指の本数によって数字を表わす方法を用いた。

⑤心拍数及び酸素摂取量の測定: 心拍数は胸部導出により、5分から6分までの心電図のR-R間隔から算出し、その負荷に対する心拍数とした。

酸素摂取量はダグラスバッグ法によって、5分から6分までの呼気ガスを採集し、ショランダー微量ガス分析器で分析して求めた。

(2) 結果及び考察

図1, 2 に表1の各試案を用いて得られた結果を示した。RPE と %HRmax 及び RPE と % $\dot{V}O_2$ max との関係についてみると、どの試案を用いたときにも、0.1% 水準で有意の相関があった(表2)。

そこでscaleの数字と%HRmax及び% $\dot{V}O_2$ maxとの具体的対応関係が問題となった。特に、疲労困憊の状態が rating の reference point として考えられるために、全被検者が最大能力発揮時に同一 rating (19または20) をする scale が期待された。

A 試案の結果は心拍数が200前後を示し、最大努力をしていると考えられるときでも、“17”以下の rating しかなされなかった。これは上述したように、A 試案は Borg の scale の忠実な訳ではなく、Borg の scale は“13”の somewhat hard を中心に、hard と light の説明に対応性があるが、A 試案にはこの対応性がないことが原因ではないかと考えられた。

このことからB試案では“13”の“ややきつい”

図1 RPE と %HRmax との関係

×: A 試案

○: B 試案

●: C 試案

(Relationship between rating of perceived exertion and percent of maximal oxygen uptake)

×: A-scale

○: B-scale

●: C-scale

図2 RPE と % $\dot{V}O_2$ max との関係

×: A 試案

○: B 試案

●: C 試案

(Relationship between rating of perceived exertion and percent of maximal heart rate)

×: A-scale

○: B-scale

●: C-scale

を中心に“きつい”と“楽である”という表現に対応関係をもたせた。この場合も、RPE と %HRmax 及び % $\dot{V}O_2$ max との関係には有意な

表 2 日本語表示法各試案における RPE と相対的
負荷強度 (%HRmax 及び % $\dot{V}O_2$ max) との
関係の相関係数

(Correlation coefficients between rating of
perceived exertion and relative work load
(%HRmax and % $\dot{V}O_2$ max))

scale	RPE—%HRmax	RPE—% $\dot{V}O_2$ max
A	$r=0.789^{***}$	$r=0.812^{***}$
B	$r=0.693^{***}$	$r=0.764^{***}$
C	$r=0.838^{***}$	$r=0.785^{***}$

*** $p<0.001$

相関があった。また、最大作業時に“17”、“18”の rating がなされ、A 試案よりも望ましい関係が得られた。しかし、A、B 両試案においては“19”の rating がなされ難く、“17”の“非常にきつい”という rating が多くなされる傾向にあった。これは“最高にきつい”という表現が疲労困憊の状態を表わす言葉として、不適切なのではないかと考えられた。

そこで C 試案においては、B 試案の“最高にきつい”という表現を“非常にきつい”と変え、“非常にきつい”の代わりに“かなりきつい”という表現を与えた。

最終的には、Borg の scale の“Very very hard”に対して“非常にきつい”、“Very hard”に対して“かなりきつい”、“hard”に対して“きつい”という表現を用い、“13”の“ややきつい”を中心に“きつい”と“楽である”という表現に対応関係をもつことになる。

その結果、C 試案を用いたときは、A、B 試案を用いたときと比較して、同じ % $\dot{V}O_2$ max 及び %HRmax で高い rating がなされ、疲労困憊時においても A、B 試案の結果より高い“19”、“20”の rating がなされた。

