運動終了後の副交感神経活動の簡易評価法とコンディショニングにおける応用

菅 原 順* 濱 田 豊** 鍋 倉 賢 治***
西 嶋 尚 彦*** 松 田 光 生***

THE SIMPLIFIED EVALUATION OF POST-EXERCISE VAGAL REACTIVATION AND APPLICATION IN ATHLETIC CONDITIONING

JUN SUGAWARA, YUTAKA HAMADA, YOSHIHARU NABEKURA, TAKAHIKO NISHIJIMA and MITSUO MATSUDA

Abstract

It has been shown that the time constant of heart rate decline for the first 30 sec (T_{30}) after exercise, at an intensity lower than the ventilatory threshold (VT), can serve as a specific index to assess post-exercise vagal reactivation. The purpose of this study was to validate the use of a simpler alternative index, i. e. $\% \Delta HR_{30}$ (the ratio of heart rate decrement for the first 30 sec after exercise) for the evaluation of parasympathetic nervous reactivation, and to examine whether it would be a useful index in the conditioning of athletes. Eighteen college students performed 4 minutes cycle ergometer exercise routines at intensities of 40%, 80%, and 120% VT to compare the $\% \Delta HR_{30}$ and the T_{30} . In addition, the $\% \Delta HR_{30}$ was obtained by a field test (4 minutes jogging) in 15 college middle and long distance runners, every morning during summer camp training to assess the state of athletic conditioning. The $\% \Delta HR_{30}$ at 80% VT was similar to the value at 40% VT, but significantly different from the value at 120% VT, as was the T_{30} at 80% VT. The $\% \Delta HR_{30}$ significantly correlated with the T_{30} and $\dot{V}O_{2max}$. During the camp, the $\% \Delta HR_{30}$ was higher on mornings following light training days than on mornings following hard training days. These results suggest that the $\% \Delta HR_{30}$, at an exercise intensity lower than the VT, could be a simple and useful index to evaluate post-exercise parasympathetic nervous reactivation in the conditioning of athletes.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1999, 48 : 467~476)

key words : heart rate, parasympathetic nervous system, athletic conditioning

I. 緒 言

心拍数は運動中に増大し、運動終了とともに減少する。運動終了後にみられる心拍数の減少には、運動中に抑制されていた副交感神経活動の再興奮と賦活されていた交感神経活動の抑制が関与するとされている。特に、運動の終了後30秒間の心拍数回復過程を自律神経遮断薬を用いて検討した Imai たち¹⁾の研究では、換気性閾値 (VT) 以下の強度の運動負荷後における心拍数減衰曲線を近似した指数関数の時定数 (T_{30}) は、主に運動終了後の副交感神経再興奮過程を反映していることが示

唆されている。

運動トレーニングによる体力の向上に伴い、安静時の副交感神経活動が亢進することが知られている。また、Imai たち¹⁾の研究では、アスリートの T_{30} は一般健常者に比べ短縮していることが示されている。他方、過度に疲労しているアスリートでは、普段に比べて、起床時心拍数が高い²⁾、最大下負荷運動後の心拍数の回復が遅い³⁾、といった徴候がみられることがある。これらのことは、副交感神経活動と体力水準や疲労との間には密接な関連があることを示唆すると思われる。したがって、運動終了後の副交感神経再興奮過程を

*筑波大学体育科学研究科

**筑波大学体育研究科

***筑波大学体育科学系

〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Doctoral program in Health and Sports Sciences, University of Tsukuba

Master's program in Health and Physical Education, University of Tsukuba

Institute of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba

数値化した T_{30} は、アスリートのコンディショニングにおける指標の一つとして利用できる可能性がある。また、 T_{30} は VT 以下の運動では運動強度に関わらずほぼ一定の値を示すとされている¹⁾。したがって、厳密な運動負荷強度の設定が難しい現場でも使用されうるとはいえ、 T_{30} を現場で算出することは簡単ではないので、これに代わる簡易評価法の開発が必要である。そこで、本研究では T_{30} に代わる副交感神経の再興奮過程の指標として、運動終了直後の30秒間における心拍数減少過程をほぼ直線的であると仮定して、30秒間における心拍数減少率($\% \Delta HR_{30}$)を提案する。

