

# 心拍数屈曲点と有酸素的作業能力の関係について

山西哲郎・中野裕史\*

群馬大学教育学部保健体育講座

(1991年9月18日受理)

## The relationship between heart rate break point and aerobic capacity

Tetsuro YAMANISHI

Hiroshi NAKANO\*

*Department of Health and physical Education,*

*Faculty of Education, Gunma University,*

*Maebashi, Gunma 371, Japan*

(Accepted September 18, 1991)

### 1. はじめに

近年、我が国では健康に対する関心が高まっており、多くの健康づくりのトレーニング施設で自己の体力を知るための体力診断テストが盛んに行なわれている。今日の健康レベルやスタミナまたは、体力の指標として、有酸素的作業能力をあらわす体重当たりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$  max) が最も頻繁に測定されているが、被検者への身体的負担を軽くするためや実験装置の簡便さから心拍数 (HR) による推定値を用いることが多い。これは、HR- $\dot{V}O_2$ 関係が直線的であるということを前提としているが、最近ではHR- $\dot{V}O_2$ 関係は直線的ではなく、HRが直線的増加から下方へずれていくという報告<sup>1)</sup>がある(この変移点を心拍数屈曲点<sup>12)</sup>という。図-1)。その後も被検者や運動負荷様式を変えて同様な実験が行なわれている<sup>2)3)4)5)7)8)9)13)14)15)</sup>が、この点が出現するという報告<sup>2)3)4)5)6)7)9)15)</sup>と出現しないという報告<sup>13)14)</sup>があり、意見が一致していない。さらに、この点と血中乳酸値からとめた Anaerobic Threshold (AT) が一致するという事も報告<sup>5)7)8)9)14)15)</sup>されているが、相反する結果も報告<sup>13)</sup>されている。これからますます、体力診断テストとしての $\dot{V}O_2$ maxの測定が盛んに行なわれるにつれて、安全でより正確なデータを得ることが望まれるであろう。そのためには、HR- $\dot{V}O_2$ 関係において心拍数屈曲点が出現するのかどうかということを明らかにする必要がある。もし、HR- $\dot{V}O_2$ 関係が直線的ではなく心拍数屈曲点が出現するならば、当然 $\dot{V}O_2$ maxの推定値も今までとは異なり、より正確になるであろうと考える。そこで今回は、心拍数屈曲点の出現だけに焦点を絞り、被検者の違い(有酸素的作業能力

\*保健体育講座研究生

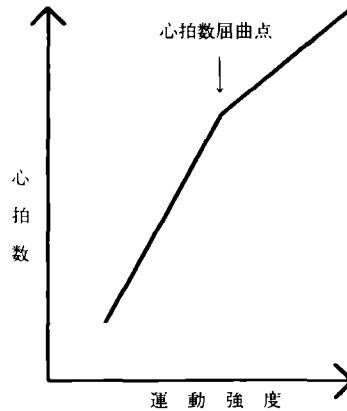


図-1 心拍数屈曲点の概念図

の違い) が心拍数屈曲点の出現にどのように関与しているのかを調べた。

## 2. 実験方法

被検者は、グループA (中・長距離ランナー 男子10名)、グループB (体育専攻学生 男子11名)、グループC (一般学生 男子13名)、グループD (中・高年者 男子23名) の計57名で、特別な疾患を有しているものはなかった(表-1)。被検者には予め実験に関する趣旨と内容を理解させ、生体実験に対する協力への承諾を得て、以下の実験手順に供した。

まず、ウォーミングアップを行ない、最低5分間の座位安静後に、負荷漸増的自転車エルゴメーター(モナーク社製)駆動運動により心拍数(HR)と酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )を1分毎に測定した。負荷の漸増は、グループA, Bについては、最初の3段階を3分毎、グループC, Dについては4分毎に、その後はどのグループも exhaustion に至るまで1分毎に行なった。ペダルの回転数は50rpmとし、負荷強度は被検者の各レベルの体力に併せて調節した(図-2)。HRと $\dot{V}O_2$ の測定装置は、日本電気三栄社製のECGテレメーターと瞬時ガス分析器を使用した。心拍数屈曲点の決定は、HUDSON<sup>10)</sup>のプログラムを参考にコンピューター処理により行なった。

表-1 被検者の身体特性

グループ	年齢	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪率(%)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	HRmax (bpm)
A	19.9±1.3	171.1±4.0	59.1±4.4	11.2±0.8	58.8±8.1	183.9±5.6
B	20.8±1.3	172.8±5.3	65.0±5.2	13.4±2.8	51.0±6.2	186.9±5.9
C	20.2±0.7	171.6±5.1	60.5±5.6	12.3±2.5	45.1±6.3	188.4±9.5
D	41.8±7.3	165.1±5.9	64.2±7.3	15.7±4.5	36.7±8.2	174.8±11.3