これらの結果から、scale の“6”が安静状態を表わし、“20”が最大作業時の状態を表わす日本語の表現として、C 試案が適したものであると考えられた。

〔実験 2〕 日本語表示法に基づく rating of perceived exertion と客観的強度との関係の検討

実験 1 で作成した日本語表示の rating scale を用い、トレッドミル走における RPE と客観的強

度との対応関係を検討した。

(1) 方法

①被検者：被検者は健康な男子学生 14 名で年齢は 18~29 歳であった。そのうち 6 名は陸上競技の長距離選手である。

②負荷方法：負荷方法は実験 1 と同様の方法を用いた。

③rating scale 及び rating：rating scale は実験 1 の結果から“C” scale を用いた。

rating の方法は実験 1 と同様である。

(2) 結果及び考察

図 3 は RPE と走速度との関係を示したものである。各個人内においては、RPE と走速度との間に高い相関があったが ($r=0.882\sim0.993$)、個人間で比較すると各被検者の体力水準の違いから、同一 RPE での走速度にかなりのばらつきがあった。

RPE と最大作業能力に対する割合という点からみると、RPE と % $\dot{V}O_2$ max との間には $r=0.858$ ($p<0.001$)、RPE と %HRmax との間には $r=0.813$ ($p<0.001$) の相関があった。

図 4 は RPE と % $\dot{V}O_2$ max との関係を、図 5 は RPE と %HRmax との関係を、RPE に対する % $\dot{V}O_2$ max、%HRmax の平均値でそれぞれ示したものである。●は本実験の結果であり、○は Skinner ら⁷⁾の報告による Borg の scale を用いて得られた結果である。両者の結果はほぼ同じような傾向を示した。

図 3 RPE と走速度 (トレッドミル走) との関係
個人内の回帰直線を示す。

(Regression lines between rating of perceived exertion and running speed in each subject)

図4 RPE と $\% \dot{V}O_2\max$ との関係 (日本語表示の場合と英語表示の場合の比較)

(Relationship between rating of perceived exertion and percent of maximal oxygen uptake ○: calculated from data of Skinner et al. (1973))

図5 RPE と $\%HR\max$ との関係 (日本語表示の場合と英語表示の場合の比較)

(Relationship between rating of perceived exertion and percent of maximal heart rate ○: calculated from data of Skinner et al. (1973))

これらの結果から、C 試案は $\% \dot{V}O_2\max$ 及び $\%HR\max$ と高い相関があり、Borg の scale を用いた結果とも比較検討が可能であり、日本語表示の rating scale として、最も適切なものであると考えられる。

また、各被検者の体力水準の差異によって同一 RPE のときの走速度には違いを生ずるが、RPE

は $\% \dot{V}O_2\max$ 及び $\%HR\max$ との相関が高く、最大作業能力に対する相対強度の指標として有効なものであると考えられる。

〔実験 3〕トレッドミル走及び自転車エルゴメーター駆動における主観的強度と客観的強度の対応関係

本実験においては、日本語の rating scale を用い、作業様式の異なるトレッドミル走及び自転車エルゴメーター駆動における主観的強度と客観的強度との対応関係を検討することを目的とした。

(1) 実験方法

①被検者：トレッドミル走を用いた実験の被検者は、健康な男子学生（年齢18～30歳、平均22.9歳）22名であった。

自転車エルゴメーター駆動における被検者は28～51歳（平均36.2歳）の男子5名、20～48歳（平均30.9歳）の女子9名の計14名であった。

②負荷方法：トレッドミル走は水平でのトレッドミルを用いた。

負荷方法は原則として、速度の異なる3種の最大下作業を6分間ずつ無作為に与えた。しかし、被検者の体力水準が予期したものより低く、3種の最大下作業中に疲労困憊に至ったものは、その時点で実験を中止した。また、被検者の体力水準が予期したより高く、3種の最大下作業時の反応が最大能力に対してまだ余裕のあると思われる被検者には、4種の最大下作業を与えた。最大作業は最後の最大下作業から、毎分20m/分の速度、または毎分1°の仰角漸増法を用いて与えた。

自転車エルゴメーター駆動にはモナーク社製自転車エルゴメーターを用いた。

負荷方法は毎分50回転のペダリングで、原則として3種の最大下作業を6分間ずつ無作為に与えた。トレッドミル走と同様の状態で、最大下作業時の反応から最大下作業が2種、または4種になった被検者もいた。最大作業は最後の最大下作業から、毎分75kpm～150kpmの漸増法で与えた。

