車椅子マラソンの運動負荷後の心機能への影響評価

正 員 吉原 宗三郎(大分県教育センター)

正 員 西村 敏博(大分大学)

非会員 細川 博司(大分医科大学)

正 員 濱本 和彦(東海大学)

正 員 斎藤 正男(東京電機大学)

An evaluation of the influence on the cardiac function after excessive exercise is loaded at the wheelchair marathon

Sozaburo Yoshihara, Member (Oita Prefectural Education Center)

Toshihiro Nishimura, Member(Oita University)

Hiroshi Hosokawa, Non Member(Oita Medical University)

Kazuhiko Hamamoto, Member(Tokai University)

Masao Saito, Member(Tokyo Denki University)

In this paper, we examined the safety during the wheelchair marathon. By monitoring the cardiac function and the metabolic function at the same time through the blood and biochemical labo-data analysis, electrocardiogram, Holter's electrocardiogram and RR time series analysis and echocardiogram in the subjects at the wheelchair marathon. Heart rate increased significantly from 66.0 ± 12.6 to 99.0 ± 10.8 beat/min. Systolic blood pressure increased significantly from 117.7 ± 18.6 to 143 ± 12.6 mmHg. Diastolic blood pressure decreased significantly from 70.0 ± 10.4 to 45.0 ± 8.8 mmHg. No changes in left ventricular function and size on the echocardiogram. The findings of dehydration were not recognized after the race. The increase in plasma TAT complex concentrations was significantly greater from 2.2 ± 0.4 to 4.0 ± 0.6 ng/ml. WBC was significantly increased from 7.0 ± 1.9 to $13.3 \pm 5.6 \times 10^3 / \mu\text{l}$. No other measurement items significantly changed after the race. The findings of arrhythmias. (supraventricular premature count, ventricular premature count, or other block etc.) were not significantly recognized during the race. In this paper, it is possible that these subjects who have hardly atherosclerosis, if they enter the race after full training and with supplying water, do safely without the bad influence to the heart. But old age athlete with atherosclerosis should be done full medical check before the race in the future.

キーワード: 心機能動態, 車椅子マラソン, 身体障害者, 心電図RR間隔時系列, 心エコー図, 血液生化学検査

1. まえがき

本研究は, 身体障害者による車椅子マラソン競技前後および競技中の心機能動態を生理学および生化学的に把握し, 身体障害者間で近年急速な広がりを見せている運動競技に対する保健医療福祉の連携の重要性を訴える医学的評価を行うものである。

身体障害者とくに下肢の不自由な者が残された機能である上肢を余すところなく駆使しておこなう車椅子マ

ラソンでの心機能と凝固線溶系を両面から評価した研究はほとんどなく, 医療行政上も今後とも事故なく, この種の行事が普及するように配慮する上でも貴重な医学的根拠となる。近年, 身体障害者の中高齢化にともない, 特に脊髄損傷患者にも, 競技中の心血管系の事故が憂慮される現況において, 日頃から充分鍛錬しているとはいえ, 競技前後の的確なヘルスチェックおよび救急医療体制を通して, 安全で楽しい健康づくり運動としての身体障害者のスポーツの発展をめざすよう, そ

の普及発展をはかるものである。

近年、競技数、競技人口とも増加しつつある身体障害者による車椅子マラソンは、下肢の不自由な状態で、上肢を主体に上半身を連続して、しかも長時間運動して、そのスピードを競う過酷な耐久レースであるため、生体の代謝や循環動態などに種々の影響を及ぼし、脱水、突然死などの危険性もあり、救急医療を初めとする周囲の保健医療および福祉行政とも密接な関係を有する。しかし安全性の検討は必ずしも十分とは言えず、特に突然死の原因となり得る心機能の変化を観察した報告は少ない¹⁾。今回、車椅子マラソン大会の参加者を対象にして競技前後の心電図、心エコー図、血液生化学検査を行い、さらに競技中のホルター心電図よりRR間隔時系列の解析を用い、競技前後および競技中の心機能および代謝機能を同時に評価し、競技の安全性について検討する。

2. 測定方法

2.1 対象及び方法

対象は、第15回大分国際車椅子マラソン大会参加者の完走者(約500名)のうち 6 名(33 ± 4 歳)で、いずれも男性の常連の車椅子マラソンランナーである。心電図、心エコー図、血液生化学検査の各測定項目については、競技前日夕刻とゴール後15分以内の計2回行い、その変化を比較検討する。ホルター心電図については競技中連続記録を行った。なお、対象者に対しては検査の目的および安全性について十分説明した後、文書による同意を得ている。

