

乳酸性作業閾値からみた車椅子 バスケットボール選手の腕作業能

三重大学 征矢英昭
(共同研究者) 同 西端 泉
同 富樫健二
同 加藤桂子
同 八木規夫

Work Capacity in Arm Cranking Evaluated by Lactate Threshold in Wheelchair Basketball Players

by

Hideaki Soya, Izumi Nishibata, Kenji Togashi,
Keiko Kato, Norio Yagi
*Department of Health & Physical Education, Faculty
of Education, Mie University*

ABSTRACT

We have previously reported that lactate threshold (LT) as well as peak power output (PO_{peak}) were evaluated during a graded arm-cranking test of which intensity was increased to exhaustion in men ; sedentary untrained (C), leg-trained and (L), arm-trained (A). The results showed that PO_{peak} and LT in A-group were significantly higher than those in C and L groups. In the present study, LT or PO_{peak} determined similarly as well as above in wheel chair basketball players (W) with paraplegia were compared with those in above three groups (A, C and L).

The results obtained from W-group showed that PO_{peak} was significantly higher than that in C-group, and that both LT (W) and LT ($\%PO_{peak}$) were significantly higher than those in C and L groups. LT ($\%PO_{peak}$) was comparable to that in A-group. However, LA removal rate (mM) evaluated during recovery period for 20 min was significantly lower than those in any other groups. Therefore, these results suggest that the metabolic efficiency during a submaximal exercise in W-group can be improved to the level of A-group with highly trained upper body, even though their lower extremities were paralyzed. These effects are considered to be beneficial to their health as well as their work capacity.

要 旨

これまでの研究で、腕クランキング運動において評価された乳酸性作業閾値; LT (W) は、トレーニングの部位(脚、腕など)別に分けた、種々の運動適応群で比較すると、腕を中心とする運動適応群で最も高い傾向を認めた。さらに、このLTが、縦断的なトレーニングで増加することも確認した。今回、車椅子バスケットボール選手(W群)を対象として、腕運動におけるLTを決定し、これまでの結果と比較・検討した。

その結果、W群は、1) その最高仕事量やLTにおいて座業中心の非トレーニング群よりも有意に高いこと 2) LTの絶対値、ならびに相対値において、非トレーニング群だけでなく、脚トレーニング群よりも高く、とくにLTの相対値ではA群と同等であった。しかし、血中乳酸の除去を表すと考えられる指標においては他の群(L, A群)よりも有意に低い傾向が認められた。

これらの結果は、対麻痺のW群でも、日常のトレーニング(週2日)に加え、年間20回以上の試合などによる運動量の維持が、最高運動量を高めるだけでなく、最大下における運動効率を高める可能性を示唆するものであった。

緒 言

車椅子使用者にとって、腕を中心とする上体の筋群は、精細な作業を行うためだけでなくロコモーション(移動運動)の原動力として機能し、その有酸素的作業能の向上は、生活の質や多様性を広げる上で重要である。実際に、車椅子使用者でも、日常的にバスケットボール練習を行う者は、そうでない者に比べて最大酸素摂取量が多いこと¹²⁾。また、ボストンマラソン優勝者などは、64.6 (ml/kg/min) ときわめて高い水準(長距離ランナーなみ)に達し得ることも報告されている⁸⁾。しかし、彼らの日常生活に関係した、最大下における作業効率に関しては報告が少ない。また、最大酸素摂取量は体重当たりで評価されることが多く、実際に筋萎縮や血流低下が生じている下肢筋⁹⁾を含めた体重で割ることによる能力の過小評価などの問題がある。

これまで、われわれは、腕を中心とした上体のトレーナビリティを異なる運動選手群間(脚トレーニング群、腕トレーニング群、座業群)で比較するため、腕クランク運動中の乳酸性作業閾(LT: Lactate threshold, この場合は、血中乳酸濃度の増加の変局点に相当する腕作業強度)を用

いた¹²⁾。その結果、腕作業における LT は最高腕作業量 (W) (PO_{peak} ; Peak Power output) と高い相関を示すとともに、高度な腕トレーニング群で最も高い LT を示した。さらに、最近では、短期間 (6 週間) の持久的腕作業トレーニングが、LT を向上させることを確認し、トレーニング効果の指標としての LT の妥当性を示してきた²⁴⁾。

今回は、LT のリハビリテーションへの応用を意図し、バスケットボールクラブに所する車椅子使用者の腕作業能を、LT から横断的に評価することを目的とした。評価に際しては、これまで報告した種々のトレーニング群と LT を比較することにより行った。

1. 測定方法

1.1 被験者

実験は日本車椅子バスケットボール連盟、ならびに三重県バスケットボール協会に所属し活動している、2 チームの中軸選手 (車椅子バスケットボール群, W 群) 7 名を対象とした。被験者の身体的特性や障害の程度については表 1 に示したとうりである。本研究で対象とした W 群のうち 5 人は、三重県ならびに中部地区で No. 1 の実力をもち、前年度の日本車椅子バスケットボール競技選手権大会に出場したチームに所属していた。被験者 7 名の診断としては、片足切断と不完全な脊髄損傷 (損傷高位は胸髄 10) の二人を除けば、いずれも完全な対麻痺であった。被験者の損傷高位は、胸髄 (Th) 7~腰髄 (L) 1 であり、これには ISMGF (ストークマンデンビル競技連盟) による運動学的残存機能評価基準を示した競技規則¹³⁾により、1.0~4.5 (残存機能の高い順に 1~4.5 ポイントまで、0.5 単位で与えられる) の機能的クラスポイントが専門医により与えている。現在、国内・外を問わず、すべての公式競技の出場資格としては、このクラスポイントの合計が 13.5 以内と決められている (表 1 参照)¹³⁾。