本研究の目的は、アスリートのコンディショニングにおける $\% \Delta HR_{30}$ の指標としての妥当性と有用性を検討することである。本研究では、まず、 $\% \Delta HR_{30}$ は副交感神経の再興奮過程の指標として T_{30} に代わりうるか否かを検討するため、VT 水準以下において強度の異なる定量運動負荷を加え、運動終了直後の心拍変動過程から T_{30} および $\% \Delta HR_{30}$ を求めて両者を比較し、同時に、両者と体力水準の関連性についても検討した(研究1)。次いで、 $\% \Delta HR_{30}$ がアスリートのトレーニングに伴う疲労等の生体の反応を反映するか否かを検討するため、大学陸上部中長距離走選手の夏季強化合宿において継続的にフィールドテストを行い、トレーニング状況に伴う $\% \Delta HR_{30}$ の変動を観察した(研究2)。

II. 方 法

A. 対象

研究1では健康な男子大学生18名(年齢: 24.2 $\pm$ 2.2歳, 身長: 173.0 $\pm$ 6.2 cm, 体重: 69.3 $\pm$ 9.7 kg)を対象とした。内訳は定期的な高強度の運動トレーニングを行っている競技選手が3名, 中等度の強度の運動を余暇時間に週に1~2日程度行っている者が10名, 運動習慣のない者が5名であった。研究2では大学生陸上部中長距離走選手15名(年齢: 20.1 $\pm$ 1.4歳, 身長: 168.1 $\pm$ 5.8 cm, 体重: 57.8 $\pm$ 5.4 kg)を対象とした。それぞれの実験に際して、全ての被験者に実験内容や手順を

説明し、途中で辞退できることを理解させた上で実験参加の同意を得た。

B. 実験プロトコル

研究1: 被験者全員に、 VO_{2max} および VT の測定を目的とした漸増負荷運動テストと、運動終了後の副交感神経再興奮過程の評価を目的とした定量負荷運動テストを、それぞれ異なる日に施行した。定量負荷運動テストでは VT が認められた時点の運動負荷量の40%, 80%, 120% (それぞれ40% VT, 80% VT, 120% VT)を負荷した。それぞれの測定に先立ち、被験者には前日からの激しい身体活動、飲酒、薬剤服用の禁止と十分な睡眠の確保を指示した。当日は実験前3時間以内の飲食を避けるよう指示した。

漸増負荷運動テストは自転車エルゴメーターを用いて行った。各被験者が10~15分程度で疲労困憊に至るよう、初期負荷量 50 W から1分毎に15 W もしくは20 W ずつ負荷量を増加した。負荷量漸増の割合は被験者の体重や運動歴を参考に決定した。運動中の換気動態を呼気ガス分析器(ミナト医科学社製, AE-280)を用い breath-by-breath で連続測定し、酸素摂取量, 二酸化炭素排出量, 分時換気量の30秒間毎の平均値を算出した。 VO_{2max} は疲労困憊で運動継続が不可能となった時点の酸素摂取量とした。VT は得られた酸素摂取量と二酸化炭素排出量から V-Slope 法⁴⁾により推定した。

定量負荷運動テストは、漸増負荷運動テスト施行後2週間以内に行った。被験者は自転車エルゴメータ上で2分間の安静をとった後、予備運動(40% VT) 1分間と3種類の強度の異なる主運動(40% VT, 80% VT, 120% VT) 3分間ずつをそれぞれ組み合わせた計4分間の運動を、40% VT, 80% VT, および120% VT 強度の順に、6分間の安静を挟んで行った(図1)。各テスト間および120% VT 強度での運動終了後は、自転車エルゴメータ上で安静を保った。収縮期血圧および拡張期血圧は、上腕にカフを巻き自動血圧計(コーリン社製, STBP-780B)を用いて、運動直前と主運動時の最後の1分間に測定した。運動開始2分前

Fig. 1. Protocol of exercise test.

