

## 第7章 心臓自律神経系活動とトレーニング状況との関連（課題3：実験3-1，2）

### 7.1 緒言

生体の機能はトレーニングによって一過性に低下するが、十分な栄養と休養をとることで回復し、さらにトレーニング開始時以上の水準に機能が向上する（超回復）。このようなトレーニング負荷に対する生体の適応現象に基づいてアスリートのトレーニングは行われる。この際、疲労とその回復のバランスをうまくとることがトレーニング効果を高めるために不可欠であり、このバランスが崩れると、疲労が慢性化してオーバートレーニング症候群につながる危険性もある。よって、アスリートにおいて、体力や体調を評価しながら計画的にトレーニングを遂行すること、あるいは競技に向けて体力や体調を適切に調整することは、トレーニング効果を高め、より優れた競技パフォーマンスを発揮するために重要である。

心臓自律神経系活動はコンディショニングのための有用な指標になる可能性が考えられるが、そのためにはトレーニング状況、あるいはそれに伴う疲労やその回復との関連を検討する必要がある。

本章では、運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答とトレーニング状況との関連を検討することを課題とした。ただし、本課題を遂行する上で、また、将来的に心臓副交感神経系活動回復応答をコンディショニングのための指標として応用する上でも、フィールドでの頻回な測定を念頭に置いた心臓副交感神経系活動回復応答の簡易評価の指標が必要である。本研究では、まず、 $T_{30}$ に代わる簡易指標として運動終了後の30秒間における心拍数減少率（ $\% \Delta HR_{30}$ ）を提案し、 $T_{30}$ と比較して簡易評価の指標の妥当性を検討した（実験3-1）。その上で、大学陸上部中長距離走選手の夏期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、従来用いられている体調の指標と比較しながら検討した（実験3-2）。

### 7.2 方法

#### 実験3-1

##### A. 対象

実験1-3と同一の被験者とした。被験者全員に実験の詳細を説明し、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. 最大酸素摂取量及び換気性閾値の測定

実験 1-3 と同一の実験方法にて最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) と換気性閾値 (ventilatory threshold: VT) を測定した。

## C. $T_{30}$ 及び $\% \Delta HR_{30}$ の測定

$T_{30}$  及び  $\% \Delta HR_{30}$  を測定するため、定量負荷運動テストを  $\dot{V}O_{2max}$  及び VT の測定後 4~14 日以内に行った。被験者は自転車エルゴメーター上で 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, 及び 120% VT 強度の順に、6 分間の安静を挟んで行った (Fig. 7-1)。各テスト間及び 120% VT 強度での運動終了後は、自転車エルゴメーター上で安静を保った。収縮期血圧 (systolic blood pressure: SBP) 及び拡張期血圧 (diastolic blood pressure: DBP) は、上腕にカフを巻き自動血圧計 (日本コーリン; 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 (安静時) から 120% VT 強度での運動終了 5 分後までの換気動態及び瞬時心拍数の時系列データを記録した。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、安静中及び各主運動の最後の 30 秒間の酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) を求めた。瞬時心拍数時系列データは瞬時心拍数計 (NADEX; AM01-M01) を用いて、胸部双極誘導法により 1 msec の時間分解能で記録し、パーソナルコンピュータ (NEC; PC9801) に取り込んだ。 $T_{30}$  の算出は Imai ら (Imai et al. 1994) 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自然対数に変換して一時回帰直線を求め、得られた直線の勾配の逆数を  $T_{30}$  とした (第 3 章 3.3.2 参照)。 $\% \Delta HR_{30}$  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  $\% \Delta HR_{30}$  とした。

## D. 統計処理

各データは平均値  $\pm$  標準偏差で示した。一元配置分散分析を用い、測定した各指標を運動強度間で比較し、有意差が認められた場合に、フィッシャーの最小有意差法を用いて多重比較を行った。相関分析には単相関係数を求めた。統計学的有意水準は 5%未満とした。