表 1 障害者の臨床症状

Subject	Age (yrs)	lesion level	Class points	Career (yrs)
1	25	Th7-8	1.0	4.0
2	26	Th8	1.0	6.0
3	26	Th9-10	2.0	6.0
4	38	L1	2.0	18.0
5	43	Th12	2.0	16.0
6	22	Th10	3.5	2.0
7	24	*	4.5	6.0
mean	29.1	—	—	8.3
S.D.	8	—	—	6.2

被験者 No. 7 は片足切断、被験者 No. 6 は不完全対麻痺、それ以外の被験者は完全な対麻痺。

キャリアは車椅子バスケットボールの競技歴を示す

各被験者には、あらかじめ実験の目的および内容を説明して実験に対する同意を得た。実験当日は問診表による健康状態の確認により良好な者について行った。また、ほとんどの実験は前日の夜 12 時間の絶食に続く午前中に行った。午後に実験を行う場合は、最低 6 時間の絶食の後行い、血糖値の影響を除外した。

測定に先だって、本研究に関連する形態的項目 (体重、体脂肪率) を測定した。体脂肪率は、上腕と肩胛骨の 2 点計測値から求めた体密度から Brozek らの式を用いて推定した。Zwiren ら²⁶⁾もこの方法で対麻痺者の体脂肪率を推定している。

1.2 エルゴメトリー

エルゴメトリーとしての腕クランキング運動は、自転車エルゴメータ (Monark 社製) を腕用に改良したものをを用いた。負荷は 50 回転/分の割合で、4 分ごとに 10 W (1 人だけ 15 W) ずつ抵抗負荷を漸増させる負荷漸増法を用いた。今回の主目的が、最高外的仕事量 (Power output peak ; PO_{peak}) ならびに最高酸素摂取量を求めることではなく、最大下における作業効率を乳酸性作業閾値より求めることにあるので、血中乳酸の

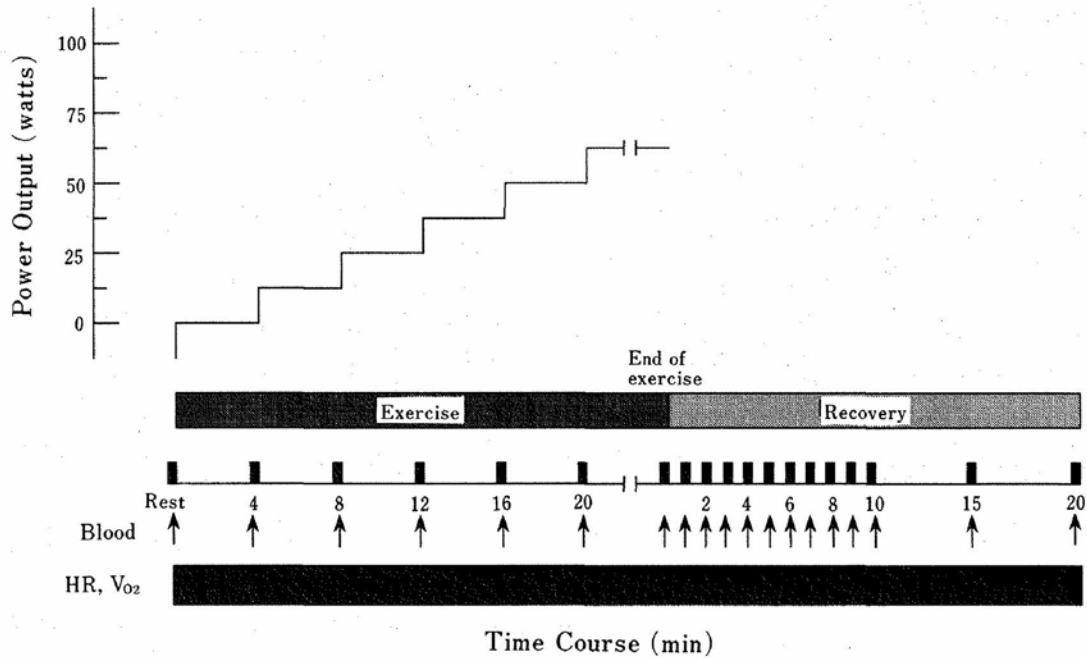


図1 50回転/分に設定された腕クランキングエルゴメータテストの概要

拡散時間などを考慮し、これまでと同様、50回転/分、4分漸増という比較的ゆるやかな漸増率を用いた。最近70回転/分の方が、酸素摂取量や換気量が高値を示すことが報告されているが、運動遂行上体幹部の支持がうまくいかず、不安定になる可能性が指摘されており¹⁹⁾、体幹の一部に麻痺をもつW群では不都合であるエルゴメトリーの詳細はすでに報告している^{22,23)}。したがって、本研究では、 PO_{max} や $\dot{V}O_{2max}$ は PO_{peak} 、 $\dot{V}O_{2peak}$ と表記した。

1.3 静脈内留置カテーテルおよび連続採血

採血はあらかじめ足背静脈に留置した翼静針(テルモ)を介して、座位安静10分後および漸増負荷テスト中、各ステージ終了前15秒間で行った。翼静針、ならびに三方活栓を介してそれに連結したシリンジ内は、100 U/mlのヘパリン(ノボヘパリン, ノボノルディスク社製)で満たし、三方活栓の切り替えによるヘパリン採血を行った。採血量は運動前、終了直後、ならびに回復20分の終了時は5 ml、それ以外はすべて500 μ l ずつ行った(図1)。得られた血液のうち、血中乳酸(La)測定分はそのままの状態ですべて測定に供すが、