2.2 測定項目

(1)心電図

心電図の標準12誘導について3分間記録し、不整脈の出現およびST変化を観察するとともに、P波高、P波幅、PQ時間、QT時間、R-R間隔、R波高を求める。単極胸部誘導からは、T波高の変化を観察する²⁾。

(2)心エコー図

心エコー図は、2方向心断層法をもとにした B モードおよびMモードで記録し、心室中隔および左室後壁エコー図の左室収縮期および拡張期径より Pombo 法を用いて、それぞれの容積を計算し、これから心拍出量、駆出率を求める。また、僧帽弁前尖エコー図より diastolic descent rate (DDR)を、また大動脈弁エコー図より, preejection period /left ventricular ejection time (PEP/LVET)、右室径、左房径を求める。また平均血圧を心拍数で除して末梢血管抵抗とした。統計学的処理は、Student の paired t 検定を用い、p<0.05

をもって有意とした。

(3)血液生化学検査

Total cholesterol, HDL, GOT, GPT, creatinine, BUN, Total protein, albumin,RBC, WBC, hemoglobin, hematocrit, blood glucose, hydroperoxide, troponin-T,TAT (trombin-antitombin- III) complex, PT (protrombin) fragment F1 + 2, SOD (superoxide dismutase) activityの各項目について競技前後で検査を行う。

(4)ホルター心電図

ホルター心電図は、競技者の邪魔にならず、しかも外れないように車椅子にしっかりと固定し、競技中の不整脈および虚血の出現の有無を観察する。またRR間隔変動を時系列^{8)~9)}として分析を行う。

3. 解析結果

3.1 心拍数と血圧の解析結果

競技前後における心拍数と血圧の変動を表1に示す。競技直後心エコー記録時の心拍数は 99/min であり競技前の 66/min に比べ有意に増加した。血圧については、収縮期血圧は同様に有意に上昇し、拡張期血圧は有意に低下した。

表1 心拍数と血圧の変動

Table 1 Change of Heart rate and Blood Pressure

	premarathon	postmarathon
Heart rate	66.0±12.6 (beats/min)	99.0±10.8* (beats/min)
Systolic blood pressure	117.7±18.6 (mmHg)	143.0±12.6* (mmHg)
Diastolic blood pressure	70.0±10.4 (mmHg)	45±8.8* (mmHg)

mean ± S.D. *p<0.05

3.2 心エコー図による解析結果

競技前後における心拍出量と左室収縮期容量、左室拡張期容量、駆出率、末梢血管抵抗、DDR、PEP/LVET、右室径、左房径の各変動を表2に示す。

心拍出量は上昇傾向を示したが有意ではなく、左室収縮期容量、左室拡張期容量、駆出率、末梢血管抵抗、DDR、PEP/LVET、右室径、左房径にも有意な変化を認めなかった。

表2 心エコー図による解析結果
Table2 Echocardiographic results

	premarathon	postmarathon
LVESV	43.2 ± 12.6 (ml)	41.2 ± 10.3 (ml)
LVEDV	148.4 ± 35.2 (ml)	150.2 ± 26.2 (ml)
Ejection fraction	76.5 ± 3.6 (%)	77.1 ± 3.9 (%)
Cardiac output	6.4 ± 1.8 (L/min)	7.2 ± 1.4 (L/min)
Peripheral vascular resistance	18.4 ± 3.1 (mmHg/L/min)	19.9 ± 1.8 (mmHg/L/min)
DDR	112.4 ± 36.4 (mm/sec)	114.2 ± 41.4 (mm/sec)
PEP/LVET	0.29 ± 0.02	0.31 ± 0.03
Dimeter of right ventricle	24.8 ± 4.6 (mm)	25.1 ± 3.2 (mm)
Diameter of left atrial	27.8 ± 3.6 (mm)	24.9 ± 4.1 (mm)

mean ± S.D.

3. 3 ホルター心電図による解析結果

ホルター心電図からは、競技中におけるSVPC (supraventricular premature counter), VPC (ventricular premature counter)や各種blockおよび有意なST-T変化は認められなかった。

3. 4 血液生化学による解析結果

血液生化学分析の結果を表3と図1～図5に示す。TAT complex、WBC は有意な上昇を認めたものの、他のいずれの項目も競技前後で有意な変化を認めなかった。特に、心筋の虚血性変化の鋭敏な指標として注目されたTroponin-T についても競技前後でいずれも 0.1 以下であった。