## 実験 3-2

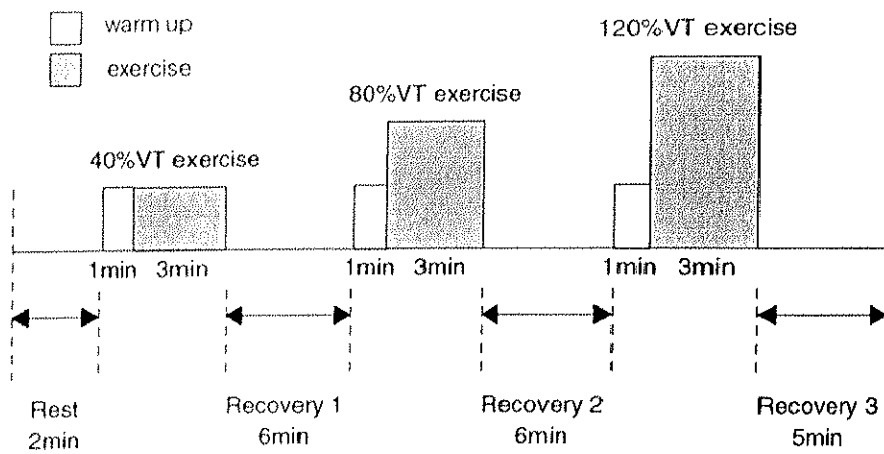


Fig. 7-1 Protocol of exercise test.

## A. 対象

夏期強化合宿(平成10年7月13~31日)に参加した大学男子陸上長距離走選手15名(20.1±0.4歳:平均値±標準偏差)を対象とした。被験者全員に研究の詳細を説明し、途中で辞退できることを理解させた上で研究参加の同意を得た。

## B. トレーニング

本合宿は秋に開催される箱根駅伝の予選会に向けての走り込み合宿であり、普段よりも長い距離を走るトレーニングが主体となっていた。合宿初日は午前中に合宿地へ移動し、午後に軽度のトレーニングが行われた。2日目以降は早朝(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で行われた。ただし、第3番目の周期のあとに、早朝と午後に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。

毎日の走行距離を被験者各自に記録させた。早朝及び午後のトレーニング時の天候、気温、湿度についても記録した。

## C. 測定項目

本研究では、体調を評価する生理学的指標として、毎日の夜間(睡眠中)尿量、起床時心拍数、起床時(採尿後)体重及び体脂肪量、早朝トレーニング開始前におけるフィールドテスト時の運動時心拍数及び $\% \Delta HR_{30}$ を合宿期間中測定した。

夜間尿として、入眠前に排尿した後に起床直後までの尿を全て採り、尿量を測定した。起床時心拍数は、各自が目覚めた際に、そのまま仰臥位で触診法(1分間)により測定した。採尿後に、体重及び体脂肪量を体重・体脂肪計(タニタ; TBF-102)を用いて測定した。

早朝トレーニング開始前にフィールドテストを行い、 $\% \Delta HR_{30}$ を測定した。フィールドテストは4分間のランニング負荷とした。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800m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 ; 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。運動終了時点及び運動終了後 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。また、トレーニング量の評価として、毎日の走行距離を被験者自身に記録させた。

被験者の心理的状态の評価には POMS (Profile of Mood State) (MacNair et al. 1992) を用いた。測定は合宿初日の夕食後と、早朝の軽度トレーニングのみのトレーニング日である合宿 6 日目、12 日目、18 日目の午前中に行った。また、通常トレーニング期間中で、トレーニングが休みだった合宿開始 11 日目の夕食後にも測定を行った。緊張 (Tension)、抑鬱 (Depression)、怒り (Anger)、活動性 (Vigor)、疲労 (Fatigue)、情緒混乱 (Confusion) の 6 つの因子について得点化した。

#### D. 分析方法

POMS を除く全ての体調の指標、及び毎日の走行距離について、被験者全員の平均値を 2 日目以降毎日求め、合宿を通じての変動を検討した。まず、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 日目及び 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。次いで、体調の指標間の相関分析、及び体調の指標と前日走行距離との相関分析を行った。測定時の気象条件が  $\% \Delta HR_{30}$  に及ぼす影響を検討するため、 $\% \Delta HR_{30}$  と測定時の気温及び湿度とについての相関分析も行った。また、前日のトレーニング状況 (前日走行距離) との関連性の強さを、 $\% \Delta HR_{30}$  と他の体調の指標との間で比較した。相関分析は合宿 3 日目以降のデータを対象にした。これは合宿への移動などのトレーニング以外の要因に拠る疲労の影響をできる限り排除し、体調の指標とトレーニングによる疲労の関連を明確にするためである。POMS は、各因子毎に被験者全員における平均値の合宿前、合宿前半及び後半の変動を検討した。

#### E. 統計処理

データは平均値±標準偏差で示した。平均値の比較にはランダムイゼーション検定を用いた。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 (Edington 1995 ; パーローら 1997). 相関分析には単相関係数を求めた. 相関係数の差の検定にはフィッシャーの Z 変換を行った. POMS の各因子得点の変動の検討には反復測定による分散分析を用い, 変動が有意だったものについて, フィッシャーの最小有意差法により多重比較を行った. 統計学的有意水準は 5%未満とした.

