

琉球大学学術リポジトリ

肢体不自由者の車椅子走行時における主観的運動強度（RPE）と客観的運動強度

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学教育学部附属教育実践研究指導センター 公開日: 2008-11-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 平良, 勉, 音野, 敬子, Taira, Tsutomu, Otono, Keiko メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/8270

肢体不自由者の車椅子走行時における主観的運動強度 (RPE) と客観的運動強度

平良 勉* 音野 敬子**

Relationship between Ratings of Perceived Exertion (RPE) and Physiological responses during running of the Racing-wheelchair in paraplegics

Tsutomu TAIRA* Keiko OTONO**

The purpose of the current study was to examine the relationship between ratings of perceived exertion (RPE) and physiological responses during wheelchair running. Thirteen adult subjects with paraplegia performed fixed wheelchair ergometer tests to exhaustion. Oxygen uptake and heart rate were determined using electronic gas analyzer and heart rate monitor. RPE were determined by pointing out RPE scale during wheelchair running.

The findings were as follows:

- 1) There was high correlation between RPE and physiological responses in the laboratory tests.
- 2) RPE during marathon running were correlated heart rate, and were the same as those of the laboratory tests.
- 3) The OBLA level corresponded to RPE13, which is appropriate exercise intensity level for improving cardio-vascular functions.

I 序論

障害者スポーツ, 特に車椅子スポーツが発展するにつれ, 有酸素作業能力向上のためのトレーニングに関する研究や, 障害者のトレーニングに対する生理学的応答に関する研究の重要性は, ますます高まってきている。トレーニングの運動強度や効果を知るためには, 一般に客観的運動強度 (HR, BL, VO₂ 等) がよく用いられ

てきた。しかし, 運動時にこれらを測定することは, 障害者の使用する施設や場所等の充実した設備が必要不可欠であり, また身体的な理由からも容易なことではない。もし, 主観的に運動強度を判断できれば, 利用価値は必然的に高くなるといえる。ところが, 健常者を対象にした研究は数多くあるが, 障害者スポーツにおける主観的運動強度の研究はみられない。

主観的運動強度 (Ratings of Perceived Ex-

*Faculty of Education, University of the Ryukyus ** GEOS English school

ertion : 以下RPE) は, 生理学的応答による客観的な運動強度によらず主観的に運動強度を判定する試みである。Borg⁴⁾ は, 1973年に健常者を対象とした自転車エルゴメーター短時間走行時の推定運動強度における数多くの先行研究について検討を行っている。主観的なレンジを使い, 相互比較のためのモデルとし, 2つの実験で, 4種のレーティングが示された。モデルは, 4つの主観的運動強度 Range を使用し, 相互比較を行った。第1測定では, Borg オリジナルの1~21スケール, 第2測定では6~20スケール間で比較し, 第3測定では, ラインスケール, “Not at all stressful” から指数8の “Very very stressful” を含んだ1~9スケール間にて比較した。これらの2つの測定結果より心拍数と使用されたスケール測定において有意差がみられた。Borg オリジナルの6~20スケールは, 最も頻繁に使用され, 心拍数と作業負荷が積極的な直線関係を示すことから, ほとんどの場合においてこのスケールは使用できると報告している。

また, 小野寺²⁰⁾らは全身持久性運動におけるRPEをBorgのscaleに対応させて作成し, RPEと客観的運動強度との対応関係について

研究を行っている。小野寺らの作成した日本語RPEを使用し得られた値は, %VO₂ max, %HR maxと高い相関があり, Borgのscaleとも比較可能であり, BorgのRPEの日本語表示として適切であるとの結果を得ている。また, 作成した日本語RPEを使用し, トレッドミル走及び自転車エルゴメーター駆動時のRPEと客観的運動強度との対応関係を検討した結果, 作業の種類や被験者の体力水準が違っても, 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となった。RPEを用いて運動処方を行った結果, 最大酸素摂取量は増加し, 運動処方前後のRPEと走速度, RPEとVO₂の関係は, 最大酸素作業能力の増加に伴って変化したが, RPEとHR, RPEと%VO₂ maxとの関係は変わらなかったと報告している。

RPEは, 欧米で広く用いられており, 日本では, 小野寺らが作成したBorgの日本語版表示が使用されている (Table 1)。また, Borg⁵⁾, 1982年にこのRPEを改良して0~10スケールを作成した。しかし, 運動強度を評価するにはオリジナルのRPE (6~20スケール) が適していると述べている (Table 2)

Table 1 RPEと日本語版RPE

Borg' s	日本語版
20	
19 Very very hard	最高にきつい
18	
17 Very hard	非常にきつい
16	
15 Hard	きつい
14	
13 Somewhat hard	ややきつい
12	
11 Fairly light	まあまあ楽である
10	
9 Very light	楽である
8	
7 Very very light	非常に楽である
6	

Table 2 Borg¹⁾の旧 RPE と改良型 RPE の対応関係

旧RPE	改良型RPE
20	
19 非常にきつい	
18	最大限
17 かなりきつい	10 Very hard 非常に強い
16	9
15 きつい	8 Hard
14	7 かなり強い
13 いくらかきつい	6 Somewhat hard
12	5 強い
11 やや楽	4 Fairly light やや強い
10	3 中等度に弱い
9 かなり楽	2 Very light 弱い
8	1 かなり弱い
7 非常に楽	0.5 Very very light 非常に弱い
6	0 何も感じない

II 研究目的

スポーツ・トレーニングを行う際、健康・体力の維持増進のために心拍数を測定することは、その運動が個人の目的やレベルに対し、適切であるかどうかを知るという点から、非常に重要である。しかし、心拍数を測定し、健康の維持・増進を図ることは一般に容易でないのが現状である。特に、車椅子を使用するスポーツでは、選手の身体的な理由などから大会時や日頃のトレーニング中に心拍数を測定するという事はかなりの困難を伴う。

そこで、本研究では、Borg¹⁾によって開発、作成された主観的運動強度 (RPE) 指標を使用し、車椅子スポーツ時の運動強度を推定することを試みた。Borg の RPE を使った先行研究は、健常者において数多くあるが、障害者 (肢体不自由者) を対象とした研究はみられない。しかし、身体的な特徴を考えると RPE は、健常者だけでなくむしろ肢体不自由者にとって有効であると考えられる。そこで、RPE が客観的運動強度 (%VO₂max, %HRmax 等) と相関があり全身持久力を向上させるための有効な

指標となりうるか、その妥当性について検討することを第 1 の目的とした。

RPE は、運動が身体に与える負担度を自覚的 (主観的) に判断するものであり、得られた数値がその時の心拍数の 1 / 10 に相当するように設定されている¹⁾。Noble ら²⁾ は、RPE の信頼性について研究を行っており、RPE と一回喚起量、呼吸数間に高い相関が見られると報告している。