(安静時)から 120% VT 運動終了 5 分後までの換気動態と心電図 R-R 間隔データを記録した。運動中の換気動態は漸増負荷運動テストと同様の方法で測定し、安静中および各主運動の最後の 30 秒間の酸素消費量を求めた。心電図 R-R 間隔データは、瞬時心拍数記録器(ナデックス社製, AM01-M01)を用い、胸部双極誘導法により 1 msec の時間分解能で記録した。記録した R-R 間隔データは、パーソナルコンピュータ(NEC 社製, PC9801)に取り込み、解析プログラム(ナデックス社製, AM01-F01A)を用いて瞬時心拍数に換算した。得られた瞬時心拍数データから、各負荷強度における主運動の最後の 1 分間の平均心拍数を求めて運動時心拍数とした。また、運動終了後の瞬時心拍数データを副交感神経再興奮過程の解析に用いた。

研究 2: 大学陸上競技部中長距離走選手の夏季強化合宿(平成10年 7 月13日~31日)において、2 日目以降早朝のトレーニング開始前にフィールドテストを行い、運動終了後の副交感神経再興奮過程の評価を行った。フィールドテストは 4 分間のランニング負荷により行った。2 分間の立位安静をとった後、4 分間のジョギングを行い、4 分経過した時点で立ち止まり、その場で 1 分間の立位安静を保った。ジョギングペースは普段のトレーニングで VT 以下の走トレーニングとして行われているペースとし、多少の個人差はあるものの、4 分間でおおよそ 800 m が目安となっていた。テスト中の心拍数を無線式心拍数記録器(Polar 社製, バンデージ XL)にて連続的に記録し、5 秒

間毎の平均値を求めた。また、トレーニング量の評価として、毎日の走行距離を対象者自身に記録させた。

合宿はほぼ 3 週間にわたって行われた。初日は合宿地への移動日であり、午後にはのみ軽度のトレーニングが行われた。2 日目以降は基本的に、早朝(軽度のトレーニング)と午後(高強度トレーニング)の 1 日 2 回トレーニングを行う日が 2 日続き、次いで早朝のみに軽度のトレーニングを行う積極的休養を主体とした日が 1 日という、3 日周期のトレーニングスケジュールとなっていた。ただし、第 3 番目の周期のあとに、早朝と午後トレーニングを行う日と早朝のみにトレーニングを行う日が 1 日ずつの、2 日周期の変則的なスケジュールが用意された(11, 12 日目)。この時期にトレーニング量を落とし、前期の疲労を解消させることが意図されていたためである。

C. 運動終了後の副交感神経再興奮過程の評価

T_{30} : T_{30} の算出は Imai たち¹⁾の方法に従った。運動終了後 30 秒間の瞬時心拍数データを対数変換して一次回帰直線を求め、得られた直線の勾配の逆数を T_{30} とした。

% ΔHR_{30} : 定量運動負荷テストでは、運動終了直前 5 秒間の平均心拍数と運動終了後 25 秒目から 30 秒目までの平均心拍数をそれぞれ求め、両者の差を運動終了直前 5 秒間の平均心拍数で除し、% ΔHR_{30} とした。フィールドテストでは、テスト中に記録した心拍数の経時データより、運動終了時点および運動終了後 30 秒経過時点の心拍数を