### 7.3 結果

#### 実験 3-1

被験者の各指標の運動負荷強度毎の比較を Table 7-1 に示す.  $T_{30}$  は 40%及び 80% VT 強度ではほぼ同じ値を示し, 120% VT 強度では 40%及び 80% VT 強度に比して有意に高値を示した. 同様に,  $\% \Delta HR_{30}$  は 40%及び 80% VT 強度ではほぼ同じ値を示し, 120% VT 強度では 40%及び 80% VT 強度に比して有意に低値を示した. 運動時心拍数, SBP,  $\dot{V}O_2$  は, 運動負荷強度が高いほど高値を示し, 各運動負荷強度間に有意差が認められた. DBP は, 各運動負荷強度間で有意差は認められなかった.

Fig. 7-2 に 40%及び 80% VT 強度での  $\% \Delta HR_{30}$  を比較して示す.  $\% \Delta HR_{30}$  は, 40%及び 80% VT 強度において各被験者毎に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  $\% \Delta HR_{30}$  との間には極めて強い有意な相関関係が認められた ( $r = -0.954$ ,  $P < 0.0001$ ; Fig. 7-3). 40% VT 強度における  $T_{30}$  と  $\% \Delta HR_{30}$  との間にも有意な相関関係が認められた ( $r = -0.727$ ,  $P < 0.001$ ; Fig. 7-3).

$\dot{V}O_{2max}$  と 80% VT 強度における  $\% \Delta HR_{30}$  との間に有意な相関関係が認められた ( $r = 0.576$ ,  $P < 0.05$ ; Fig. 7-4).

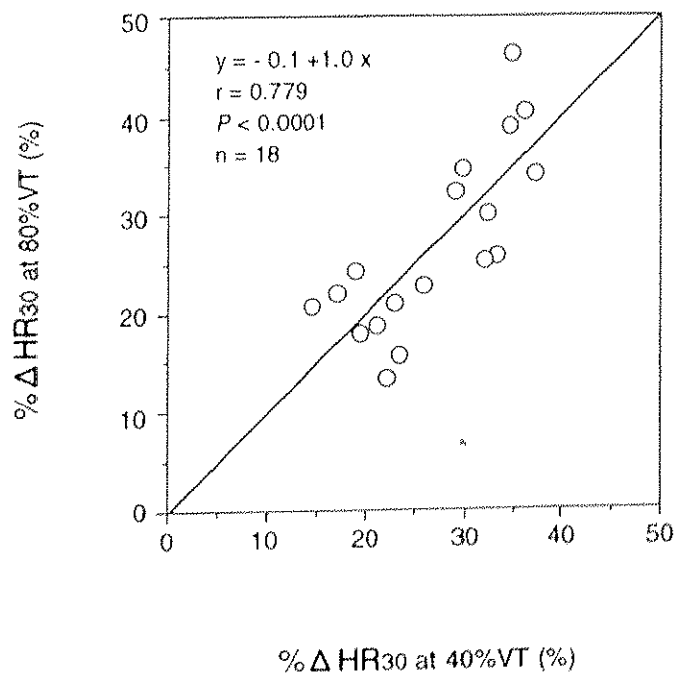
#### 実験 3-2

体調の指標, 及び走行距離の毎日の変動 (被験者全員の平均値) を Fig. 7-5 に示す. 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 以下の運動負荷強度で行われていたといえる.  $\% \Delta HR_{30}$  には走行距離に連動した変化が観察された. 前日に早朝と午後の 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  $36.8 \pm 4.2$  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

**Table 7-1.** 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 <sub>30</sub> (sec)	97.9 ± 36.8	106.6 ± 40.1	201.2 ± 87.2 *
% ΔHR <sub>30</sub> (%)	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 *