両作業とも各作業間に8分以上の休息をおいた。

③rating scale 及び rating : rating scale は表

1 中の “C” scale を用いた。

rating の方法は実験 1 と同様である。

④心拍数及び酸素摂取量の測定: 両者とも実験 1 と同様の方法で測定した。

(2) 結果及び考察

トレッドミル走において, 同一 RPE での走速度に被検者間でかなりの差異があった。また, 同一 RPE に対する酸素摂取量及び同一 RPE に対する心拍数を比較しても個人差がみられた。これは本実験に参加した被検者の走能力及び最大酸素摂取量に相当の差 (2.2 l/分~4.0 l/分) があったためと推察される。しかし, RPE と最大に対する割合で表わした $\% \dot{V}O_2\max$, あるいは $\%HR\max$

表 3 トレッドミル走及び自転車エルゴメーター駆動における RPE と各測定値との相関係数

T: トレッドミル走

B: 自転車エルゴメーター駆動

(Correlation coefficients between rating of perceived exertion and various measures of oxygen uptake or heart rate)

T: treadmill running

B: bicycling

	$\dot{V}O_2$	$\dot{V}O_2/Kg$	$\% \dot{V}O_2\max$	HR	$\%HR\max$
RPE					
T	0.760***	0.777***	0.852***	0.750***	0.831***
B	0.736***	0.753***	0.862***	0.828***	0.907***

*** $p < 0.001$

図 6 トレッドミル走における RPE と $\% \dot{V}O_2\max$ との関係

(Relationship between rating of perceived exertion and percent of maximal oxygen uptake during treadmill running)

図 7 トレッドミル走における RPE と $\%HR\max$ との関係

(Relationship between rating of perceived exertion and percent of maximal heart rate during treadmill running)

図 8 自転車エルゴメーター駆動における RPE と $\%HR\max$ との関係

(Relationship between rating of perceived exertion and percent of maximal heart rate during bicycling)

との相関係数はそれぞれ高かった (表 3)。そして, RPE と $\% \dot{V}O_2\max$ との関係に $\hat{Y} = 0.169X + 1.759$, RPE と $\%HR\max$ との関係に $\hat{Y} = 0.303X - 11.771$ の回帰直線が得られた (図 6, 7)。

この結果から, scale による表示と $\dot{V}O_2\max$ に対する割合及び $HR\max$ に対する割合との関係をみると, “17” の “かなりきつい” という表現は $90\% \dot{V}O_2\max$, $95\%HR\max$ に, “15” の “き

図9 自転車エルゴメーター駆動における RPE と $\% \dot{V}O_2 \text{max}$ との関係
(Relationship between rating of perceived exertion and percent of maximal oxygen uptake during bicycling)

“13” という表現は $80\% \dot{V}O_2 \text{max}$, $88\% \text{HRmax}$ に, “13” の “ややきつい” という表現は $65\% \dot{V}O_2 \text{max}$, $80\% \text{HRmax}$ にほぼ相当する。

一方, 自転車エルゴメーター駆動においても, 被検者に男子と女子が含まれ, 年齢も大きく異なるために, 同一 RPE での各被検者の仕事量に違いがあった。全被検者の最大仕事量の値は, 450 kpm/分から 1050 kpm/分に, また最高心拍数は 165拍/分から 192.6拍/分の範囲にあった。したがって, RPE と心拍数との関係にもばらつきがあった。しかし, RPE と $\% \text{HRmax}$ との関係には, $r=0.907$ ($p<0.001$) の相関があり, $\hat{Y}=0.193X-0.995$ の回帰直線を得た (図8)。

最大酸素摂取量についても, 被検者間に大きな差があった ($1.11 \text{ l/分} \sim 2.76 \text{ l/分}$)。したがって, RPE と $\% \dot{V}O_2 \text{max}$ との関係の方が, RPE と $\dot{V}O_2$ との関係より高い相関を示した (表3)。そして, $\hat{Y}=0.122X+5.989$ の回帰直線を得た (図9)。