日本では、1976年に小野寺³⁾らによって日本語に訳され活用されている。しかし、この尺度は健常者を対象としたものであり、障害者に適用できるかどうかの検討が必要である。そこで、健常者用の RPE が障害者にも適用できるのかを調べ、その有用性を明らかにし、今後の障害者スポーツの運動処方に関する基礎資料を得ることを第 2 の目的とした。

生理学的運動強度の測定が比較的困難な障害者スポーツにおいて、これら主観的運動強度の適用が可能であれば、今後の障害者の運動処方を行う上で、大変有効であると思われる。

III 研究方法

1. 被験者

障害者の福祉施設である浦添サンアビリティーズを中心に活動を行っている肢体不自由者車椅子マラソンチーム（チーム名：タートルズ）の男性12名（健常者1名含む）、女性1名の28歳から54歳までの平均年齢42歳（ ± 7.2 ）、平均身長162.2（ ± 9.4 ）、平均体重57.5（ ± 9.0 ）、平均体脂肪率13.6%（ ± 0.06 ）、平均車椅子マラソン歴16年（ ± 6.5 ）であった。被験者は、脊髄損傷（L～T12）、頸椎損傷（C6～C）、ポリオ等の障害を持つ肢体不自由者であった。

2. 実験期日

予備実験は、7月中旬に実施した。第1次実験は8月上旬に行った。気象条件は、晴天、気温は、30.5℃、気圧は741mmHgであった。本研究のデータを検証するためにフル・ハーフマラソン時におけるRPE、HRを10月上旬に測定した。気象条件は、曇り、気温は、23℃であった。トレーニングの有効性とRPEの妥当性を検討するために同様な方法で第2次実験を1月上旬に行った。気象条件は、晴天、気温は、21℃、気圧は751mmHgであった。

3. 実験場所

第1次・第2次実験は、琉球大学運動生理学実験室で実施した。フル・ハーフマラソン走行時の心拍数測定は、名護市の国道58号線にて実施した。

4. 実験方法

1) 漸増運動負荷テストの実施（第1次・第2次）

トレーニング用車椅子ローラー（コールマン社製）上に被験者それぞれのレース用車椅子を固定した。安静時心拍数に至る状態になるまで安静にし、ポリオ・脊髄損傷者は、速度10.0km/h走行開始し、3分ごとに3.0km/hずつ漸増した。各運動間には2分間の休憩を入れた。

頸椎損傷者は、速度9.0km/hから始めて、3分ごとに3.0km/hずつ漸増した。各運動間には3分間の休憩を入れた。車椅子には、タイヤの回転数をセンサーでカウントし、速度を算出する速度計が装着されており、被験者はそれを見ながら、指定速度にあわせるように調整しながら車椅子を走行させた。被験者自身が続行不可能と判断した時点で、自主的に運動を終了した。トレーニングの有効性とRPEの妥当性を検討するために同様な方法で第2次実験を行った。

2) トレーニングの記録

第1次測定後、個人におけるOBLA時のRPEにもとづいて運動処方を行い、第2次測定前の約2ヶ月間のトレーニング内容、頻度、時間、場所、RPEを調査した。トレーニング時のRPEは指定したが、トレーニング頻度は、被験者の職業の関係や体調の変化、天候などを考慮したため、指定しなかった。

3) フル・ハーフマラソン時のRPE、HR測定の実施

本研究のデータを検証するためにフル・ハーフマラソン時におけるRPE、HRを測定した。

5. 測定項目

1) HR (Heart Rate)

HRは、心拍数測定装置、ベッドサイドモニター（フクダ電子）で測定し、運動開始から終了まで5秒間隔メモリーで記録した。その時の心拍数、運動強度（%HRmax^{註1)}、%HRmax reserve^{註2)}）を測定した。HRmaxは、実測値とした。

2) VO₂ (Oxygen Uptake)

各速度の酸素摂取量（VO₂）は呼気ガス分析装置、OXYCON 4（フクダ電子）で分析し、最大酸素摂取量（VO₂max）、運動強度（%VO₂max^{註3)}、%VO₂max R^{註4)}）を測定した。%VO₂max Rは、Swain^{註5)}らの運動強度に相関すると示唆される%HRmax Rと%VO₂max R間に多くの近似した関係があるという報告があるということから測定項目に加えた。

3) BL (Blood Lactate)

血中乳酸 (BL) は、安静時と各運動後に指先より採血し、血中乳酸測定装置、ダイアグルカ (東洋紡) で分析した。Onset of Blood Lactate Accumulation (: 以下 OBLA) の値を 4 mmol とした。

4) RPE (Ratings of Perceived Exertion)

各運動間の休憩時に RPE を記録した。RPE は、Borg の作成した主観的運動強度を rating した scale を基に小野²⁴⁾らが作成した日本語の rating scale を用い、負荷強度の各 3 分間の作業終了後直前に数字による口答、又は、scale の数字を指で示す方法を用いた (Table 1)。

5) トレーニング内容

第 1 次実験結果より運動処方を行い、各自で行っているトレーニングによる変化をみるため、トレーニング内容を記録した。その後同様な方法で第 2 次実験を実施した。

6) フル・ハーフマラソン走行時の RPE, HR

フル・ハーフマラソン走行時の HR は、ハートレートモニター (キャノン製) を使用し、記録した。RPE は、走行終了後、直ちに記録した。

6. データ処理

統計処理は、医用統計ソフト StatMate II を使用し、相関係数の算出、t 検定を行った。

注. 1 $\% \text{ of HRmax} = \text{HR} \div \text{HRmax} \times 100$

注. 2 $\% \text{ of HRmax reserve} = \text{WR} \div (\text{MR} - \text{RR}) \times 100$ (カルボーネン¹⁷⁾の式より)

注. 3 $\% \text{ of VO}_2\text{max} = \text{VO}_2 \div \text{VO}_2\text{max} \times 100$

注. 4 $\% \text{ of VO}_2\text{max reserve} = \text{W VO}_2 \div (\text{MVO}_2 - \text{RVO}_2) \times 100$ (Swain²⁶⁾より)

IV 研究結果

1. 漸増運動における RPE と生理学的応答の関係

1) RPE と HR, VO₂ の対応性

Borg の作成した RPE は、数値尺度が心拍数の約 10 分の 1 に相当するように設定されている。小野寺らが作成した日本語版も Borg の RPE に忠実な形で訳されているが、この指標は健常者にもみ使用されている。そのため、漸増運動で得られた肢体不自由者の RPE と心拍数の相関係数を検討した結果、有意であった ($p < 0.01$, $r = 0.62$)。また、VO₂ においても有意な相関があった ($p < 0.01$, $r = 0.63$) (Fig. 1)。運動処方後の測定では、HR ($r = 0.30$, $p < 0.05$), VO₂ ($r = 0.57$, $p < 0.01$) とともに有意な相関がみられた。