表3 血液生化学分析結果
Table3 Results of Blood and Biochemical analysis

	premarathon	postmarathon
Troponin-T	≤ 0.1	≤ 0.1
TP	7.3 ± 0.3(g/dl)	7.4 ± 0.4(g/dl)
lipid peroxide	4.3 ± 1.0 (nMol/ml)	3.7 ± 0.4 (nMol/ml)
PT fragment F1+2	0.72 ± 0.20 (nMol/l)	1.1 ± 0.70 (nMol/l)
Hematocrit	46.9 ± 1.0(%)	46.8 ± 1.8(%)

Fig1 Change of RBC
図1 赤血球の変化

Fig.2 Change of WBC
図2 白血球の変化

Fig.3 Change of Hemoglobin Value
図3 ヘモグロビンの変化

Fig.4 Change of SOD Activity
図4 活性酸素の変化

Fig.5 Change of TAT complex
図5 TAT complexの変化

3. 5 RR間隔変動時系列による解析結果

競技直前、競技中、競技直後の心電図RR間隔変動時系列の周波数分析を図6～図8に示す。心電図のRR間隔変動は自律神経の動向を掴むために用いられているが、RR間隔変動時系列を周波数分析することで、高い周波数成分での検討を行った。マラソンスタート直前で交感神経優位のため全体的にパワースペクトルが落ち込んでいるのがわかる⁵⁾。マラソン中から直後にかけて高い周波数領域において、優位な落ち込みがすべての測定者において測定できた。

Fig.6 Power Spectrum of Δ RR interval
before the marathon

図6 マラソン直前の Δ RR時系列の周波数分析結果

Fig.7 Power Spectrum of Δ RR interval
in the marathon

図7 マラソン中の Δ RR時系列の周波数分析結果

Fig.8 Power Spectrum of Δ RR interval
after the marathon

図8 マラソン直後の Δ RR時系列の周波数分析結果

4. 考察

近年、心断層エコー法の普及によって、マラソンやトライアスロンのような消耗性競技の現場において心機能

を評価した報告が多く見られる^{1)~4)}。

一般に長時間の運動によってもたらされる心機能の特徴的变化は cardiovascular drift といわれ、心拍数は増加するにも関わらず一回拍出量が低下するため心拍出量の増加はみられない。その機序は循環血液量低下や一過性の心収縮自体の低下 (cardiac fatigue) などであろうといわれている。Douglas らは、ハワイトライアスロン参加者を対象に、競技前後で心エコー図を用いて心機能の変化を検討し、一過性ではあるが内径短縮率の低下や stress-shortening 関係より cardiac fatigue が起こっていることを報告している¹⁾。心収縮性の変化が代謝性の因子によるものか、あるいは心筋自体の障害によるものか、その原因は明らかではない。また左室機能の低下が左右心室の直接的相互関与によって起こる可能性を示唆した論文も報告されている³⁾。しかし、血液凝固能を鋭敏に検出する TAT complex の有意な上昇を認めたことから、今回の対象者のような 30 歳代では余りその可能性は少ないと思われる。また、過酸化脂質 (hydroperoxide)、SOD activity に有意な変化を認めなかったことおよび Troponin-T の増加も認めなかったことにより、虚血・再灌流障害は特に心筋に出現していないことが示唆された。

また、白血球の増加はストレスによるものと考えられた。本研究の結果から、少なくとも 30 歳代と比較的若年の身体障害者で、動脈硬化もほとんどないであろう参加者は、日頃から十分に訓練をした上で競技にのぞみ、競技中も十分な水分補給をしていれば、心機能への影響はなく、安全に競技を行うことが可能であるといえる。

またホルター心電図から RR 間隔時系列の変動を周波数分析で行ったが、上肢だけの激しい運動のためかなり基線のずれが発生し、そのアーチファクトのため必要な情報が正確には抽出できずに細部にわたる検討ができなかった⁹⁾。しかし被験者全員に対してマラソン前後で同じ傾向を示していた。

今後は選手の高齢化もあり、これらのひとつでは十分なメディカルチェックを行う必要がでてくるものと考えられる。

5. 結論

車椅子マラソンの運動負荷後における心機能への影響を生理学および生化学的に評価を行った。次のような結果を得られた。

- (1) 心エコー図上有意な変化は認められず、トライアスロン競技でみられた左室収縮力の低下は全く認めなかった。また、血液生化学検査の結果からも心筋の損傷を示唆する所見は認められなかった。
- (2) 血液生化学検査の結果からは、まず一番心配された脱水所見は認められなかった。