他の血液はただちに遠心分離により血漿として取り出し、分析(血中脂質、カテコラミン)まで-35°Cで凍結保存した(今回はデータは示していない)。

1.4 測定項目

1.4.1 乳酸性作業閾値(LT)の決定

La濃度は速やかに自動乳酸微量分析器(YSI, 2300)を用いて測定した。Laは二回以上測定し、信頼性を確保した。誤差(0.2 mM以上)が大きい場合は3回測定し、そのつど管理した。LTはGreenら⁹⁾の方法により求めた。すなわち、得られたLa濃度と仕事量(PO: power output)との関係を、コンピュータプログラムにより二本の回帰直線で近似させ、さらにその交点を乳酸性作業閾値(LT)として個人ごとに求めた。図2はその代表例を示している。

1.4.2 La拡散時間

負荷テスト終了後、20分間の回復時間において、前半の10分間は1分ごとに、後半の10分間は5分ごとに採血を行った。Laが最も高値を示すまでに要した時間をTPL(Time to Peak La)として表わし、Laの拡散の指標とした(詳細はデ

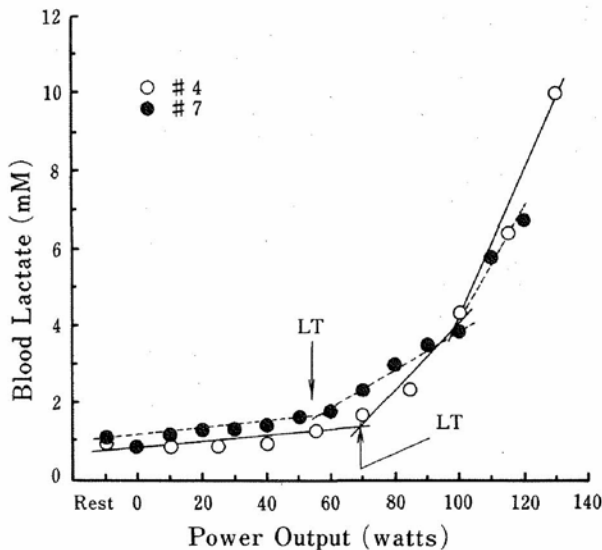


図2 LT (W) の決定法
2人被験者のLTを示す

サントスポーツ科学, Vol.13²³⁾を参照).

1.4.3 Laのクリアランス評価

負荷テスト終了直後、右肘正中静脈から採血を行い、求めたLa濃度 (arm La peak, ALP) とし、足背静脈から採血して求めたLa濃度の最高値を足部の最高La濃 (Leg La peak, LLP) とした。Pendergastらは¹⁷⁾、腕作業後の回復期において、腕から得られた血中乳酸値は運動終了直後をピークとしてただちに減少することを示しており、同時に足背静脈から得られた血中乳酸濃度が6分後をピークとして、以後減少する傾向とは異なることを示した。したがって、本研究でも、腕作業直後の血中乳酸濃度を腕作業時の最高血中乳酸濃度 (arm peak La) として評価した。また、その値と足背静脈から得られた血中乳酸濃度との差を組織での乳酸除去率 (La removal rate ; LRR) として便宜的に定義し、arm peak Laに対する割合で、次式のように表した。

$$\frac{(ALP-LLP)}{ALP}$$

1.4.4 心臓呼吸系

運動時の心拍数 (HR) をモニターすると

もに、呼気ガス分析により、最高酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2peak}$) を測定した。運動時のHRは胸部双極誘導による携帯用心拍計 (canon社製、バンテージXL) を用い、5秒ごとの平均HRとして求めた。 $\dot{V}O_{2peak}$ の測定は、ダグラスバック法により被験者の心拍数が170拍/分を越えたところより採気を始め、各ステージの3分目から4分目にかけて行った。また、心拍数が180拍/分以降は1分ごとに切り替える連続採気で行った。換気量は乾式の換気量計 (品川社製) を用いて、 O_2 、 CO_2 については、標準ガス (O_2 , 18.1%; CO_2 , 2.99%) によって校正したBM-10 (フクダ電子社製) により測定を行った。

1.4.5 主観的運動強度の判定

被験者の疲労困憊を判定する際に、ボルグ²⁾によるRPE (主観的運動強度) を用いた。

1.4.6 フィールド・パフォーマンステスト

日本障害者スポーツ協会¹⁶⁾が実施しているフィールドパフォーマンステストの実施要項により、体育館で3分間走 (m) と30秒間反復回転 (回数) の2種目を実施した。

2. 結果

2.1 W群の形態的・生理的特徴

2.1.1 損傷部位と残存機能

表1に本研究で用いた車椅子バスケットボール選手における、個々の年齢、損傷高位 (レベル)、ISMGFによる分類にもとづく機能的なクラスポイント、あるいは車椅子バスケットボール歴をそれぞれ示し、残存機能のレベルが異なる集団であることを示している。W群の損傷高位に関して、被験者No. 1, 2はともに最低点 (1.0) であるが、この場合、Th7以上の損傷高位とそれによる腹筋機能の不全が条件の一つである。これは、バスケットボールのプレイにおいては、体幹を側方に回転できない。プレー中バランスを崩した場合、自ら修正できない。あるいは腕が上がらない