Borg ら⁵⁾, Bar-Or ら¹⁾及び Skinner ら⁸⁾は同年齢層の被検者を用いた実験の結果, RPE と心拍数との間に $r=0.70 \sim 0.90$ の高い相関を得たと報告している。本研究では被検者の年齢, 体力水準に大きな差異があり, 相関という点からみるとトレッドミル走及び自転車エルゴメーター駆動の両者において, RPE は心拍数及び酸素摂取量と

の関係より, 相対強度である $\% \dot{V}O_2 \text{max}$ 及び $\% \text{HRmax}$ と高い関係にあった (表3)。

これらの結果から, RPE は作業の種類や被検者の体力水準が異なっているにもかかわらず, ある作業における各個人の最大作業能力に対する相対値と高い相関があると考えられる。

〔実験4〕主観的強度を用いた全身持久性の運動処方

一般人に全身持久性の運動処方を行う際, その強度が主観的に処理されるものならばきわめて有利なことである。

前実験で, 主観的に判断した強度が客観的強度と対応関係があり, 客観的強度に代わる指標となる可能性があることが明らかになったので, 本実験では全身持久性の運動処方の強度指標に主観的強度を用い, RPE の強度指標としての有効性及びトレーニング効果によって RPE と客観的強度との対応関係がどのように変化するかを検討することを目的とした。

(1) 実験方法

①被検者：被検者は大学の教職員で, 年齢が19～36歳 (平均24.8歳) の健康な男子10名であった。各被検者の年齢及び身体的特徴を表4に示した。

表4 被検者の年齢及び身体的特徴
(Physical characteristics and age of the subjects)

Subj.	Age	Height	Weight(B)	Weight(A)
OD	19	170.0	59.0	56.5
NO	36	168.0	59.5	59.5
TS	24	166.5	55.0	54.0
KG	24	170.0	62.5	62.0
MY	25	168.0	58.0	57.0
TS	22	178.7	79.0	79.5
FD	25	164.5	56.0	57.0
NS	24	169.7	58.5	58.5
YG	25	166.0	60.5	61.0
KD	24	166.9	50.5	50.5

Age : years

Height : cm

Weight : kg

(B) : before training

(A) : after training

②トレーニング条件の設定: トレーニングはグラウンド走を用いた。運動時間は6分間で、頻度は原則として週3回とした。運動の強度は RPE 15 の“きつい”という主観的強度を指標とした。すなわち被検者がきついと感じる強度で走り、また走行中その主観を一定に保つことを条件とした。この強度を RPE と $\dot{V}O_2\max$ の関係から推察するとはば $80\%\dot{V}O_2\max$ に相当する (図6)。

トレーニング期間は、1975年8月4日から10月11日までの10週間であった。

③トレーニング効果判定のための測定: トレーニング効果を判定するため、またトレーニング前後の RPE と客観的強度との関係を比較するために、トレッドミル走で最大下及び最大作業時の酸素摂取量、心拍数、RPE を測定した。測定は被検者にトレッドミル上での走行を慣れさせた後に、グラウンド走への応用を考えて水平でのトレッドミルを用いて行った。

負荷方法は3段階の最大下作業を4分間ずつ行わせ、その後毎分20~30m/分の漸増負荷法によって、疲労困憊に至らしめた。最大下の3段階の走速度は、初めの速度(140mまたは150m/分)を与えたときの心拍数、RPE の反応から、2段階目、3段階目の走速度を設定した。

酸素摂取量は各負荷強度の作業の終了前1分間の呼気ガスを、採気用マスク→ダグラスバッグ法にて採集し、ショランダー微量ガス分析器で分析して求めた。

心拍数は胸部導出による心電図の R-R 間隔から算出して求めた。心拍数も各作業の終了前1分間の値をもって、その負荷に対する心拍数とした。

RPE は日本語の rating scale を用いて得た (表1, C 試案)。rating は運動中 scale を眼前に位置しておき、マスクを着用しているため、各作業終了直前に指の本数によって求めた。