それぞれ求め、両者の差を運動終了時点の心拍数で除し、 $\% \Delta HR_{30}$ とした。

D. 分析方法

研究1：40% VT, 80% VT, 120% VT 強度の運動間で、 T_{30} , $\% \Delta HR_{30}$, 運動時心拍数, 収縮期血圧, 拡張期血圧, および酸素消費量を比較し, 運動負荷強度依存性を検討した。次いで、 T_{30} と $\% \Delta HR_{30}$ との相関関係, さらに、 T_{30} および $\% \Delta HR_{30}$ と $\dot{V}O_{2max}$ との相関関係を検討した。

研究2：トレーニングでの走行距離, 早朝のトレーニング前に行ったフィールドテストでの運動終了時の心拍数および $\% \Delta HR_{30}$ について, 被験者全員の平均値を毎日求め, 合宿を通じての変動を観察した。前日に, 早朝と午後の2回トレーニングが行われた日と早朝のみにトレーニングが行われた日とで $\% \Delta HR_{30}$ の平均値を比較した。同様に, 合宿の前半の3～8日目と後半の14～19日目とで, 前日の走行距離, $\% \Delta HR_{30}$, それぞれの平均値を比較した。比較の対象とした期間(3～8日目および14～19日目)は, 3日周期のトレーニングスケジュールのはじめの2周期(2～7日目)と最後の2周期(13～18日目)のそれぞれ翌日とした。

E. 統計学的解析

各データは平均値±標準偏差で示した。研究1においては, 相関関係の検討に単相関分析を行った。運動負荷強度依存性の検討には運動負荷強度を要因とする一元配置分散分析を用い, 有意差が認められた場合に, フィッシャーのPLSD法に

より多重比較検定を行った。研究2における平均値の比較には, ランダマイゼーション検定^{5,6)}を用いた。本研究のように, データ間にトレーニング状況に伴う系列依存性が存在する場合は, 無作為配置により群を確率的な意味で等質化することが必要なためである。

有意水準は5%とした。

Ⅲ. 結 果

研究1：被験者の $\dot{V}O_{2max}$ およびVT時の酸素摂取量の平均値はそれぞれ 46.9 ± 9.7 ml/kg/min, 29.9 ± 4.8 ml/kg/minであった。各指標の運動負荷強度毎の比較を表1に示した。運動時心拍数, 収縮時血圧, 酸素消費量は, 負荷強度が高いほど高値を示し, 各負荷強度間に有意差が認められた。 T_{30} は40% VT および80% VT 強度ではほぼ同じ値を示し, 120% VT 強度では40% VT および80% VT 強度に比して有意に高値を示した。 $\% \Delta HR_{30}$ は, 40% VT および80% VT 強度ではほぼ同じ値を示し, 120% VT 強度では40% VT および80% VT 強度に比して有意に低値を示した。拡張期血圧は, 各運動負荷強度間で有意差は認められなかった。図2に40%および80% VT 強度での $\% \Delta HR_{30}$ を比較して示す。40%および80% VT 強度における $\% \Delta HR_{30}$ は, ほぼ同一の値をとることが示された。80% VT 強度における T_{30} と $\% \Delta HR_{30}$ の間には, 極めて強い有意の相関関係が認められた($r = -0.954$, $P < 0.0001$; 図3—A)。40% VT 強度における T_{30} と $\% \Delta HR_{30}$ の間にも, 有意の相関関係が認められた($r = -0.727$, $P < 0.001$; 図3—B)。

Table 1. Physiological responses to exercise.

	40% VT	80% VT	120% VT
HR (bpm)	97.1 ± 8.2*	126.8 ± 8.7	159.9 ± 10.6*
T_{30} (sec)	97.9 ± 36.8	106.6 ± 40.1	201.2 ± 87.2*
$\% \Delta HR_{30}$ (%)	27.0 ± 7.1	26.9 ± 9.2	16.1 ± 7.3*
SBP (mmHg)	153.2 ± 12.2*	186.9 ± 15.9	218.9 ± 22.6*
DBP (mmHg)	78.6 ± 9.3	75.7 ± 12.5	73.1 ± 16.4
$\dot{V}O_2$ (ml/min)	992 ± 189*	1668 ± 320	2331 ± 434*

Data are expressed as mean ± SD. *: $P < 0.05$ vs 80% VT.