2) RPE と客観的運動強度の対応性

RPE と $\% \text{ HRmax}$ ($p < 0.01$, $r = 0.68$), $\% \text{ HRmax reserve}$ ($p < 0.01$, $r = 0.70$), $\% \text{ VO}_2\text{max}$ ($p < 0.01$, $r = 0.70$), $\% \text{ VO}_2\text{max reserve}$ ($p < 0.01$, $r = 0.70$) 間では、それぞれの高い相関がみられた (Fig. 2)。

また、運動処方後では、 $\% \text{ HRmax}$ ($r = 0.78$, $p < 0.01$), $\% \text{ HRmax reserve}$ ($r = 0.76$, $p < 0.01$), $\% \text{ VO}_2\text{max}$ ($r = 0.70$, $p <$

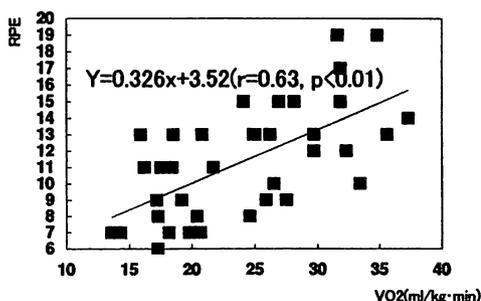
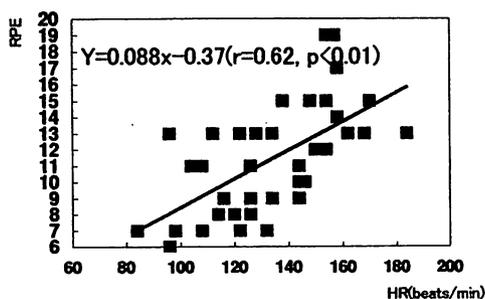


Fig. 1 第 1 次実験の RPE と HR 及び VO₂ の関係

0.01), % VO₂max reserve (r =0.71, p<

0.01) それぞれ高い相関がみられた。

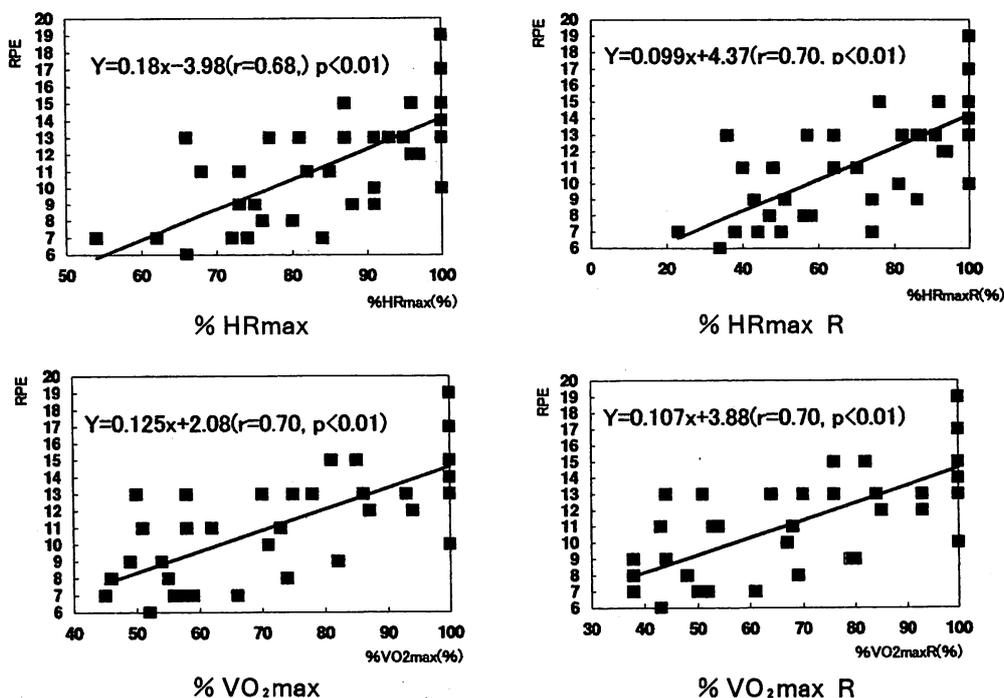


Fig. 2 第1次実験でのRPEと客観的運動強度の関係

2. OBLA時のRPEと生理学的応答

低い運動強度での血中乳酸は一定の値を維持するが、運動強度が高くなると血中乳酸濃度は一定の値を維持できずに増加し続け、ついには運動が継続できなくなる。その最初の増加点(第1変位点)をLT(Lactate Threshold: 2 mmol),そして血中乳酸が4 mmolに達した時点をおBLAという。これらの値について、Heck¹⁰⁾は、個人差はあるが、高い持久力のある被験者の血中乳酸閾値は高く、低い持久力の被験者の閾値は低くなると報告している。また、Billat³⁾のトレーニング調整や運動強度を予測するための血中乳酸値の活用報告からも分かるように、血中乳酸値を測定することは、トレーニング強度の指標やトレーニングの効果を知るのに有効である。持久競技では、血中乳酸を増加させずに如何に強い強度で運動を行えるかという能力が重要であり、これは持久性トレーニングでしか向上しない²⁰⁾また、Demello⁹⁾は、活動を行っている健常者と行っていない健常者

を対象にLT時のRPEについて研究を行い、BL濃度とRPE間に相関がみられたと報告している。これらの理由から、運動処方指針とするためにOBLA時のRPEを重要な一つの指標とした(Table 3)。

男子被験者におけるRPE, HR, VO₂の平均値は、RPE13(±2.8), 148beats/min(±9.8), 27.3ml/kg•min(±5.6)であった。また、客観的運動強度の平均値は、87%Vo₂max(±13.3), 84%Vo₂maxR(±15.6), 94%HRmax(±6.7), 87%HRmaxR(±13.2)であった。

3. RPEを用いた運動処方とトレーニング記録

頻度は、週1回~7回の平均3.5回であり、トレーニング時間は1.5hrsから最高3.0hrsの平均1.7hrsであった。RPEは、個人間で差はみられたものの平均13.3であった。車椅子を使用するため、練習は北谷や糸満などの競技場や

Table 3 OBLA 時の生理学的応答 (第 1 次実験)

(男子)