表2 W群の身体的・生理学的特徴

Subject	Body weight (kg)	Chest girth (cm)	Upper arm girth (cm)	Forearm girth (cm)	Body fat (%)	HR Peak (b/min)	$\dot{V}_{O_{2peak}}$ (l)	$\dot{V}_{O_{2peak}}$ (ml/kg/min)
1	54.6	89.3	30.8	25.1	9.1	187	1.3	24.0
2	56.8	92.5	30.8	26.0	13.7	189	1.4	23.9
3	53.2	84.6	30.6	26.8	13.5	169	1.8	34.5
4	81.6	112.0	39.8	32.1	15.7	171	2.5	31.0
5	63.7	104.0	34.0	26.7	14.3	185	1.7	27.1
6	70.2	96.4	35.6	27.8	15.3	194	2.0	34.9
7	88.8	112.9	40.1	30.0	26.0	184	2.2	24.3
mean	67.0	98.8	34.5	27.8	15.4	182.7	1.8	28.5
S.D.	13.9	11.1	4.2	2.5	5.2	9.3	0.4	4.9

表3 年齢, 体重, 体脂肪率, 最高心拍数の群間比較

Group (n)		Age (yrs)	B.W. (kg)	Body fat (%)	HR _{peak} (b/min)
C (8)	mean	25.1	64.2	15.5	182.6
	S.D.	1.9	8.7	4.8	8.3
L (11)	mean	20.9a	63.8	14.4	166.5b
	S.D.	1.2	7.2	2.8	15.5
A (9)	mean	20b	73.8a, **	13.7	178.0*
	S.D.	1.2	7.5	3.3	10.2
W (7)	mean	29.1a, ****	70a	15.4	182.7**
	S.D.	8.0	13.9	5.2	9.3

C 座業コントロール群, L 脚トレーニング群, A 腕トレーニング群, W 車椅子バスケットボール選手群
 a P<0.05, b P<0.01vsC, * P<0.05, ** P<0.01vsL, **P<0.01vsA, *** P<0.01vsL

ので, 捕球動作を顔の前面でできない, などの動作の制約により定義される。

2.1.2 W群の形態および生理的特性

表2に体重, 胸囲, 上腕最大囲, 前腕最大囲, 体脂肪率, 最高心拍数, 最大酸素摂取量の絶対値, ならびに相対値をそれぞれ示した。胸囲, 上腕囲, 前腕囲は, 近藤ら¹⁴⁾により報告された健常者ならびに同様な対麻痺者のそれと比べて有意(いずれも有意P<0.01)に大きい傾向がみられた。また, 最大酸素摂取量については, 以前に同様な被験者について測定した値¹²⁾と同等であった(データは

示してない)。

それ以外のデータについては, これまでの一連の被験者群と比較し表3に示した。

2.1.3 身体的特性の群間比較

年齢は, 他のいずれの群(C, L, A群)よりも平均値で有意に高いものであった。体重では, C群よりも有意に重い傾向がみられたが, L, A群とは同等であった。しかし, 体脂肪率については他のいずれの群とも同等の値を示した。最高腕作業時の最高心拍数は, L群よりも高値を示したが, それ以外の群とはほぼ同様な値を示した(表

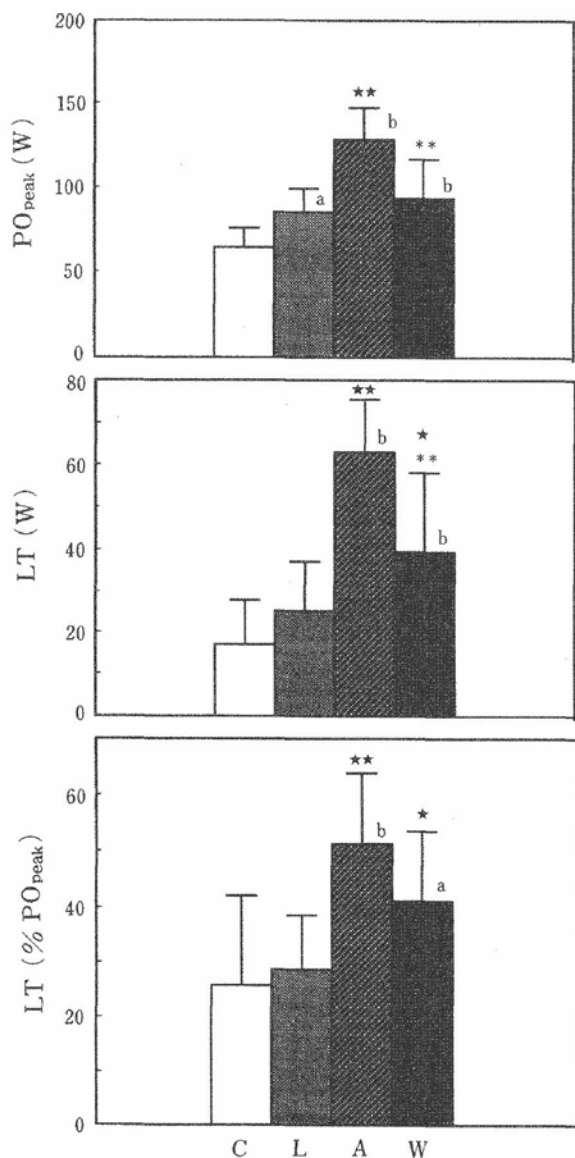


図3 PO_{peak} (W), LT (W), LT (%PO_{peak}) の群間比較
 C sedentary control
 L leg-trained
 A arm-trained
 W wheelchair-basketball players
 a P < 0.05
 b P < 0.01 vs C-group
 ★★ P < 0.01 vs L-group
 ** P < 0.01 vs A-group
 ★ P < 0.05 vs L-group