Fig. 2. Relationship between $\% \Delta HR_{30}$ at 40% VT and 80% VT.

VO_{2max} と 80% VT 強度における T_{30} ($r = -0.505$, $P < 0.05$; 図 4—A) および $\% \Delta HR_{30}$ ($r = 0.576$, $P < 0.05$; 図 4—B) との間に、有意の相関関係が認められた。

研究 2：図 5 に合宿中の走行距離とフィールドテストにおける運動終了時の心拍数および $\% \Delta HR_{30}$ を示した。運動終了時の心拍数は概ね 120～130 bpm に保たれており、フィールドテストは VT 水準以下の運動負荷で行われていたといえる。前日が、早朝と午後の 2 回トレーニングが行われトレーニング量が多かった日 (H-TR：走行距離 36.8 ± 4.2 km) と積極的休養が主体のトレーニング量が少なかった日 (L-TR： 17.5 ± 4.1 km) とで $\% \Delta HR_{30}$ の平均値を比較すると、 $\% \Delta HR_{30}$ は L-TR で有意に高値を示した (H-TR： $25.2 \pm 1.6\%$, L-TR： $28.2 \pm 1.5\%$, $P < 0.01$; 図 6)。合宿前半の 3～8 日目と後半の 14～19 日目との比較では、前日の走行距離平均値 (3～8 日目： 31.7 ± 8.3 km, 14～19 日目： 29.3 ± 12.7 km), $\% \Delta HR_{30}$ 平均値 (3～8 日目： $26.3 \pm 2.0\%$, 14～19 日目： $25.6 \pm 2.9\%$; 図 7), とともに有意差は認められなかった。

なお、合宿期間中に特に強い疲労感を訴えた者や、オーバートレーニング症候群のような病的疲労状態を示す者はいなかった。

Fig. 3 Relationships between T_{30} and $\% \Delta HR_{30}$ (A: 80% VT, B: 40% VT).

IV. 考 察

本研究では、まず、運動の終了後 30 秒間の心拍数回復過程を直線で近似して得られる心拍数減少率 ($\% \Delta HR_{30}$) が運動終了後における副交感神経の再興奮過程の指標として妥当であるかを検討するため、30 秒間の心拍数回復過程を指数関数で近似して得られる時定数 (T_{30}) と比較した。 T_{30} および $\% \Delta HR_{30}$ は、VT 以下 (40% および 80% VT) の運動負荷では、ほぼ等しい値を示し、また、 T_{30} と $\% \Delta HR_{30}$ との間には強い相関関係が認め

Fig. 4. Relationships between $\dot{V}O_2\text{max}$ and T_{30} at 80% VT (A), and between $\dot{V}O_2\text{max}$ and $\% \Delta HR_{30}$ at 80% VT (B).

られた。さらに、 T_{30} および $\% \Delta HR_{30}$ は $\dot{V}O_2\text{max}$ と有意に相関した。すなわち、 $\% \Delta HR_{30}$ は副交感神経の再興奮過程の指標である T_{30} に代わりうる指標であることが確かめられ、また、体力水準 ($\dot{V}O_2\text{max}$) と有意に関連する指標であることも示された。 $\% \Delta HR_{30}$ は測定が簡便にできることに加え、VT 以下の運動であれば負荷強度に影響されないで、負荷強度の正確な設定が困難なフィールドにおいて有用な指標であると考えられた。次いで、大学陸上部中長距離走選手の夏季強

化合宿において、毎朝のトレーニング開始前にフィールドテストにより測定した $\% \Delta HR_{30}$ をトレーニング状況と対応させて検討したところ、 $\% \Delta HR_{30}$ は前日のトレーニング量に応じて変動し、トレーニング量が多かった日の翌朝には低値を、積極的休養を主体にした日の翌朝には高値を示した。すなわち、 $\% \Delta HR_{30}$ は疲労ないし疲労の回復状況と連動して変化する可能性が示唆された。