NAME	RPE	HR	VO ₂ (ml/kg·m)	%VO ₂ max	%VO ₂ max R	%HRmax	%HRmax R
S. O	13	147	31.03	93	91	97	94
T. I	11	143	19.65	64	59	83	68
A. M	11	148	21.59	61	52	80	59
O. T	14	167	23.02	95	95	98	97
J. H	15	136	19.92	93	91	96	89
Y. E	9	133	29.58	89	83	93	87
T. K	17	153	30.65	97	94	97	96
H. I	13	149	29.86	94	93	93	87
S. Y	18	152	32.55	94	92	99	97
Y. T	13	156	34.93	94	93	99	97
AVG	13.4	148.4	27.3	87.4	84.3	93.5	87.1
STD	2.8	9.78	5.6	13.3	15.6	6.7	13.2
(健常者男子)							
M. H	12	116	14.47	59	48	73	52
(頸椎損傷者)							
T. S	18	111	20.16	100	100	100	100

海岸沿いの平坦な場所に集中していた。

4. RPE を用いたトレーニングの効果

運動処方後に第 1 次実験と同様な方法で第 2 次実験を行い、個人における運動処方の効果を検討した。

運動処方後の全体における RPE, HR, VO₂ の平均値は、13 (±2.1), 143beats/min (±23.0), 24.9ml/kg·min (±4.6) であった。また、客観的運動強度の平均値は、84%VO₂ max (±11.8), 82%VO₂ max R (±13.6), 85%HRmax (±11.4), 73%HRmax R (±19.9) であった。

1) 個人における運動処方後の OBLA 時の

RPE と生理学的応答の変化

前述したように、OBLA 時における VO₂ が高い人ほど乳酸を蓄積せずに高い運動強度を継続して行うことができる。そのため、OBLA 時の VO₂ は、有酸素性作業能力の一つの指標として活用することができる¹⁰⁾。

運動処方前後の結果を比較すると、A. M の

VO₂ は 21.6ml/kg·min から 28.0ml/kg·min に増加し有酸素性作業能力が向上していた。一方 S. O は、31.0ml/kg·min から 20.0ml/kg·min に減少し有酸素性作業能力が低下していた。その他の被験者については、VO₂ の増加はなく、5.5~2.2ml/kg·min の範囲内でやや減少していた。また、%VO₂ max をみると、S. O は、93% から 65% に大きく減少しており、反対に A. M は、61% から 94% に増加していた。Y. E と Y. T 以外は、運動処方後の RPE が低くなる傾向にあった。その他の客観的運動強度の値も同様に、A. M は向上する傾向が見られ、S. O は低下する傾向が見られた。第 2 次実験の結果は、以下の通りである (Table 4)。

2) 個人における運動処方の効果

全身持久力が向上したものは、5 名 (Y. E, T. K, S. Y, Y. T, H. I)、現状維持した者は、2 名 (S. O, A. M)、低下した者は 1 名 (O. T) であった。

Table 4 被験者男子4名, 女子1名のOBLA時の生理学的応答(第2次実験)
(男子)

NAME	RPE	HR (b/m)	VO ₂ (ml/kg・m)	%VO ₂ max	%VO ₂ max R	%HRmax	%HRmax R
S. O	11	115	20.0	65	60	74	54
A. M	14	155	28.0	94	94	97	94
O. T	13	148	19.9	93	91	77	59
Y. E	10	126	27.4	82	79	78	63
Y. T	15	173	29.4	88	87	97	95
AVG	12.6	143.3	24.9	84.4	82.2	84.6	73.0
SD	2.07	23.0	4.6	11.8	13.6	11.4	19.9

(健常者男子)

M. H	15	142	14.7	83	77	83	68
------	----	-----	------	----	----	----	----

Table 5 被験者6名のハーフ・フルマラソン測定結果

(男子・女子)

(健常者男子)

NAME	S. O	A. M	H. I	S. Y	Y. T	AVG	SD	MH
Distance	フル	フル	フル	フル	ハーフ			ハーフ
TIME	2' 09" 00	2' 31" 14	2' 15" 44	2' 09" 54	1' 09" 49			1' 45" 12
RPE	19	13	17	15	13	15	2.4	15
HR (ave)	157	180	175	158	170	168	10.2	130
%HRmax	100	100	100	100	100	100	0	81
%HRmax R	100	100	100	100	100	100	0	64

5. フル・ハーフマラソン走行時のHR,

RPE

被験者6名のフル・ハーフマラソン走行時の最大RPEは, S. Oの19, 最低RPEはY. Tらの13, 平均RPE 15 (±2.4) “きつい”であった。

最高HRはA. Mの180beats/min, 最低HRはS. Yの158beats/min, 平均HRは168 (±10.2) beats/minであった。全ての被験者においてフル・ハーフマラソンは100%の運動強度であった。健常者男性M. HのRPEは15で他の平均値と同様な値を示した。また, HRは130beats/minで低い値を示した。運動強度は, 81%HR max, 64%HR max reserveであった (Table 5)。被験者が示したRPEとHRの関係を, 漸増運動負荷テストで得られたデータと比較してみるとほぼ同様な値を示した。

V 考察

1. 肢体不自由者におけるRPEの妥当性

RPEは, 主観的な運動強度であるため, 環境や心理的なものを与える影響が非常に重要な要因となることが示されている。Skinner²⁰⁾や肖²¹⁾らは, 環境温度の違いでRPEとHRの関係が異なると報告しており, また, 薬物投与することによっても大きく影響を受ける。Burgess⁶⁾らは, グルコース投与によってHR, BLは変化しなかったが, 全身運動におけるRPEと脚運動におけるRPEは有意に低くなったと報告している。また, 運動時の音楽の有無や, パーソナリティー要因などにも大きく影響を受けるといわれている。Morgan²²⁾は, RPEに影響を与える心理的要因について研究を行っており, 一般の健康な被験者では, RPEは有

効であるが、神経症患者は、運動強度を認知することが困難なため使用することは難しく、また外向型の人には、よりきつい運動強度で低いRPEを示す傾向がみられたと興味深い報告を行っている。これらのことから、対象者や測定時の環境が重要な要因となる。

今回の被験者は、肢体不自由者（脊髄損傷者・頸椎損傷者・ポリオ）であった。RPEを使用して車椅子スポーツの運動強度を測定した研究報告は少なく、実際に妥当性があるのか明確ではない。しかし、すべての被験者は、健康で薬物を常用していない肢体不自由者であり、スポーツ歴も長く、障害を除けば健常者とかわらない生活を送っている車椅子アスリートであった。