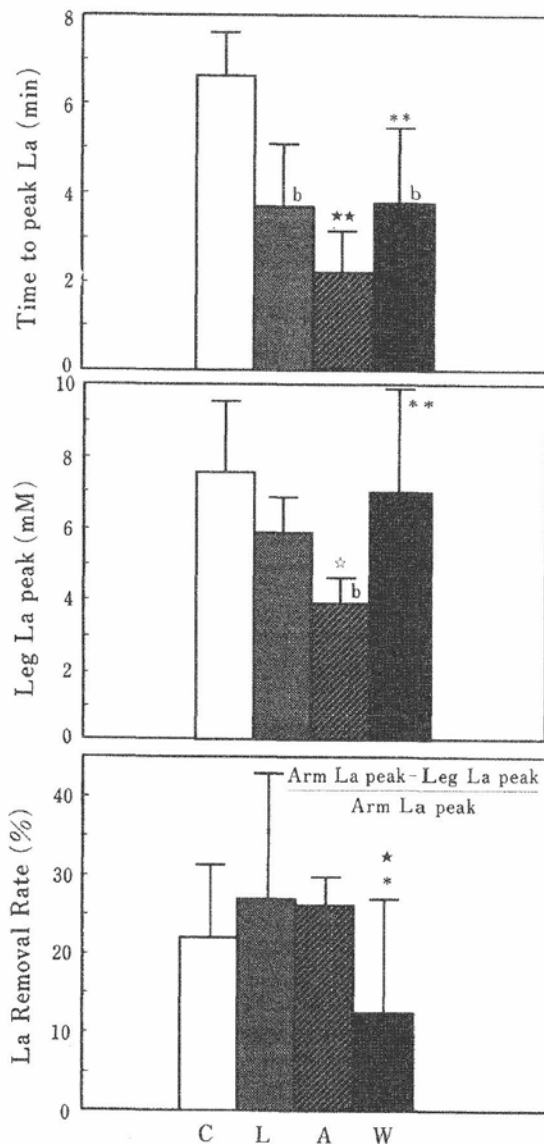


図4 Time to peak La (min), Leg La peak (mM), La removal rate (%) の群間比較
 C, L, A, W の説明は図1 参照
 b P < 0.05 vs C-group
 ☆ P < 0.05
 ★★ P < 0.01 vs L-group
 ★ P < 0.05 vs L-group
 * P < 0.05 ** P < 0.01 vs A-group

3).

2.2 腕作業能とLTの群間比較

図3はPO_{peak} (W), LT (W), LT (%PO_{peak}) の群間比較を示す。W群のPO_{peak} (W)はC群に比べ有意な高値を示し、L群と同等のレベルに達

したが、A群よりは低値 (P < 0.01) であった。LT (W) について、W群 (39.6 W) はA群 (62.9 W) よりも有意な (P < 0.01) 低値を示したが、C群、ならびにL群 (17 ~ 25 W) よりも有意 (P < 0.01, P < 0.05) な高値を示した。LT (%PO_{peak}) について、C群とL群がほぼ同様な値 (26 ~ 29%) を示したのに対して、W群 (41.1%) はC

表4 W群における PO_{peak} , LT (W), LT (% PO_{peak}) の形態および生理的データとの相関関係

Item	PO_{peak} (W)	LT (W)	LT (% PO_{peak})
Upper girth	0.98**	0.88**	0.53
Forearm girth	0.97**	0.83*	0.39
Body fat (%)	0.7	0.47	0.09
PO_{peak}	—	0.86*	0.47
LT (W)	0.86*	—	0.83*
LT (% PO_{peak})	0.47	0.83*	—
$\dot{V}_{O_{2peak}}$	0.95**	0.74	0.13
$\dot{V}_{O_{2peak}}$ (/B.W.)	0.21	0.28	0.37
3min run	0.78*	0.58	0.28
Repeat turn	0.77*	0.77*	0.43

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

群, L群よりも有意に高く, A群(51.2%)と同等の割合を示した。

2.3 運動後の回復期におけるLa動態

図4は, 最大運動負荷テスト終了後1分後から20分までの血中乳酸クリアランスにおけるTPL (min), LLP (mM), ならびにLRR (%)の群間比較を示している。各群ともに, 運動終了後もLaは増加し続け, ピークに達した後, 減少する傾向が認められた。TPL (min)について, W群(3.7分)はL群と同様な値を示すとともに, C群(6.6分)よりも有意に短い時間, あるいは, A群(2分)よりも有意に長い時間を示した。LLP (mM)についてW群(6.9 mM)は, C群, L群(7.5, 5.8 mM)と同等の値を示し, A群よりも有意な高値を示した。LRR (%)は, W(12.4%)の分散が大きくC群(22%)とは有意差が認められなかったものの, 他の群(L群, A群; 27.0, 26.1%)よりも有意に低い割合を示した。

2.1.6 LTの生理的意義

表3は, W群の被験者において, PO_{peak} (W), 絶対的なLT (W), および相対的LT (% PO_{peak})などと関係すると考えられる, 形態, 機能的測度値ならびにフィールドテスト結果などとの相関関係を示したものである。LT (W)は PO_{peak} (W)

と有意な相関関係にあり, 上腕や前腕最大囲とも有意な相関関係が認められた。LT (W)が PO_{peak} や $\dot{V}_{O_{2peak}}$ と有意な相関関係が認められたのに対して, 相対的なLT (% PO_{peak})とは有意な関係は認められなかった。フィールドテストとしての3分間走 (m)とは有意な相関関係は認められなかったが, 反復回転数とは有意な相関関係が認められた。