数値は平均±標準偏差

グループA(中・長距離ランナー 男子10名) グループB(体育専攻学生 男子11名) グループC(一般学生 男子13名) グループD(中・高年者 男子23名)

$\dot{V}O_{2max}$  について  $P < 0.05$  Avs. B, Bvs. C  $P < 0.01$  Avs. C, Avs. D, Bvs. D, Cvs. D

表-2 心拍数屈曲点の出現率

グループ	人数	出現率 (%)
A	10名中8名	80.0
B	11名中7名	63.6
C	13名中7名	53.8
D	23名中1名	4.3

グループA (中・長距離ランナー 男子10名) グループB (体育専攻学生 男子11名) グループC (一般学生 男子13名) グループD (中・高齢者 男子23名)

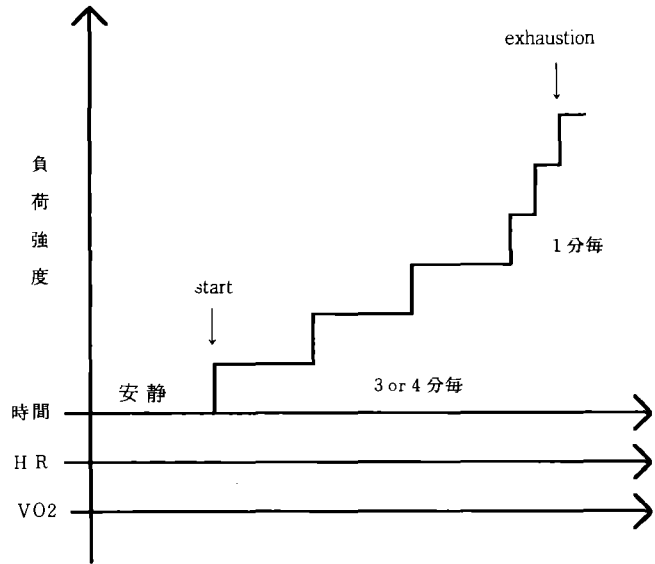


図-2 実験のプロトコール

### 3. 結果

各被検者グループの $\dot{V}O_2\max$  (ml/kg/min) は, A ( $58.5 \pm 8.1$ ), B ( $51.0 \pm 6.2$ ), C ( $45.1 \pm 6.3$ ), D ( $36.7 \pm 8.2$ ) の順に数値が高く, それぞれ有意差が認められた ( $P < 0.05$  Avs. B, Bvs. C,  $P < 0.01$  Avs. C, Avs. D, Bvs. D, Cvs. D)。Aの $\dot{V}O_2\max$ は, 過去に報告<sup>12)</sup>された中・長距離ランナーの数値 ( $69.8 \pm 5.4$ ) よりも低かったが, 20才代の数値<sup>11)</sup> ( $45.4 \sim 51.4$ ) よりも高かった。B, C, Dについては年齢相応の数値であった。さらに, 心拍数屈曲点の出現率もA (10名中8名 80.0%), B (11名中7名 63.6%), C (13名中7名 53.8%), D (23名中1名 4.3%) の順に高かった (表-2)。心拍数屈曲点が出現した者について, その点でのHR (bpm), %HRmax,  $\dot{V}O_2$  (ml/kg/min), % $\dot{V}O_2\max$  を各グループ間で比較したところ, HR (bpm) は,

表-3 心拍数屈曲点でのHR, %HRmax,  $\dot{V}O_2$ , % $\dot{V}O_2\max$ 

グループ	HR (bpm)	%HRmax	$\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)	% $\dot{V}O_2\max$
A	$158.0 \pm 20.4$	$85.1 \pm 10.2$	$38.7 \pm 10.9$	$67.0 \pm 11.8$
B	$155.7 \pm 18.8$	$82.8 \pm 8.8$	$32.0 \pm 8.5$	$66.0 \pm 14.7$
C	$165.3 \pm 9.7$	$87.3 \pm 3.8$	$26.1 \pm 4.9$	$59.4 \pm 8.9$
D	119.6	66.9	18.9	41.5

数値は平均±標準偏差

グループA (中・長距離ランナー 男子8名) グループB (体育専攻学生 男子7名) グループC (一般学生 男子7名) グループD (中・高齢者 男子1名) 有意差なし