Imai たち¹⁾は、 T_{30} が副交感神経遮断薬を投与すると延長するが、交感神経遮断薬を投与しても変化しないことから、運動終了直後における心拍数の減衰は主に副交感神経の再興奮により生じるとしている。また、 T_{30} は運動強度に大きく影響されないこと、あるいは運動終了時の血圧や酸素消費量にも影響されないことから、運動終了直後の副交感神経の再興奮には、動脈圧受容体や活動筋の機械的あるいは化学的受容体を介する反射よりも、運動野から副交感神経中枢への抑制指令等の中枢性機構が関与している可能性が大きいとしている¹⁾。つまり、運動中は運動野から副交感神経中枢への抑制性の指令が働いているが、運動終了直後にはそれがなくなるために、副交感神経活動が回復し、その結果、心拍数が減少すると考えられる。ただし、VT 水準と 50% VT 水準における運動後の T_{30} には有意な差は認められなかったが、最大運動後には VT 水準の運動後に比べてわずかではあるが有意に延長したので、高強度の運動では末梢からの反射や血中のカテコラミンが、中枢指令に基づく副交感神経の再興奮を抑制する可能性があると推測されている¹⁾。本研究でも、40% VT と 80% VT 水準における T_{30} の値には有意差が認められず、120% VT 水準の運動後にはのみ有意に高値を示した。いずれにせよ、VT 水準以下の運動負荷では T_{30} はほぼ一定の値を示すと考えられ、運動負荷強度を厳密に設定することが困難なフィールドにおいて、副交感神経の再興奮過程を反映する指標として有用であろうと思われる。

T_{30} が運動強度に大きな影響を受けないことは、指標としての有用性を示すものであるが、フィールドにおいて心拍数の減衰過程を一次指数

Fig. 5. The daily change in heart rate at the end of jogging (■), $\% \Delta HR_{30}$ (●), and running distance (○) during summer camp. Data are expressed as mean $\pm$ SD.

Fig. 6. $\% \Delta HR_{30}$ in morning following light training day (L-TR) and morning following hard training day (H-TR). Data are expressed as mean $\pm$ SD. **: $P < 0.01$.

Fig. 7. $\% \Delta HR_{30}$ for the 3rd~8th day and 14th~19th day. Data are expressed as mean $\pm$ SD.

曲線に当てはめて時定数を求めることは実際には困難である。そこで、本研究では、それに代わりうる簡便な指標として30秒間の減衰過程を直線で近似し、 $\% \Delta HR_{30}$ を求めて T_{30} と比較した。た

だし、直線で近似するとしても、心拍数の直線回帰式から勾配を求める方法では、 T_{30} を求める手法と比べて簡便とはいえないので、本研究では、運動終了直前と運動終了25~30秒後の各5秒間の平均心拍数から心拍数減少率を求めることにした。Imai たち¹⁾によれば、運動終了後の20秒間

における心拍数減衰曲線の時定数と30秒間における時定数とは有意な差を示さなかったので、25～30秒間の平均心拍数で代用しても大きな差は生じないと考えたからである。その結果、 $\% \Delta HR_{30}$ もVT水準以下の運動ではほぼ一定の値を示し、しかも T_{30} との間にも強い相関関係が認められた。したがって、 $\% \Delta HR_{30}$ は運動終了後における副交感神経の再興奮過程の指標として妥当であり、また、フィールドで普通に用いられている心拍数記録器を用いれば、測定誤差は大きくなるとしても、簡便に求めることができるので、 T_{30} よりさらに有用な指標であろうと思われる。