3. 考 察

本研究では, 日本車椅子バスケットボール選手権大会に出場している車椅子バスケットボール競技選手(W)群を対象に, 腕クランキング運動における持続的作業能の評価をLT(乳酸性作業閾値)を用いて行うものであった。評価は非トレーニング(C)群に加え, 持続的トレーニングの部位特異性の観点により分類した脚運動トレーニング(L)群(陸上中長距離選手), 腕トレーニング(A)群(大学エリート水泳選手群)との横断的比較により行った。

W群は, 片足切断の一名を除き, 脊髄損傷による対麻痺である。一般的に, 対麻痺者は運動が制限され, 骨や筋の萎縮や体脂肪量の増加, 心臓機能の低下, あるいは一般的な体力レベルの低下な

どが特徴とされ^{4,26)}、日常の定期的な運動によるそれらの症状改善が必要とされる。

本研究における W 群は、C 群よりも体重が重い、体脂肪率は他の 3 群と同等であった。胸囲や上腕・前腕周囲径などは、むしろ健常者よりも太い傾向にあり、トレーニング効果を示すものである。このような形態的発達に加え、機能的にも W 群の発達傾向が認められている。PO_{peak} (W) は C 群よりも有意に高い傾向を示し、L 群とほぼ同様な傾向を示したが、A 群よりも有意に低いものであった。このような最大仕事量における傾向に加え、最大下の作業効率として評価される LT についても検討した。LT の絶対値、ならびに相対値ともに C 群よりも有意な高値を示すことに加え、L 群よりも有意な高値を示した。さらに、相対的 LT においては、A 群との有意差はなく、ほぼ同様な値を示すことがわかった。このことは、W 群の上体の筋群の持久能力の向上が絶対的な仕事量だけでなく、最大下の仕事率においても反映されることを意味している。

指宿らは¹¹⁾、本研究で測定された最高酸素摂取量 (28.5 ml/kg/min) とほぼ同様な (23.5 ~ 34.2 ml/kg/min) 対麻痺の被験者について、2 時間にわたる車椅子バスケットボール練習を行わせた場合、車椅子での走行距離は日常的な活動量の 12 倍以上になること。また、平均心拍数でみると、最高心拍数の 70 ~ 90% に相当する運動強度となると報告している。したがって、今回の W 群の高い持久性は、日常的な移動動作というよりも、週 2 回、のべ 6 時間のバスケットボール練習に加え、年間 20 日以上に及ぶ練習試合や大会での運動量の確保が、最大下の作業効率をも高めるように作用したものと推察される。

これまで、下肢の麻痺した者に対する持久的なトレーニング効果について、いくつか検討されてきた。Miles らは¹⁵⁾、週 3 回、6 週間のインターバルトレーニングを車椅子選手に負荷し、最大運動

能力について検討したところ、31% の PO_{max}、26% の peak $\dot{V}O_2$ 、ならびに 32% の peak $\dot{V}E$ 換気量の増加を認めている。また、Hooker らは¹⁰⁾、脊髄損傷 (対麻痺と四肢麻痺) 者に対して、車椅子エルゴメータによる 20 分間の運動トレーニング効果を検討したが、中強度 (70 ~ 80% HR_{max}) で週 3 回、8 週間にわたり行わせた群において、最大下における HR、La が増加すること、PO_{max} や $\dot{V}O_{2max}$ 、あるいは最大下における $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}E$ などは増加しないことなど報告している。さらに注目すべきことは、4 mM の乳酸水準における $\dot{V}O_2$ (いわゆる OBLA) も、何ら変化を示さなかったことである。したがって、本研究で、LT が中・長距離ランナー (L 群) やエリートスイマー (A 群) に匹敵するものであったことは、W 群の平均 8.3 年に及ぶこれまでのバスケットボールトレーニングの成果と考えられ興味深い。

一般に、腕トレーニングによるトレーニング効果の主たるものは、中枢の循環系の適応というよりも末梢レベル、すなわち筋線維の毛細血管密度や酵素活性の増加であることが示唆されている⁷⁾。さらに、定期的な運動が筋量の増加、あるいは抵抗血管の拡張や、それにとまなう反応性充血反応の増加などを引き起こすことも報告されている²¹⁾。これらの生理学的、解剖学的適応は、最大酸素摂取量の増加や最大仕事量の増加を誘導し得るものと考えられる⁷⁾。

それでは、W 群において認められた LT 水準の向上の原因はどう考えるべきか。LT 向上のメカニズムについては、W 群に限らず、健常人においても一般的な結論に至っているとはいえないが、いまのところ、乳酸の生成よりも乳酸除去の方が LT に影響するという報告が多い。その原因として、前述したような上腕筋群における血管系の形態的、機能的変化により²¹⁾、腕作業中蓄積した乳酸の循環血中へのすばやい拡散や、十分な酸素供給下での筋による乳酸再利用の促進が考えられて

いる⁶⁾。実際に、本研究では、運動後の血中乳酸のクリアランスからみると、TPL (min) は C 群よりも有意に短く、A 群には及ばないものの、L 群と同等な値を示したことから上記の可能性は無視できない。

Bassett らも¹⁾、座業群と持久的トレーニング群に対して、運動後の血中乳酸が両群ともに同等となるように自転車エルゴメータ駆動運動を行わせ、その後の回復過程における TPL を検討した。その結果、TPL は持久的トレーニング群の方が短くなる傾向を認め、その原因としてトレーニングによる筋の毛細血管密度や筋血流量の増加を挙げている。これは、脚でみられた適応であるが、腕運動トレーニングによる上肢筋群の適応においても同様な効果が認められており^{7,18)}、われわれの結果と関連するものと考えられる。