Aが $158.0 \pm 20.4$ , Bが $155.7 \pm 18.8$ , Cが $165.3 \pm 9.7$ , Dが $119.6$ でありCの値が一番高くDの値がA, B, Cよりもかなり低かった。 $\%HR_{max}$ は, Aが $85.1 \pm 10.2$ , Bが $82.8 \pm 8.8$ , Cが $87.3 \pm 3.8$ , Dが $66.9$ でありA, B, Cは約85%の地点で出現していた。DはA, B, Cよりも低かった。 $\dot{V}O_2$  (ml/kg/min)は, Aが $38.7 \pm 10.9$ , Bが $32.0 \pm 8.5$ , Cが $26.1 \pm 4.9$ , Dが $18.9$ であり平均値でみれば, A, B, C, Dの順に高かった。 $\dot{V}O_{2max}$ は, Aが $67.0 \pm 11.8$ , Bが $66.0 \pm 14.7$ , Cが $59.4 \pm 8.9$ , Dが $41.5$ でありA, B, Cは約64%の地点で出現していた。DはA, B, Cよりも低かった。しかし, 各グループ間に有意差はなかった。Dは1名のため, 有意差検定は行なえなかったが, 他のグループよりもかなり低い値であった(表-3)。

#### 4. 論 議

本研究は, 先行研究<sup>2)3)4)5)6)7)8)9)15)</sup>により報告されたような漸増運動中におけるHRが直線的増加から下方へずれてゆくという現象について, すべての被検者に共通して起こるものではないということを示している。この結果は, 心拍数屈曲点が必ずしもすべての被検者には見られなかったという Kuipers ら<sup>13)</sup>, Ribeiro ら<sup>14)</sup>の結果と一致するものである。本研究の被検者は, 中・長距離ランナー10名, 体育専攻学生11名, 一般学生13名, 中・高年者23名という4つのグループであり, 心拍数屈曲点の出現率は, 中・長距離ランナーが80.0%と一番高く, 次いで体育専攻学生の63.6%, 一般学生の53.8%, そして中・高年者はわずかに4.3%であった。Ribeiro ら<sup>12)</sup>は考察の中で, 被検者の違いが心拍数屈曲点の出現に影響するだろうと述べており, 本研究結果はその知見を支持するものとなった。また, 各グループの $\dot{V}O_{2max}$ の値が中・長距離ランナー, 体育専攻学生, 一般学生, 中・高年者の順に高かったことから,  $\dot{V}O_{2max}$ が高ければ出現率も高くなることが示唆される。一般に,  $\dot{V}O_{2max}$ の値は年齢, 性, スポーツ種目, 身体活動量等に左右される<sup>17)</sup>。したがって, 年齢が低いほど出現率が高く, また同年令ならば身体活動量が多いほど出現率が高いということが考えられる。筆者ら<sup>18)</sup>は, 通勤に歩行・自転車・バスを利用する群と自家用車を利用する群を比較したところ, 前者の $\dot{V}O_{2max}$ が後者よりも有意に高く, 身体活動量も多かったという結果を得た。このことは, 中・高年者23名中, 心拍数屈曲点が出現した1名のみ通勤に自転車(片道3km)を利用しており, 他の22名は自家用車であったという本研究結果からも身体活動量の違いが出現率に影響していることが推測できる。それでは, なぜ身体活動量が多いほど出現率が高いのかという理由については次のことが考えられるだろう。それは, 脚筋力の問題である。普段からあまり活動していない者は, 心拍数屈曲点に達する前に脚筋の疲労により運動を中止してしまう可能性が考えられる。しかし, 本研究の被検者の最高心拍数は, 推定最高心拍数(220-年齢)<sup>1)</sup>に近い値であり(表-1), 心拍数屈曲点が出現した時のHRよりも高かった(表-3)ことから, 脚筋力はあまり関係がないと思われる。

したがって,  $\dot{V}O_{2max}$ の限定要因である心拍出量と動静脈酸素較差<sup>11)</sup>に関係があるものと思われる。今回, 心拍数屈曲点とATとの関連も検討したかったが, 本研究では測定上の制限があり,

またATは現在、論争の過中にあるため、ATの決定は避けた。しかし、ATが常に $\dot{V}O_2\max$ の40%~70%で起こるという事実<sup>16)</sup>は本研究結果(表-3)と一致する。それゆえ、心拍数屈曲点はATとなんらかの関係があるものと思われる。つまりこれは、AT以上の運動強度では乳酸の蓄積に伴うPHの低下により心機能が低下するということを意味するであろう。もし、心機能が低下し心拍出量の増加が抑制されるにもかかわらず $VO_2$ が増加するならば、それは動静脈酸素較差によるものであろう。中・高年者の心拍数屈曲点に限定してみると、 $\dot{V}O_2\max$ は18.9と青年男子の被検者よりも低かったが、年齢による心拍出量の低下<sup>11)</sup>を動静脈酸素較差で補っているために心拍数屈曲点が出現したと考えられる。したがって、動静脈酸素較差の影響も心拍数屈曲点の出現に関与していると思われる。