トレーニング後の測定においては、最大下3段階の走速度はトレーニング前と同じ速度とし、その後毎分20~30m/分の負荷漸増法によって、疲労困憊に至らしめた。

トレーニング前の測定は、1975年7月29日~8月3日 (室温 $28.7 \pm 0.4^\circ\text{C}$)、トレーニング後は

同年10月13~19日 (室温 $21.8 \pm 1.1^\circ\text{C}$) に行った。

④グラウンド走の走速度及び心拍数の測定: トレーニング期間中に、主観的強度 (RPE 15) を一定にして走った場合と、トレッドミル走において RPE 15 と応答した場合の負荷強度を比較するために、グラウンド走時の心拍数を HR テレメーターによって測定した。また、平均走速度は6分間の全走行距離を時間で除して算出した。

(2) 結果及び考察

RPE が全身持久性の運動処方強度指標となりうるかどうかを検討するために、グラウンドで RPE 15 を一定にして走った際の心拍数及び走速度と、トレッドミル走で RPE 15 と主観的に判断した場合の心拍数及び走速度をそれぞれ比較したのが図10である。

心拍数についてみると両者の違いは ± 10 拍/分の範囲にある。また、走速度はほとんどが ± 20 m/分の範囲にある。これらの結果から、本実験において RPE はグラウンド走時の強度指標として、かなり有効な手段になると考えられる。ただし、トレッドミル走とグラウンド走の運動時間が異なるため、RPE と運動の持続時間の関係について、今後さらに検討を要すると考えられる。

図11のヒストグラムは、各被検者のトレーニング前後の体重 1 kg あたりの $\dot{V}O_2\max$ と、9名の被検者の平均を示したものである。被検者 YG はトレーニング前の測定で、毎分270m/分で走行中、顔面にチアノーゼがあらわれ実験を中止した

図10 RPE 15 を一定にしたグラウンド走時と、トレッドミル走で RPE 15 と判断したときの心拍数(左図)及び走速度の比較

(Comparison of heart rate and speed during running on the ground and on the treadmill at the same rating of perceived exertion (15))

図 11 各被検者の体重あたりの最大酸素摂取量のトレーニング前後の比較 (ヒストグラム), 及び運動種目と平均頻度
(Maximal oxygen uptake per body weight before and after training, and training frequency)

図 12 同一走速度におけるトレーニング前後の RPE の比較
(Comparison of rating of perceived exertion at same running speed before and after training)

ので, 統計的処理を行う際, YG の値は除外した。

トレーニングの頻度は1週間3回としたが, 実際には被検者の職業の関係や, 体調の変化等によって, かならずしも週3回にならなかった。また, 職員のスポーツ大会やそのための練習等で, 他の運動種目を行った被検者もいた。図11下段の表は実際に行われた運動種目と, 行った回数 of 1週間あたりの平均値を示したものである。M/Wは10週間に行った運動の全回数を, 1週間あたりの平均で表わしたものである。

図 13 同一走速度におけるトレーニング前後の心拍数の比較
(Comparison of heart rate at the same running speed before and after training)

図 14 同一 RPE におけるトレーニング前後の心拍数の比較
(Comparison of heart rate at the same rating of perceived exertion before and after training)

9名の被検者のトレーニング前の体重 1 kg あたりの $\dot{V}O_2\text{max}$ の平均値は $51.2 \text{ ml} \pm 4.3 / \text{kg} \cdot \text{min}$ を示し, 有酸素的作業能は比較的高い水準にあると考えられるが, トレーニングによって, 全体では, 体重あたりの $\dot{V}O_2\text{max}$ が5%水準で有意の増加を示した。各被検者についてみると, 1週間あたりの運動の回数が多いものほど, 体重あたりの $\dot{V}O_2\text{max}$ が増加しており, 少なかった被検者は増加を示さなかった。