1) RPEとHR, VO₂の対応性について

Borg⁴⁾の作成したRPEは、数値尺度がHRの約10分の1に相当するように設定されている。これを日本語版に作成し直した小野寺²⁰⁾らのRPE指標を使用し、漸増負荷運動テストで得られた肢体不自由者のHRとの対応性を検討した結果、有意な相関が得られた。また、VO₂においても同様な結果が得られたことから、RPEは、肢体不自由者においてもトレーニング時に使用できる有効な指標であることが示唆され、星川¹⁹⁾らや小野寺²⁰⁾らのRPEとHR, VO₂は対応性があるという結果をも支持するものとなった。

高木²⁰⁾はレース用車椅子走行中の脊髄損傷者の生理学的応答について研究を行い、RPE 16.4（新RPE 9.4）時のVO₂maxは、35.5 ± 8.93ml/kg・min、HRmaxは、180.2 ± 7.4 beats/min、であったと報告している。本研究の結果と比較するとRPE 15~16の範囲が高木のVO₂max、HRmaxに相当しており、また、運動処方後に得られた値と比較すると、RPE 14~16の範囲となり、やや低い近似した結果となった。

また、星川¹⁹⁾らは、健常者を対象に主観的運動強度を応用した体力測定法の安全性について検討を行っており、その中でRPE 13の“ややきつい”での推定VO₂は、22.6 ± 4.2ml/kg・

min、平均HRは、122.3 ± 15.3beats/minであったと報告している。しかし、本研究では、RPE 10~11の範囲が星川¹⁹⁾らの推定VO₂、平均HRに相当し、また、RPE 13の“ややきつい”での推定VO₂は29.0ml/kg・min、平均HRは、151.9beats/minとなり、星川らの報告よりもRPE, VO₂, HR共にやや高い値となった。しかし、運動処方後の値と比較すると、RPE 12~13の範囲が星川¹⁹⁾らの推定VO₂、平均HRに相当し、またRPE 13での推定VO₂は23.7ml/kg・min、平均HRは、145.0beats/minとなり、HRは依然高い傾向を示すもののVO₂は、トレーニングを行うことによって健常者の値と近似してくる傾向がみられた。

一般に腕運動は、活動部位が心臓に近いために心拍数が上昇しやすいと言われている。また、村木²⁰⁾らは、脊髄損傷者の損傷レベルが上肢の最大運動時の循環応答に及ぼす影響について研究を行っており、その中で、健常者と比較しても障害レベルの低位な肢体不自由者のHRが同負荷時において有意に高いと報告している。しかし、本研究より、肢体不自由者を対象に車椅子エルゴメーター走行時における腕運動においてもHRとRPE間に相関があり運動強度の指標として有効であることが示唆された。

しかし、今回の被験者が、トレーニングを継続的に行っている車椅子アスリートであったために健常者と同様な結果が得られたということも考慮する必要がある。Davis⁹⁾らは、活発に運動を行っている肢体不自由者男性15名と運動を行っていない肢体不自由者男性15名の腕エルゴメーター駆動時における最大、最大下運動を行い、心肺能力の比較を行っている。その報告では、活発な被験者グループは、有意に高い心肺能力を示し、一回拍出量と動静脈の酸素較差は正常であったが、不活発な被験者のグループでは、顕著な一回拍出量の減少を示したと述べている。また、Zwiren²⁰⁾らは運動を行っている肢体不自由者とそうでない肢体不自由者の身体構成と呼吸循環器系の機能評価における報告を行っている。その中で、最大下運動時のHRは、

健常者国際スポーツ選手、活動的でない健常者よりも国際レベルの車椅子スポーツ選手が有意に高いが、運動を行っていない肢体不自由者はそれよりも顕著に高いHRとなったと述べている。これらの運動を行っていない肢体不自由者に対して、RPEが運動指標として使用できるのか、今後さらに研究を行う必要があると考えられる。

また、今回の被験者は、ポリオ、脊髄損傷者、頸椎損傷者であった。ポリオ、脊髄損傷者は、車椅子マラソンのクラス分類では、“クラス3”であるのに対し、頸椎損傷者は“クラス2”であることから分かるように、頸椎損傷者は、障害が他の被験者よりも重く、また1名しか測定することができなかったことから今回の全体結果には入れるべきでないと判断し、測定結果だけを示した。しかし、その結果から検討を要する項目がいくつか明らかにされた。それは、他の被験者に比べHRが上昇しないこと、RPEとHRに対応性が見られないこと、継続的なトレーニングを行っているにも関わらず VO_2max が顕著に低いことなどである。これらは障害における身体的・生理学的な特徴であると考えられるが、これらのことを考慮すると、健常者の使用するRPEが頸椎損傷者に有効な指標となりえるのか疑問が残る。しかし、本研究では、被験者が1名であったために明確な結果を得ることができなかった。よって今後さらに研究の蓄積が必要である。

2) RPEと客観的運動強度の対応性

本研究の結果より、RPEと客観的運動強度間において、小野寺²⁰⁾らの健常者における報告を支持するものとなった。この結果より、今回の被験者である肢体不自由者においてもRPEの妥当性を示唆する結果となった。

ところで、アメリカ大学スポーツ医学会¹⁾の健常者を対象とした報告では、体力を維持・向上するために適した運動強度は、60~90%HRmax、又は50~85% VO_2max (%HRmax R)と報告している。今回の結果より得られたRPEの指数では、“7”の“非常に楽である”

から“13”の“ややきつい”の範囲であった。また、小野寺²⁰⁾らは、健常者の全身持久性運動における主観的運動強度と客観的運動強度の対応性における研究の中で、scaleによる表示と% VO_2max 、%HRmaxとの関係について、“17”の“かなりきつい”は、90% VO_2max 、95%HRmaxに、“15”の“きつい”は80% VO_2max 、88%HRmaxに、“13”の“ややきつい”は、65% VO_2max 、80%HRmaxにほぼ相当したと述べている。また、RPE15でトレーニングを行った結果、全身持久性能力が向上したと報告している。しかし、今回の結果では、“13”の“ややきつい”が、90% VO_2max 、95%HRmaxに、“12”の“ややきつい”と“まあまあ楽である”の中間が80% VO_2max 、88%HRmaxに、“10”の“まあまあ楽である”と“楽である”の中間が、65% VO_2max 、80%HRmaxにほぼ相当した。このことから、RPE12が肢体不自由者にとって望ましい強度ということになった。また、運動処方後では、RPE13が15に、12が14に、10が12へとトレーニングによって向上がみられたが、健常者と比較すると低い指数になることが明らかとなった。Astrand²¹⁾は、様々な種類の最大運動を行い、HR、 VO_2 、% VO_2max 、%HRmaxの研究を行い、その中で、腕運動における% VO_2max は、全身運動の約70%であったと報告している。しかし今回の結果はこの報告にあてはまらなかった。また、高木²²⁾の肢体不自由者を対象とした研究では、RPE16.4で100% VO_2max を示したと報告しており、運動処方後のRPE16で100% VO_2max を示し、ほぼ同様な値となった。