Imai たち¹⁾は、よく鍛錬されたクロスカントリースキー選手の T_{30} は、一般健常者よりも有意に短縮していることを示した。本研究では、トレーニング水準の様々な対象者において、 T_{30} および $\% \Delta HR_{30}$ と体力水準との関連性を検討したところ、どちらの指標でも $\dot{V}O_{2max}$ との間に有意の相関関係が認められた。Imai たちと我々の成績から、体力水準の高い者では運動終了後の副交感神経の再興奮過程が亢進していることが示唆され、また、簡便な指標である $\% \Delta HR_{30}$ にも体力水準が反映されることが示された。

高い競技レベルのアスリートは、高度な技術や体力水準が要求されるため、常に生理的および心理的限界に近い状況でトレーニングを行わなければならない。そのために、トレーニングと回復のバランスを崩し、疲労の蓄積によるコンディションの低下を生じやすい。さらに、このような状況下で過度なトレーニングが継続されると、オーバートレーニング症候群と呼ばれる病的疲労状態に陥る恐れもある。オーバートレーニング症候群では、正常な状態に比して、睡眠中や起床時の心拍数が増大したり³⁾、最大下運動負荷時の心拍数や血中乳酸濃度などが増大することが報告されている⁷⁾。また、高田たち⁸⁾は過酷な急性負荷(超長距離走レース)後の睡眠時心拍変動の変化を検討し、交感神経緊張の回復遅延と副交感神経緊張の亢進が生じた可能性を示唆している。したがって、オーバートレーニング症候群や過労状態では、自律神経系や内分泌系の機能異常が生じている可

能性が高い。このような機能異常が、運動負荷後における副交感神経の再興奮過程にも反映されれば、上述したように簡便に求めることができる指標で評価できるので、アスリートのコンディショニングにとって意義が深いと思われる。

本研究において、大学陸上中長距離走選手の夏季強化合宿中の毎朝のトレーニング前に $\% \Delta HR_{30}$ を測定した。前日のトレーニングスケジュールがほぼ同じであった合宿前半と後半の6日間ずつを選び、 $\% \Delta HR_{30}$ の平均値を比較したが、両者の間に有意差は認められなかった。被験者は日頃からよくトレーニングを積んでいるアスリートであり、合宿期間中に体力水準が有意に変化する可能性は少ないのであろう。一方、毎日の $\% \Delta HR_{30}$ の変動を観察すると、 $\% \Delta HR_{30}$ は前日の走行距離と連動する変化を示した。すなわち、前日のトレーニング量が多かった朝には $\% \Delta HR_{30}$ が低値を示し、前日のトレーニング量が少なく疲労が回復していると思われる朝には高値を示した。アスリートの体力水準がトレーニング負荷に合わせて毎日変動する可能性は少ないであろうから、 $\% \Delta HR_{30}$ の変動はトレーニング内容に伴う疲労等の生体の反応の変化によるものと考えの方が妥当であろうと思われる。ただし、合宿期間中に強い疲労感を訴えた者やオーバートレーニング症候群のような病的疲労状態を示す者はいなかったもので、トレーニング量が多い日の翌朝の $\% \Delta HR_{30}$ の低値を疲労による低下とするより、トレーニング量の少ない日の翌朝の $\% \Delta HR_{30}$ の高値を休養による副交感神経機能の亢進と考えるほうが妥当であるという可能性もある。

アスリートのコンディショニングのための指標が意味のある指標であるためには、生理的な意味が明確な指標と対比して妥当性が保証されることが重要であるが、フィールドで簡便に求めることができる指標であることも重要である。本研究で提案した $\% \Delta HR_{30}$ は、運動終了後の副交感神経の再興奮過程を反映するとされる T_{30} と強い相関関係にあった。 $\% \Delta HR_{30}$ および T_{30} の測定には厳密な運動負荷強度の設定が不要であり、特に $\% \Delta HR_{30}$ はフィールドで簡便に求めることがで

きるので、指標としての意義が大きい。 $\% \Delta HR_{30}$ は、日常的に用いられている機器を装着して、トレーニング前のウォームアップとして行われるジョギング程度の負荷を数分間持続するだけで求めることができる。