図12はトレッドミル走におけるトレーニング前

後の, 同一走速度のときの RPE を比較したものである。

トレーニング前後で最大走速度 (疲労困憊に至ったときの走速度) に変化がなかった被検者もあるが, 全体としては増大する傾向にあったので, 相対的にトレーニング後に同一走速度での RPE は小さくなる傾向にあった。これはトレーニングによって最大走速度が増すと, トレーニング前と同じ走速度は楽に感じてくることを示し, 主観的判断でもトレーニング効果の判定ができることを示すものと考えられる。

図13はトレーニング前後の同一走速度のときの心拍数を比較したものである。

同一走速度のときの心拍数を比較しても, 心拍数がトレーニング後に減少する傾向を示し, トレーニング効果のあったことを示している。

図14は同一 RPE でトレーニング前後の心拍数を比較したものである。トレーニング前後に同じ RPE がないときは, トレーニング後の RPE と心拍数との関係を, 最小自乗法によって直線関係にし, 内挿法によってトレーニング前の RPE と同じ RPE の心拍数を求めた。

心拍数が各被検者の最大作業能力の大小にかかわらず, 各被検者に課されている相対的作業強度を表わすと考えれば, RPE もまた最大作業能力に対する割合と密接な関係があり, 両者は最大能力に対する相対値の関係とみることができる。そして, その関係は図14に示されるように, トレーニング等によって体力水準が改善されても, 最高心拍数が変わらぬかぎり, 常に一定であると考えられる。

個体間で比較する場合は, 年齢, 運動歴等によって最高心拍数が異なるので, 最高心拍数に対する割合 ($\%HR_{max}$) で検討しなければならない。また, トレーニングによって最高心拍数が変わるときもあるが, そのときも同様の処理をしなければならない。

図15は同一 RPE でトレーニング前後の $\% \dot{V}O_2 \max$ を比較したものである。トレーニング前後に同一 RPE がないときは, 図14と同様に内挿法を用いた。

RPE と $\% \dot{V}O_2 \max$ との関係も最大値に対する

図 15 同一 RPE におけるトレーニング前後の $\% \dot{V}O_2 \max$ の比較

(Comparison of percent maximal oxygen uptake at the same rating of perceived exertion before and after training)

相対値間の関係と考えることができる。そして, 図15はトレーニングによって最大酸素摂取量が増大しても, RPE と $\% \dot{V}O_2 \max$ との関係は変わらないことを示している。

これらの結果から, RPE は各個人の最大作業能力に対する相対値と深い関係があり, その関係は最大作業能力が改善されても変化しないと考えられる。

また, 個人が同種, 同一作業強度の運動をしたとき, RPE に変化があれば, 作業能力の変化に関係していると推察することも可能であると考えられる。

さらに, 一般人に全身持久性の運動処方を行う際, RPE は個人の最大作業能力に対する割合と密接な関係があるので, 相対的強度指標としてきわめて有効である。そして, RPE と最大作業能力に対する割合との関係は, 作業能力が改善されても変わらず, RPE は最大作業能力に対する強度の漸増負荷法として, トレーニング処方に用いることが可能であると考えられる。

〔総括〕

実験1の「日本語による rating scale の作成」で, 持久性運動における強度を主観的に判定する尺度を, 日本語の表現に対応させて作成することを目的として, 健康な男子21名 (年齢18~21歳) を対象として実験を行った。

また、実験2の「日本語表示法に基づく rating of perceived exertion と客観的強度との関係の検討」で、作成された尺度を用い、14名の健康な男子（年齢18～29歳、6名の陸上長距離選手を含む）を対象として、主観的強度と客観的強度との関係を検討した。

これらの実験を通して日本語の尺度としては、C試案（表1）が $\% \dot{V}O_2\text{max}$ 及び $\%HR\text{max}$ と高い相関があり、Borg の scale を用いた結果とも同じような傾向を示し、比較検討が可能であり、日本語表示の rating scale として最も適切なものであるとの結論に至った。

また、各被検者の体力水準の差異によって、同一 RPE のときの performance には違いを生ずるが、RPE は $\% \dot{V}O_2\text{max}$ 及び $\%HR\text{max}$ との相関が高く、最大作業能力に対する相対強度の指標として有効であると考えられる。