3) ハーフ・フルマラソン走行時と漸増運動時のRPE、HRとの対応性

Coutts⁷⁾は、車椅子スポーツ選手のスポーツ活動時におけるHRについて研究を行った。結果は、平均HRは、テニス試合時で127beats/min、バレーボール試合時で114beats/min、ラケットボール試合時で135beats/min、バスケットボール試合時で149beats/minであったと報告しており、フル・ハーフマラソン走行時

における平均HR 168beats/min は、報告したどんな障害者スポーツの練習・試合時のHRよりも高い値となった。本研究の結果では、フル・ハーフマラソン走行時における平均RPEは、個人差はあるものの15の“きつい”レベルで、約100%HRmaxであった。これは、アメリカ大学スポーツ医学会¹⁾が推奨している体力維持・向上のための運動強度である60~90%HRmaxを大きく上回る値となった。また、車椅子マラソン走行時の運動強度はVTを超えると高木²⁾は報告しており、本研究の結果はそれを支持した非常に高い運動強度であったと推測される。一般にフィールドで行われるマラソン時のHR、RPEなどの測定は、走行する道路や風速、気温、湿度等の気象条件が大きく影響するため、実験室でおこなわれる測定とは異なると予測される。しかし、個人におけるマラソン時のRPEとHRの関係と漸増運動時のRPEとHRの関係がほぼ一致したため、RPEはroad上でも有効に活用できる指標としての可能性が示唆された。

2. RPEを用いたトレーニング効果

ここでは、OBLA時における生理学的応答と第1測定と同様な方法で行われた第2次測定結果より得られた生理学的応答の結果をもとにトレーニング効果について検討する。

先にも検討を行ったように、OBLA時のVO₂は有酸素性作業能力を評価する一つの指標として一般に活用されている¹⁰⁾。また、Frey¹⁰⁾らは、脊髄損傷者を対象に漸増運動負荷テストを行い、カテコラミンと乳酸反応について研究を行った結果、健常者と同様な結果がみられたと報告している。そのためOBLA時のRPEを用いた運動処方によって約2ヶ月間のトレーニングを行った。運動処方後におけるOBLA時のVO₂が向上した被験者は1名(A.M)のみで、ほとんどの被験者においてOBLA時におけるVO₂は維持または低下する傾向が見られた。吉田²⁾は、持久競技の記録は最大酸素摂取量も重要であるがむしろBLが急激に増

加しないで如何に高い強度の運動ができるかという能力が重要であると報告している。A.MのOBLA時におけるVO₂は運動処方前後で6.4ml/kg・min増加しており、また、客観的運動強度も90%以上であった。これより、A.Mにトレーニングによって有酸素性作業能力が向上したと考えられる。

次に第2次測定結果より得られた生理学的応答の結果についてみると、被験者8名中6名(O.T, Y.E, T.K, S.Y, Y.T, H.I)の被験者に有意な変化がみられ、2名(S.O, A.M)の被験者では、差はみられなかった。

Y.E, T.K, S.Yでは、VO₂が有意に低い値を示し、またその他の生理学的応答についても減少する傾向が見られた。しかし、OBLA時のVO₂の変化はみられなかったことから、機械的効率が向上し、その結果、負荷に対する強度、HRが低下し、一回拍出量が増加したと考えられる。宮下¹⁰⁾は、長時間におけるRPEと生理反応との対応関係及びトレーニングに伴う効果について研究を行った結果、トレーニングを継続して行うことにより同負荷に対し全身持久能力の改善に伴い、RPEが低下する傾向にあると報告している。この結果より、今後、トレーニングを継続することによって宮下¹⁰⁾の述べるようにRPEも低下するのではないかと推測される。

Y.Tでは、処方後のRPE、HRに有意な差はみられなかったが、その他の客観的運動強度は、有意に低い値を示し、一回拍出量が増加したと推測された。しかし、OBLA時のVO₂は低下していた。これらの結果より、有酸素性作業能力は、低下傾向にあったが、それ以上に機械的効率が向上したことによって、処方後の結果では、トレーニング効果がみられた。H.Iでも、Y.Tと同様な結果となり、また、特に注目する点は、運動処方後のVO₂maxが約8.2ml/kg・minも増加したことであった。

A.Mでは、HR、VO₂が有意に低い値を示した以外の生理学的応答に変化が見られなかった。しかし、OBLA時のVO₂は高い値を示し、

処方前の測定では、16km/hの負荷でオールアウトしたのに対し、処方後では、25km/hの負荷まで走行することができた。これらのことから、心肺機能は向上したと考えられる。

一方、S.Oでは、VO₂は有意に減少しているが、その他の生理学的応答については、全く差が見られなかった。これは、有酸素性作業能力は、減少の傾向にあったが、高い機械的効率を維持しているために差が見られなかったと推測される。また、トレーニング内容のみならず、平均トレーニング頻度をみたくておらず、トレーニング不足による能力の低下が推測される。

O.Tでは、運動処方前よりVO₂が減少し、HRが増加、客観的運動強度は増加している。これより一回拍出量の減少が予想され、このことが全身持久能力の低下の原因ではないかと考えられる。また、処方前では、19km/hの負荷で走行できたが、処方後では16km/hの負荷でオールアウトになったことから示唆される。このことは、トレーニングの頻度の条件(週3~5回)が満たされなかったことによるものと考えられる。

以上の個人のトレーニング結果より全体的な傾向をみると、機能面の向上と機械的効率面の向上という2つの観点からトレーニングの効果を見ることができた。

Jacobs¹⁶⁾らは、上肢運動に対する肢体不自由者の生理学的反応について、トレーニングがFNS: 神経筋肉刺激反応機能に及ぼす影響について研究を行った。その結果、HRは、継続トレーニング後において5%水準で有意に低下したと報告している。この報告からもHRが有意に低下していたA.M, Y.E, S.Yの3名におけるトレーニング効果があったと推測される。また、先に述べたように宮下¹⁰⁾らの報告では、継続運動によってHR, RPEが共に低下する傾向が見られ、その傾向は負荷の高いところで顕著であったと報告している。今回の結果でも、運動処方後での16km/h・19km/hの負荷においてその傾向が同様にみられ、宮下の報告を支持するものとなった。また、レース用車椅子走

行中の生理学的応答について研究を行っている高木²⁰⁾は、速度に対してVO₂は二次関数的に増加し、HRはS字状に上昇したと報告している。本研究からも同様な傾向が認められた。