以上、 $\% \Delta HR_{30}$ と体力水準との間に関連がみられたほか、大学中長距離走選手の夏季強化合宿において、トレーニングに伴う疲労等の生体反応、あるいはその回復状況と連動したことが示唆される変動を示し、オーバートレーニング回避の一助になる可能性が考えられた。本研究では、合宿中における短期間の変動を被験者全体の平均値からのみ検討したが、今後、他のコンディショニングの指標とも関連させ長期的な観察を行い、個人毎の変動を検討すれば、個人のコンディショニングについて有用な情報が得られると思われる。

V. 要 約

本研究では、 $\% \Delta HR_{30}$ が副交感神経の再興奮過程の指標として T_{30} に代わりうるか否かを検討するため、強度の異なる定量運動負荷を加えて、両者を比較した。 T_{30} および $\% \Delta HR_{30}$ は、40% VT および 80% VT 強度の運動負荷において、それぞれほぼ等しい値を示した。 T_{30} と $\% \Delta HR_{30}$ の間には強い相関関係が認められた。さらに、両者と $\dot{V}O_{2max}$ との間にそれぞれ有意の相関関係が認められた。これらの成績から、 $\% \Delta HR_{30}$ は運動負荷終了後の副交感神経の再興奮過程を反映する指標であることが示唆され、運動負荷が VT 水準以下であれば厳密な強度の設定が不要であること、また、体力水準も反映する指標であることが示された。次いで、 $\% \Delta HR_{30}$ がトレーニングに伴うアスリートの疲労等の生体反応を反映するか否かを検討するため、大学陸上部中

長距離走選手の夏季強化合宿において、毎朝のトレーニング開始前に $\% \Delta HR_{30}$ をフィールドテストにより測定し、トレーニング状況と対応させて検討したところ、 $\% \Delta HR_{30}$ はトレーニング量が多かった日の翌朝には低値を、休養を主体にした日の翌朝には高値を示した。すなわち、 $\% \Delta HR_{30}$ は疲労等の生体反応、あるいはその回復状況を反映している可能性が示唆された。

(受理日 平成11年5月11日)

参 考 文 献

- 1) Imai K., Sato H., Hori M., Kusuoka H., Ozaki H., Yokoyama H., Takeda H., Inoue M., & Kamada T. Vagally mediated heart rate recovery after exercise is accelerated in athletes but blunted in patients with chronic heart failure. *J. Am. Coll. Cardiol.*, (1994), **24**, 1529-1535.
- 2) Dressendorfer R. H., Wade C. E., & Scaff J. H. Increased morning heart rate in runners: a valid sign of overtraining? *Phys. Sportsmed.*, (1985), **13**(8), 77-81.
- 3) Costill D. L. *Inside Running*, 1st Ed., Chap. 5, Benchmark Press, Indianapolis, (1986), 123-134.
- 4) Beaver W. L., Wasserman K., & Whipp B. J. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.*, (1986), **60**, 2020-2027.
- 5) Edington E. S. *Randomization tests*, 3rd Ed. Marcel Dekker, New York, (1995).
- 6) D. H. バーロー, M. ハーセン (高木俊一郎, 佐久間徹監訳), 一事例の実験デザイン—ケーススタディの基本と応用—, 改版, 第9章, 二瓶社, 東京, (1997), 195-222.
- 7) Kuipers H., Verstappen F. T. J., Keizer H. A., Geurten P., & VanKranenburg G. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiologic correlates. *Int. J. Sports Med.* (1985), **6**, 197-201.
- 8) Takada H., Musya H., Nagashima J., Murayama M., Sugai J., Watanabe M., Ariyoshi M., Kawahara T. & Amemiya T. Response of cardiac autonomic nervous system in fatigue after super marathon. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.* (1991), **40**, 581. (abstr)