実験3の「トレッドミル走及び自転車エルゴメーター駆動における主観的強度と客観的強度との対応関係」においては、主観的強度を数量化する日本語の rating scale（表1中、C試案）を用い、トレッドミル走及び自転車エルゴメーター駆動における RPE と客観的強度との対応関係を検討した。

被検者はトレッドミル走においては、年齢18～30歳の男子学生22名であり、自転車エルゴメーター駆動においては、年齢28～51歳の男子5名、年齢20～48歳の女子9名の計14名であった。

トレッドミル走において、RPE と $\% \dot{V}O_2\text{max}$ との間に、 $r=0.852$ ($p<0.001$)、RPE と $\%HR\text{max}$ との間に、 $r=0.831$ ($p<0.001$) の相関が得られた。

自転車エルゴメーター駆動において、RPE と $\% \dot{V}O_2\text{max}$ との間に、 $r=0.862$ ($p<0.001$)、RPE と $\%HR\text{max}$ との間に $r=0.907$ ($p<0.001$) の相関が得られた。

実験4の「主観的強度を用いた全身持久性の運動処方」においては、健康な成人男子10名を対象として、主観的強度（RPE 15：ほぼ $80\% \dot{V}O_2\text{max}$ に相当）を運動の強度指標として、全身持久性のトレーニングを行った。運動の持続時間は6分間であり、頻度は2.8回/週（全被検者平均）

であった。トレーニング期間は10週間であった。

RPE 15 でグラウンドを走った際の反応と、トレッドミルで RPE 15 と判断したときの反応を比較した結果から、RPE は運動の強度指標として有効な手段となることが明らかになった。

トレーニングの結果、全被検者の体重あたりの $\dot{V}O_2\text{max}$ は、5%水準で有意の増加を示した。

各個人について、トレーニング前後の RPE と測定値との関係を比較してみると、RPE と走速度、RPE と $\dot{V}O_2$ との関係は最大作業能力の増加にともなって変化したが、RPE と HR、及び RPE と $\% \dot{V}O_2\text{max}$ との関係は変化しなかった。

これらのことから、RPE は最大作業能力に対する相対値と関係があることが、再度確認された。

また、RPE をトレーニングの強度指標として用いると、最大作業能力の改善にともなった漸増負荷になると考えられる。

本研究は49、50年度、財団法人体育科学センターからの援助を得た。

引用文献

- 1) Bar-Or, O., J. S. Skinner, E. R. Buskirk and G. Borg : Physiological and perceptual indicators of physical stress in 41- to 60 years-old men who vary in conditioning level and in body fatness. *Med. Sci. Sports*. 4, 96～100, 1972.
- 2) Borg, G.: "The perception of physical performance" In : *Frontiers of Fitness*, R. J. Shephard, ed., Springfield, Ill. : Thomas, 1971.
- 3) Borg, G. : A note on category scale with "ratio properties" for estimating perceived exertion. *Reports from the Institute of Applied Psychology, the University of Stockholm*, No. 36, 1973.
- 4) Borg, G. : Perceived exertion : a note on "history" and method. *Med. Sci. Sports*. 5, (2), 90～93, 1973.
- 5) Borg, G. and H. Linderholm : Perceived exertion and pulse rate during graded exercise in various age groups. *Acta Med. Scand.*, 472, 194～206, 1967.
- 6) Stevens, S. S. : On the psychophysical law. *Psychological Review*, 64, 153～181, 1957.

- 7) Skinner J. S., R. Hutsler, V. Bergsteinoá, and E. R. Buskirk : Perception of effort during defferent types of exercise and under different environmental conditions. *Med. Sci. Sports.* 5, (2), 110-115, 1973.
- 8) Skinner, J. S., R. Hutsler, V. Bergsteinoá,

and E. R. Buskirk : The validity and reliability of a rating scale of perceived exertion. *Med. Sci. Sports.* 5, 94~96, 1973.

- 9) 田中良久: 「心理学研究法 16 尺度構成」, 東京大学出版会, 1973.