ところで、W 群の LRR (%) は、唯一他の群に比べ有意な低値を示し、上記のデータと矛盾するようにみえる。しかし、今回用いた LRR (%) は、TPL (min) が乳酸の拡散の指標であるのに対して、乳酸の組織による除去を反映するものと考えられることから、おそらく、活動筋である腕や上肢筋群以外の組織における血流や酸素需要量、あるいは乳酸除去能の低下が原因として考えられる。Leg LA peak (mM) が A 群よりも有意に高く、C、L 両群と同等であったことも、このことに関係しているかもしれない。

Sawka らは²⁰⁾、麻痺筋群の自律神経失調にともなう体温調節機能不全により、麻痺筋群の皮膚血流の貯留が必然的に生じ、そのことが静脈環流を低下させ、ひいては一定負荷による長時間運動中の心拍数の初期増加や、運動の中盤以降の心拍出量の減少などを引き起こすものと説明している。おそらく、このような麻痺筋における末梢循環動態は、筋の萎縮やそれによる代謝・微小循環の退行とともに、血中乳酸の拡散時間や除去率の低下に少なからず影響を及ぼすことが推察される。し

たがって、W 群の LT 水準の高値に関係する適応部位は、胸囲や上腕・前腕最大周囲径での増加に示されるような上肢の形態的発達と、それにとともなう、筋の循環能力や代謝能力の増加による乳酸利用率の増加などが関係していると考えられる。

ところで、LT (%) は PO_{peak} とは相関しないことから、最大下の作業における持久力の指標としての妥当性が示唆される。しかし、これまで報告されている LT ($\%PO_{peak}$) の水準^{5,17)} (50 ~ 60%) からみると、A 群以外はすべて低値であった。これは、腕クランキング運動に特有なものであるとすれば、腕のトレーナビリティは脚のそれよりも高いといえる。われわれの最近の研究によれば²⁴⁾、大学の平均的水泳選手について、LT 水準の 10% 増に相当する強度での腕クランキング運動を一日 30 分、週 2 回、6 週間行わせたところ、 PO_{max} (60 → 90 W) と LT (11.4 → 28.8 W)、ならびに LT% (19.2 → 31.0%) の有意な増加を認めており、上記の仮説を支持するものとなっている。

本研究で行った LT 水準の評価は、体重当たりの酸素摂取量や仕事量に比べ、より機能的で妥当な評価法と考えられる。LT の相対値については、ほとんど機能的な関係が認められなかったのに対して、LT の絶対値については、 PO_{peak} や上腕・前腕最大周囲径と有意な高い相関が認められたことから、パフォーマンスに関連する指標としての絶対的 LT (W) の有用性が示唆される。しかし、 $\dot{V}O_{2peak}$ とは高い相関が認められたものの有意とはならなかった。さらに、LT が 3 分間走とではなく 30 秒間の反復回転数と有意な相関関係にあったことから考えると、日常の練習や経験年数が、車椅子の敏捷な操作性という技能の向上と、それによる高い運動効率（機械的効率）の獲得につながる可能性もある。今後、トレーニングの強度や頻度を増加させることにより、LT を含めた種々の運動強度の指標と、増加した PO_{peak} や実践的な車椅子推進力との関係を明らかにすることに

より、車椅子依存者におけるLTの意義が明らかになるものと考えられる。

最後に、麻痺筋におけるマイナス要因を考慮すると、W群におけるLT水準は依然として低く見積もられている可能性も否定できない。ここには示していないが、下肢からの採血を腕に換える（この場合は採血時に克蘭キングを介護する）ことも試みており、より妥当な上体の能力の評価に向けて改善すべき余地が残されていると考えられる。

4. ま と め

車椅子バスケットボール選手7人（1名の片足切断者と6名対麻痺者；W群）について、負荷漸増的な腕克蘭キングによる最大運動を行わせ、その際求めた乳酸性作業閾値；LT(W)を用い、最大下の運動効率を決定するとともに、それらを他の運動適応群（座業者群；C、脚運動適応群；L、腕運動適応群；A）の値と比較・検討した。これまでの傾向は、 PO_{peak} やLTなど、いずれの測定値についても、A群>L群>C群の順で優れた傾向であった。

本研究の結果、 PO_{peak} はC群よりも有意に高くL群と同等であったが、LT(W)およびLT(% PO_{peak})はさらにL群より有意に大きく、A群と同等であること。また、LT(% PO_{peak})についてはL群よりも大きくA群と同等であった。一方、W群の血中乳酸拡散率(TPL)はLT(W)同様の傾向が認められたのに対して、血中乳酸の除去率で見ると、他のいずれの群よりも有意に低下する傾向が認められた。これらの結果から、W群は、おそらく下肢筋の麻痺にともなう代謝や血流低下などにより、乳酸の除去能が低下しているにもかかわらず、腕を中心とした上体の作業効率は十分高く、そのレベルは腕を中心とした専門的トレーニングを行っている者に匹敵するものであることが明らかとなった。これは、週2回の定期的な練習

に加え、年間20回を越える試合による運動効果として考えられ、W群のトレーナビリティの高さを示すものであった。

謝 辞

本研究は、データ分析と被験者のサポートに三重大学 高木英樹助教授、ならびに三重大学大学院教育学研究科院生の吉里秀雄、花井淑晃、北澤有紀君が研究に加わるにより完遂されたことを付記させていただきたい。

なお、本研究の遂行に際してご理解・ご協力いただいた三重パワーズ監督中尾悦雄氏、資料提供や私信をいただいた近藤照彦氏（群馬県医師会沢渡温泉病院）、塚越和巳氏（埼玉県障害者リハビリテーションセンター）両氏に感謝致します。最後に、本研究に助成していただいた石本記念デサントスポーツ科学振興財団に感謝致します。