本研究において持久力の向上が見られた被験者5名は、与えられた運動強度で週3回以上、1.5時間以上のトレーニングを行っていた。アメリカ大学スポーツ医学会¹⁾の報告している有酸素能力を向上するための望ましいトレーニング頻度と時間は、週3~5回、20~60分で、これと比較するとトレーニング時間はやや長く、頻度においてもこれを満たしていた。

機械的効率について、Vanlandewijck²¹⁾は、車椅子牽引力における機械的効率に関する研究を行い、プッシュ時でのパワー供給に焦点を置くだけでなく、リカバリー時の動作パターンについても大きく左右されると報告している。今回VO₂は増加せずに、他の生理学的応答面で向上が見られた被験者は、トレーニングによって機械的効率面での向上がみられたのではないかと推察される。また、Ogataらは、車椅子マラソンの成績とVO₂max間に相関は見られず、技術力を含めた障害者の機械的効率の検討の重要性を示唆している(能勢博²²⁾の報告より引用)。また、Hilbers¹²⁾らは、デザインの異なる車椅子による肢体不自由者の代謝、HRについて研究をおこなった。その結果、必要なエネルギー量は、車椅子デザインの違いが大きく影響を与えると報告していることから、効率・機械的効率の向上のためにトレーニングを継続して行うだけでなく、自分にあったデザイン、サイズの車椅子を使用することが望ましいと言える。

本研究の結果より、有酸素作業能力の維持・向上のための運動強度の指標としてRPEは肢体不自由者(ポリオ・脊髄損傷者)に有効であり、本研究におけるトレーニング処方の妥当性を支持したものとなった。

3. 肢体不自由者の運動処方のための望ましいRPE

運動処方後の測定より、RPEが、肢体不自

由者にとって全身持久力を向上するための運動強度の有効な指標となりえることが支持された。しかし、問題はその基準値である。能勢²⁰⁾は、健常者と比較した障害者の運動負荷基準設定の問題点について、活動筋量の低下した障害者において、健常者で使用されているVO₂maxの判定基準をそのまま適用することは困難であると述べている。一方、田島²⁰⁾らは、脊髄損傷者における障害者スポーツの運動負荷基準について、障害を理由とした積極的な運動制限は不必要であり、運動基準に関しては健常者の指標のほとんどが使用できる述べている。

本研究では、個人差はあるもののOBLA時の平均RPE“13”の“ややきつい”レベルで運動処方を行ったところ、全身持久力の向上がみられた。一方、小野寺²⁰⁾らは、健常者において“15”の“きつい”レベルでトレーニングを行い持久力の向上がみられたと報告している。また、星川²⁰⁾らは、RPE13レベルの運動は、中高年において安全に行える運動であると述べており、これらの報告からも今回のRPE13は、健常者とやや異なったものと考えられる。その異なる原因として、車椅子スポーツ特有の腕運動による影響が考えられる。全身運動に比べ、腕運動は心拍数が上昇しやすく、約10~15%程高い値を示すといわれている。また、村木²⁰⁾らは、脊髄損傷者の損傷レベルが高いほど一回拍出量が減少し、心拍数が増加すると報告している。一方、石井²⁰⁾らは、脊髄損傷者の運動時における生理学的応答に暑熱環境が与える影響についての研究では、なんらかの有意な差は見られなかったと報告している。しかし、自律神経機能の低下と発汗機能の低下、HRの増加について示唆していた。一方、肢体不自由者の心理的要因の可能性も否定できない。

今後も研究を重ねデータの蓄積を待って検討する必要がある。がしかし、本研究の結果では、個人差はあったものの肢体不自由者における持久力向上のための運動強度は、平均RPE13の前後で設定し、この強度でトレーニングを行ったことによって被験者の持久力向上がみられた。

VI 要約

本研究では、Borgによって開発、作成されたRPEが、肢体不自由者のHR、VO₂、客観的運動強度と相関があり、全身持久力を向上させるための有効な指標となりうるか、その妥当性について検討することを第1の目的とした。また、この指標は健常者用であるため、障害者にも適用できるのかを調べ、その有用性を明らかにし今後の障害者スポーツの運動処方に関する基礎資料を得ることを第2の目的とした。

被験者は、車椅子マラソンチーム（チーム名：タートルズ）の男性12名（健常者1名を含む）、女性1名のポリオ、脊髄損傷、頸椎損傷等の障害を持つ肢体不自由者であった。

トレーニング用車椅子エルゴメーター走行における漸増運動負荷テストを行い、RPE、生理学的応答について測定した。OBLA時のRPEを推定し、それをもとに運動処方を行い、トレーニング効果の有無を検討した。また、フル・ハーフマラソン走行時のHR、RPEを調べ、漸増運動時の値と比較と比較し、対応性があるかどうか調査を行った。本研究の結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) RPEは、肢体不自由者の生理学的応答間と高い相関がみられた。
- 2) フル・ハーフマラソン走行時のRPEに対するHRは、漸増運動時のRPE、HRの関係と同様な結果となった。
- 3) 個人差はあるもののOBLA時のRPE（平均RPE13）を基に運動処方を行った結果、被験者6名の持久力が向上し、1名が現状維持、1名が低下の傾向がみられた。この持久力の低下した被験者は、トレーニングの望ましい頻度条件を満たしておらず、そのため持久力の向上が見られなかったと考えられる。
- 4) 本研究の肢体不自由者のVO₂maxは、他の研究報告と同様な非常に優れた値を示した。

本研究の結果より、健常者用 RPE は、肢体不自由者（ポリオ・脊髄損傷者）がトレーニングを行う際の有効な指標として使用できることが示唆された。このことによって、肢体不自由者がトレーニングの効果を容易に認識することが可能になったということは、大変意義あるものであると考えられる。しかし、全身持久力向上のための健常者に望ましい RPE が肢体不自由者にも当てはまるかどうかについては今後さらにデータの蓄積を行い、検討していく必要があると考えられる。また、他の障害者における RPE の妥当性についても今後の研究課題としたい。本研究を踏まえ、スポーツや運動に親しみ持久力を向上させることによって、障害者のあらゆる可能性をひろげ、生活習慣病の予防、健康の維持増進に寄与でき、より一層の障害者スポーツの普及とその発展に貴重な資料が得られたものとする。