## 5. 結 論

本研究は、被検者の違いつまり、有酸素的作業能力の違いが心拍数屈曲点の出現にどのように関与しているのかを中・長距離ランナー、体育専攻学生、一般学生、中・高年者を対象として調査した。その結果、次のことが明らかとなった。

- 1) 心拍数屈曲点は、 $\dot{V}O_2\max$ の値が高い者ほど明確に出現した。
- 2) また、その点は若年者については%HRmaxの約85%(82.8~87.3%)、 $\dot{V}O_2\max$ の約64%(59.4~67.0%)で、中・高年者については若年者よりも低く、66.9%と41.5%で出現した。したがって、心拍数屈曲点は有酸素的作業能力の高い者に起こる現象であると思われる。

## 参 考 文 献

- 1) American heart association, committee on exercise. Exercise testing and training of apparently healthy individuals: A handbook for physician. New York: American heart association. 1972.
- 2) Ballarin, E., C. Borsetto, M. Patracchini, P. Vitiello, P. G. Ziglio, and F. Conconi. Adaptation of the "Conconi Test" to children and adolescents. Int. J. Sports Med. 10 (5): 334-338, 1989.
- 3) Baraldi, E., S. Zanconato, P. A. Santuz, and F. Zacchello. A comparison of two noninvasive methods in the determination of the anaerobic threshold in children. Int. J. Sports Med. 10(2): 132-134, 1989.
- 4) Bunc, V., J. Heller, and J. Leso. Kinetics of heart rate responses to exercise. J. Sports Sci, 6: 39-48, 1988.
- 5) Cellni, M., P. Vitiello, A. Nagliati, P. G. Ziglio, S. Martinelli, E. Ballarin, and F. Conconi. Noninvasive determination of the anaerobic threshold in swimming. Int. J. Sports Med. 7: 347-351, 1986.
- 6) Conconi, F., M. Ferrari, P. G. Ziglio, P. Drogetti, and L. Codeca. Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol. 52(4): 869-873, 1982.
- 7) Doroggetti, P. Determination of the anaerobic threshold on rowing ergometer by the relationship between work output and heart rate. Scand. J. Sports Sci. 8(2): 59-62, 1986.
- 8) Droghetti, P., C. Borsetto, I. Casoni, M. Cellini, M. Ferrari, A. R. Paolini, P. G. Ziglio and F. Conconi. Noninvasive determination of the anaerobic threshold in canoeing, cross-country skiing, cycling, roller, and iceskating, rowing, and walking. Eur. J. Appl. Physiol. 53:299-303, 1985.
- 9) Gaisl, G., and G. Wiesspeiner. A noninvasive method of determining the anaerobic threshold in

- children. *Int. J. Sports Med.* 8: 41-44, 1988.
- 10) Hudson, D. J. Fitting segmented curves whose join points have to be estimated. *American Statistical Association Journal*, December.: 1097-1129, 1966.
  - 11) 池上晴夫・運動処方・朝倉書店, 1982.
  - 12) 伊藤静夫, 黒田善雄, 塚越克己, 雨宮輝也, 金子敬二. スポーツ選手のATに関する研究—第二報 中・長距離, マラソン選手のATについて—. *日本体育協会スポーツ科学科学研究報告*.
  - 13) Kuipers, H., H. A. Keizer, T. de Vries, P. van Rijnthoven, and M. Wijts. Comparison of heart rate as a non-invasive determinant of anaerobic threshold with the lactate threshold when cycling. *Eur. J. Appl. Physiol.* 58: 303-306, 1988.
  - 14) Ribeiro, J. P., R. A. Fielding, V. Hughes, A. Black, M. A. Bochese, and H. G. Knuttgen. Heart rate break point may coincide with the anaerobic and not the aerobic threshold. *Int. J. Sports Med.* 6: 220-224, 1985.
  - 15) Maffulli, N., B. sjodin, and B. ekblom. A laboratory method for non invasive anaerobic threshold determination. *J. Sports Med.* 27: 419-423, 1987.
  - 16) Wasserman, K., B. J. Whipp, and J. A. Davis. Respiratory physiology of exercise: metabolism, gas exchange, and ventilatory control. *Int. Rev. Physiol. Respir. Physiol.* 23: 149-211, 1981.
  - 17) 山地啓司. 心拍数の科学. 大修館書店, 1981.
  - 18) 山西哲郎, 福地豊樹, 土井由夫, 大沢雄二郎. 群馬県民の日常生活の身体活動量と有酸素的作業能の関係について. 特定研究「健康科学」研究報告: 13—20, 1991.