文 献

- 1) Bassett, J. D. R., Merrill, P. W., Nagle, F. J., Agre, J. C., Sampedro, R.; Rate of decline in blood lactate after cycling exercise in endurance-trained and -untrained subjects, *J. Appl. Physiol.*, **70**, 1816-1820 (1991)
- 2) Borg, G.; Perceived exertion: A note on history and method, *Med. Sci. in Sports.*, **5**, 90-93 (1973)
- 3) Brozek, J. F., Grande, F., Anderson, J. T., Keys, A.; Densitometric analysis of body composition: Review of some quantitative assumptions, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **110**, 113-140 (1963)
- 4) Davis, G. M.; Exercise capacity of individuals with paraplegia, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **25**, 423-432 (1993)
- 5) Davis, J. A., Vodak, P., Wilmore, J. H., Vodak, J., Kurtz, P.; Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three models of exercise, *J. Appl. Physiol.*, **41**, 544-550 (1976)
- 6) Gladden, L. B.; Lactate uptake by skeletal muscle, *Exercise Sports Sci. Rev.*, **17**, 115-155 (1989)
- 7) Glaser, R. M.; Arm exercise training for

- wheelchair users, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **21**, 149-157 (1989)
- 8) Grandee, R. ; The aerobic capacity of an elite wheelchair marathon racer, *Med. Sci. Sports.*, **9**, 58 (1980)
- 9) Green, H. J., Gughson, R. L., Orr, G. W., Ranney, D. A. ; Anaerobic threshold, blood lactate, and muscle metabolites in progressive exercise, *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **54**, 1032-1038 (1983)
- 10) Hooker, S. P., Wells, C. L. ; Effects of low and moderate-intensity training in spinal cord-injured persons, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **21**, 18-22 (1989)
- 11) 指宿忠昭, 征矢英昭, 近藤徳彦; 腕クランキングにおける血中乳酸濃度からみた全身持久性の評価と車椅子スポーツ競技選手の特長, 障害者体育・スポーツ研究会研究紀要, **13**, 39-41 (1989)
- 12) Ibusuki, T., Kondo, T., Soya, H., Yagi, H. ; Physiological characteristics of wheelchair basketball players. In : Fitness for the Disabled, and Industrial Worker. In : International Series on Sport Sciences., edited by K. M. Champaign : Human Kinetics Publisher, 164-168 (1990)
- 13) 井手精一郎; 全国身体障害者スポーツ大会競技規則の解説, 日本身体障害者スポーツ協会編, 51-52 (1993)
- 14) 近藤照彦, 小林 功, 塚越和巳; Bモード超音波法からみた脊髄損傷による対麻痺患者の皮下脂肪分布パターン, *Jap. J. Sports Sci.*, **12**, 583-588 (1993)
- 15) Miles, D. S., Sawka, M. N., Wilde, S. W., Durbin, R. J., Gotshall, R. W., Glaser, R. M. ; Pulmonary function changes in wheelchair athletes subsequent to exercise training, *Ergonomics*, **25**, 239-246 (1982)
- 16) 日本身体障害者スポーツ協会編; 車椅子バスケットボール競技, 身体障害者スポーツ種目別普及研究事業, 平成3年度調査研究報告書, 96-10 (1992)
- 17) Pendergast, D., Ceeretelli, P., Rennie, D. W. ; Aerobic and glycolytic metabolism in arm exercise, *J. Appl. Physiol. : Respirat. Environ. Exercise Physiol.*, **47**, 754-760 (1979)
- 18) Pendergast, D. R. ; Cardiovascular, respiratory, and metabolic responses to upper body exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **21**, 121-125 (1989)
- 19) Sawka, M. N., Foley, M. E., Pimental, N. A., Toner, M. M., Pandolf, K. B. ; Determination of maximal aerobic power during upper-body exercise, *J. Appl. Physiol. : Environ. Exercise Physiol.*, **54**, 113-117 (1983)
- 20) Sawka, M. N., Latzka, W. A., Pandolf, K. B. ; Temperature regulation during upper body exercise : able-bodied and spinal cord injured, *Med. Sci. Sports Sci.*, **21**, S132-S140 (1989)
- 21) Shenberger, J. S., Leaman, G. J., Newmyer, M. M., Musch, T. I. Sinoway, L. I. ; Physiologic and structural indices of vascular function in paraplegics, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **22**, 96-101 (1990)
- 22) 征矢英昭, 彦井浩孝, 西端 泉, 浜中健二; 腕作業における乳酸性作業閾値 (LT), 三重大学教育学部研究紀要, **43**, 71-79 (1992)
- 23) 征矢英昭, 彦井浩孝, 脇田裕久, 八木規夫, 高木英樹, 富樫健二, 西端 泉, 浜中健二, 野村武男, 生田泰士; 腕の持久的トレーニング効果の全身持久能に及ぼす生理的貢献度, デサントスポーツ科学, **13**, 207-217 (1992)
- 24) Takagi, H., Soya, H., Togashi, K., Adachi, K., Hamanaka, K. ; Trainability of endurance work capacity of swimmer's upper body and its contribution to the swimming. The Xth FINA World Sports Medicine Congress Program and Abstracts, pp29 (1993)
- 25) Veegar, H. E. J., Yahmed, M. J., Woude, L. H. V. V. D., Charpentier, P. ; Peak oxygen uptake and maximal power output of olympic wheelchairdependent athletes, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **23**, 1201-1209 (1991)
- 26) Zwiren, L., Bar-Or, O. ; Responses to exercise of paraplegics who differ in conditioning level, *Med. Sci. Sports Exerc.*, **7**, 94-98 (1975)