本論文は1998年度琉球大学教育学研究科修士論文の一部である。

謝 辞

本研究に快く被験者として参加、協力して下さいました車椅子マラソンチーム、タートルズの皆さんに深く感謝致します。

VII 文献

- 1) AMERICAN COLLEGE of SPORTS MEDICINE: The Recommended Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness in Healthy Adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 25:71-80, 1993.
- 2) Astrand Per-olof, and Saltin Bengt: Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J. Appl. Physio.*, 16(6), 977-981, 1961.
- 3) Billat Veronique L. : Use of Blood Lactate Measurements for Prediction of Exercise Performance and Control of training. *Sports Med.*, Sep., 22(3), 157-175, 1996.
- 4) Borg V. A. Gunnar : Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports*, 5, 90-93, 1973.
- 5) Borg V. A. Gunnar, Ljunggren G., and Ceci R. : The increase of perceived exertion, aches and pain in the legs, heart rate and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. *Eur. J. Appl. Physio.*, 54, 343-349, 1985.
- 6) Burgess L. Maria, Robertson J. Robert, Davis Mark J., and Norris M. Jami: RPE, blood glucose, and carbohydrate oxidation during exercise: effects of glucose feedings. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23(3), 353-359, 1991.
- 7) Coutts D. K., PhD: Heart Rates of Participants in Wheelchair Sports. *Paraplegia*, 26, 43-49, 1988.
- 8) Davis M. Glen and Shephard J. Roy: Cardiorespiratory fitness in highly active Versus inactive paraplegics. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20(5), 463-468, 1988.
- 9) Demello J. J., K. J. Cureton, R. E. Boineau and M. M. Singh: Ratings of perceived exertion at the lactate threshold in trained and untrained men and woman. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19, 354-362, 1987.
- 10) Frey C. Georgia, McCubbin A. Jeffrey, Dunn M. John, and Mazzeo S. Robert: Plasma catecholamine and lactate relationship during graded exercise in men with spinal cord injury. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29(4), 451-456, 1997.
- 11) H. Heck Von Hess G., Mader A. : Vergleichende Untersuchung zu verschiedenen Laktat-Schwellenkonzepten. (Comparative study of different lactate threshold

- concepts) Deutsche Zeitschrift fur sportmedizin, 1, 19-25, 1985.
- 12) Hilbers A. Pamela, and White P. Timothy: Effects of wheelchair Design on Metabolic and Heart rate Responses During Propulsion by Persons with Paraplegia. Phys. Therapy, 67(91), 1355-1358, 1987.
 - 13) 星川保, 斉藤由美, 村瀬豊: 主観的運動強度(RPE-13時)を用いた高年者向け体力測定法の開発(2)-血圧と心電図変化からみたテストの安全性について-. 体育科学, 21, 187-194, 1993.
 - 14) 池上晴夫: 運動生理学. 朝倉書店. 1995.
 - 15) 石井好二郎, 山崎昌廣, 村木里志, 小村堯, 菊池邦雄, 宮側敏明, 藤本繁夫, 前田如矢: 暑熱環境下運動が脊髄損傷者の鼓膜温, 皮膚温, 酸素摂取量, 及び心拍数に及ぼす影響. 臨床スポーツ医学, 13(9), 1066-1072, 1996.
 - 16) Jacobs L. Patrick, PhD, Nash S. Mark, PhD, Klose J. K., PhD, Guest S. Rdsalind, BPT, Needham-Shropshire, MS, PT, OTR, Green A. Barth, MD: Evaluation of a Training Program for Using the Parastep 1 Ambulation System: Part 2. Effects on Physiological Responses to Peak Arm Ergometry. Arch. Phys. Med. Rehabil., August, 78, 794-798, 1997.
 - 17) Karvonen J. M., Kentara E., and Mustala O. : The effects of training on heart rate The Institute of Occupational Health 307-315. 1957.
 - 18) 宮下充正, 小野寺孝一, 跡見順子: 長時間運動における Rating of Perceived Exertion と生理的反応との対応関係及びそのトレーニングに伴う変化. 体育科学, 5, 83-88, 1977.
 - 19) Morgan P. William: psychological factors influencing perceived exertion. Med. Sci. Sports, 5(2), 97-103, 1973.
 - 20) 村木里志, 綱分憲明, 山崎昌廣, 菊池邦雄: 脊髄損傷者の障害レベルが最大下上肢運動時の循環応答に及ぼす影響について. 体力科学,
 - 21) Noble J. Bruce, Mets F. Kenneth, Pandolf B. Kent and Cafarelli Enzo: Perceptual responses to exercise: a multiple regression study. Med. Sci. Sports, 5(2), 104-109, 1973.
 - 22) 能勢博: 障害者の運動負荷基準設定の問題点: 健常者と比較して. 体力科学, 46, 31-32, 1997.
 - 23) Obara Taturou: Aerobic Power and Anaerobic Threshold in The Wheelchair Basketball Player. Exer. Sports Physiology. 4(4), 140, 1999.
 - 24) 小野寺孝一, 宮下充正: 全身持久性における主観的強度と客観的強度の対応性. 体育学研究, 21(4), 191-203, 1976.
 - 25) Skinner S. James, Hutsler R., Bergsteinova V., and Buskirk R. E. : Perception of effort during different types of exercise and under different environmental conditions. Med. Sci. Sports, 5(2), 110-115, 1973.
 - 26) Swain P. David, Leutholtz C. Brian, King E. Michele, Haas A. Lisa, and Branch D. J. : Relationship between %HR Reserve and %VO₂ Reserve in treadmill exercise. Med. Sci. Sports Exerc., 30(2), 318-321, 1998.
 - 27) 肖国強, 石河利寛: 急性の脱水が高温下の Anaerobic Threshold, Onset of Blood Lactate Accumulation 及び主観的運動強度に及ぼす影響について. 日本運動生理学雑誌, 5(2), 137-144, 1998.
 - 28) 田島文博, 緒方甫, 井出睦, 古澤一成: 「車椅子からみた脊髄損傷者の体力の評価と管理」. 体力科学, 46, 36-37, 1997.
 - 29) 高木聡子: 脊髄損傷者のレース用車椅子走行における生理学的応答. 体力科学, 47,

- 73-86,1998.
- 30) 寺田光代, 小野伸一郎, 原田明正: 持久走授業後にみられた主観運動強度及び局所的
主観運動強度の変化について. 体育科学,
20, 58-63, 1992.
- 31) Valandewijck C. Yves, Spaepen J. Arthur,
and Roeland J. Lysens: Wheelchair pro-
pulsion efficiency: movement pattern ad-
aptations to speed changes. Med. Sci.
Sports Exerc., 26(11), 1373-1381, 1994.
- 32) 吉田敬義: 運動の指標としての AT, LT,
OBLA の持つ意味. 体力科学, 42,406-414,
1993.
- 33) Zwiren D. Linda, and Bar-or Oded: Re-
sponses to exercise of paraplegics who
differ in conditioning level. Med. Sci.
Sports, 7(2), 94-98, 1975.