- (3) 高齢の動脈硬化の存在が心配される人には、より嚴重な梗塞性疾患の予防が、競技中の十分な水分摂取などを始め必要になることが示唆された。

上肢だけで過激な運動を行う経験のない健常者からみればかなりの心臓への負荷がかかりそうに思えるが、今回の被験者は、普段から日常生活がすべて車椅子であること、毎日十キロ以上の距離を走ってトレーニングをしているため、十分心機能が代償されているという結果が得られた。このように 30 歳代と比較的若年の身体障害者で、動脈硬化もほとんどないであろう参加者は、日頃から十分に訓練をした上で競技にのぞみ、競技中も十分な水分補給をしていれば、心機能への影響はなく、安全に競技を行うことが可能であるといえる。

今後は、車椅子での生活を普段行っているが、車椅子マラソンに備えて十分なトレーニング等は特別に行っていない参加者や高年齢者についての検討を行っていく予定である。

(平成 8 年 10 月 29 日 受付)

文献

- 1) Douglas, P.S. et al.: Cardiac fatigue after prolonged exercise. *Circulation* 76 : 1206-1213, 1987.
- 2) Niemela K.O., Palatsi I.J. et al.: Evidence of impaired left ventricular performance after an uninterrupted competitive 24 hour run. *Circulation* 70 : 350-356, 1984.
- 3) Douglas P.S., O' Toole M.L., et al.: Different effects of prolonged exercise on the right and left ventricle. *J Am Coll Cardiol* 15 : 64-69, 1990.
- 4) Perraut H., Peronnet F., et al.: Echocardiographic assessment of left ventricular performance before and after marathone running. *Am Heart J* 112 : 1026-1031, 1986.
- 5) N.S. Cherniack, et al.: Respiratory control during sleep, 37th ACEMB, 326, 1984
- 6) 佐藤昭夫 他: 医科生理学展望, 丸善, 192, 1985
- 7) J.R. Smith, et al.: Detection of the human sleep and EEG waveform, *EEG Neurophysiol.*, 38, 435-437, 1975
- 8) T. Nishimura: Method and apparatus for correlating respiration and heartbeat variability, United States Patent 5105354
- 9) T. Nishimura: A method of forecast for the reduction of risk factors on sudden infant death syndrome, *JIEICE, Med. & bio Cybernet.* 88, MBE88-25, 29-34, 1988

吉原 宗三郎

(正員)1962年12月23日生。1987年3月大分大学大学院工学研究科修士課程修了。1992年4月大分県教育センター情報教育部勤務, 現在に至る。医用生体工学, 自律神経系のモデル, 超音波信号の解析の研究に従事。日本超音波医学会, 日本ME学会会員。

西村 敏博

(正員)1950年4月9日生。1978年大分大学工学部電気工学科卒業。同年同大学工学部電気工学科助手, 現在に至る。工学博士。医用生体工学, 特に循環器系のモデル化, 超音波診断装置, 完全埋込型人工心臓システム, 心臓ペースメーカ, 人工臓器のエネルギー転送システム, 半導体電力変換工学などの研究教育に従事。電気学会医用生体工学技術委員会幹事。電子情報通信学会, 日本ME学会, 日本超音波医学会, LST学会, IEEE会員。

細川 博司

(非会員)1986年大分医科大学医学部医学科卒業。1993年同大学院博士課程修了。1994年大分医科大学公衆衛生医学講座第一医学部助手。1996年医療法人渡辺会渡辺クリニック院長, 現在に至る。医学博士。冠動脈造影及び形成術, 心および腹部エコー, 消化器内視鏡術, 循環器科内科, 消化器内科, 心療内科の各臨床, 新薬治験, 薬効評価の研究に従事。日本内科学会, 日本臨床薬理学会, 日本薬理学会, 日本循環器学会会員。

濱本 和彦

(正員)1994年東京農工大学大学院博士後期課程修了。同年東海大学工学部助手, 1995年同講師。博士(工学)。医用電子工学の分野において, 超音波を用いた生体加温・画像処理および信号処理, 医療情報通信に関する研究に従事。日本ME学会専門別研究会幹事。IEEE, 日本ME学会, 日本超音波医学会, 電子情報通信学会, 日本医用画像工学会, 他会員。1995年度電気学会優秀論文発表賞受賞。

斎藤 正男

(正員)1956年東京大学工学部卒業。1962年同大学大学院博士課程修了。同大学工学部講師, 助教授を経て, 1974年同医学部教授。同大学退官後, 東京電機大学教授。工学博士。回路システム理論, 医用生体工学の研究教育に従事。日本ME学会会長, 日本ハイパーサーミア学会副会長, LST学会会長, 国際ME学会会長, 日本学術会議医用生体工学研連委員長を歴任。電子情報通信学会稲田賞, 論文賞, 日本ME学会論文賞受賞。国際ME学会名誉会員。