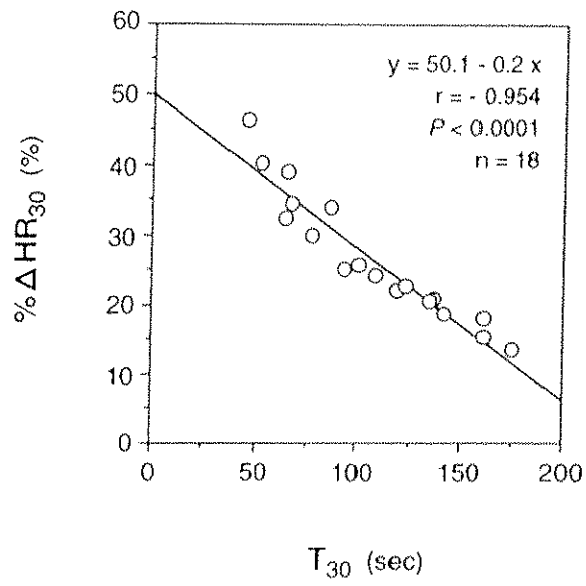
Mean ± SD. \* : P < 0.05 vs 80%VT. HR, heart rate; T<sub>30</sub>, time constant of beat-by-beat heart rate decrease for 30 sec immediately after exercise; % ΔHR<sub>30</sub>, ratio of heart rate decrement for the first 30 sec after exercise; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure;  $\dot{V}O_2$ , oxygen uptake.



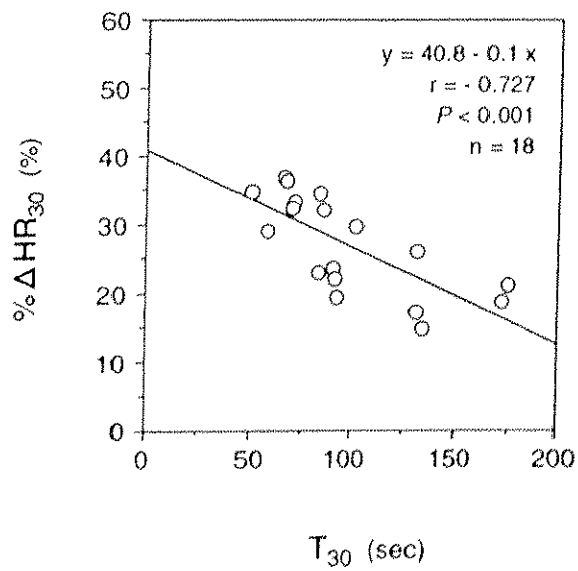
**Fig. 7-2** The relationship between the %ΔHR<sub>30</sub> at 40% VT and 80%VT.



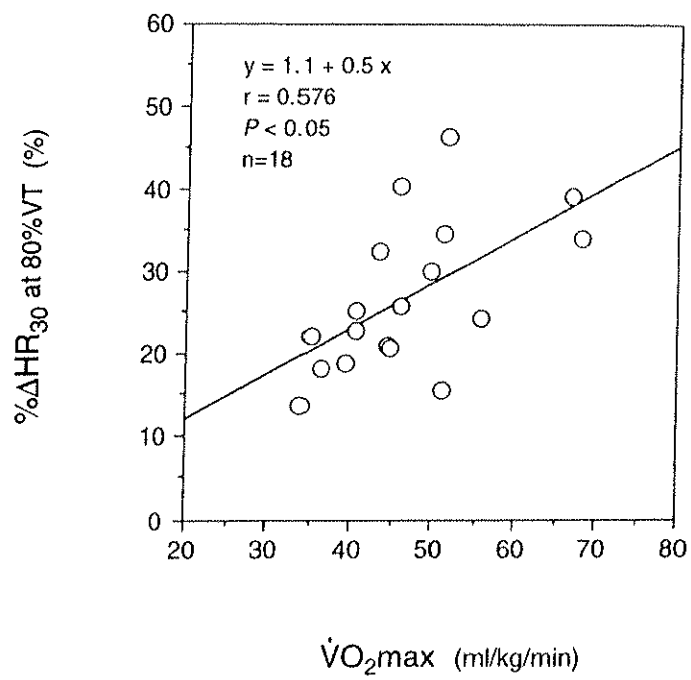
(A)



(B)



**Fig. 7-3** Relationships between the  $T_{30}$  and the  $\% \Delta HR_{30}$  (A: 80%VT, B: 40%VT).



**Fig. 7-4** The relationship between  $\dot{V}O_2\text{max}$  and the  $\% \Delta HR_{30}$  at 80%VT.

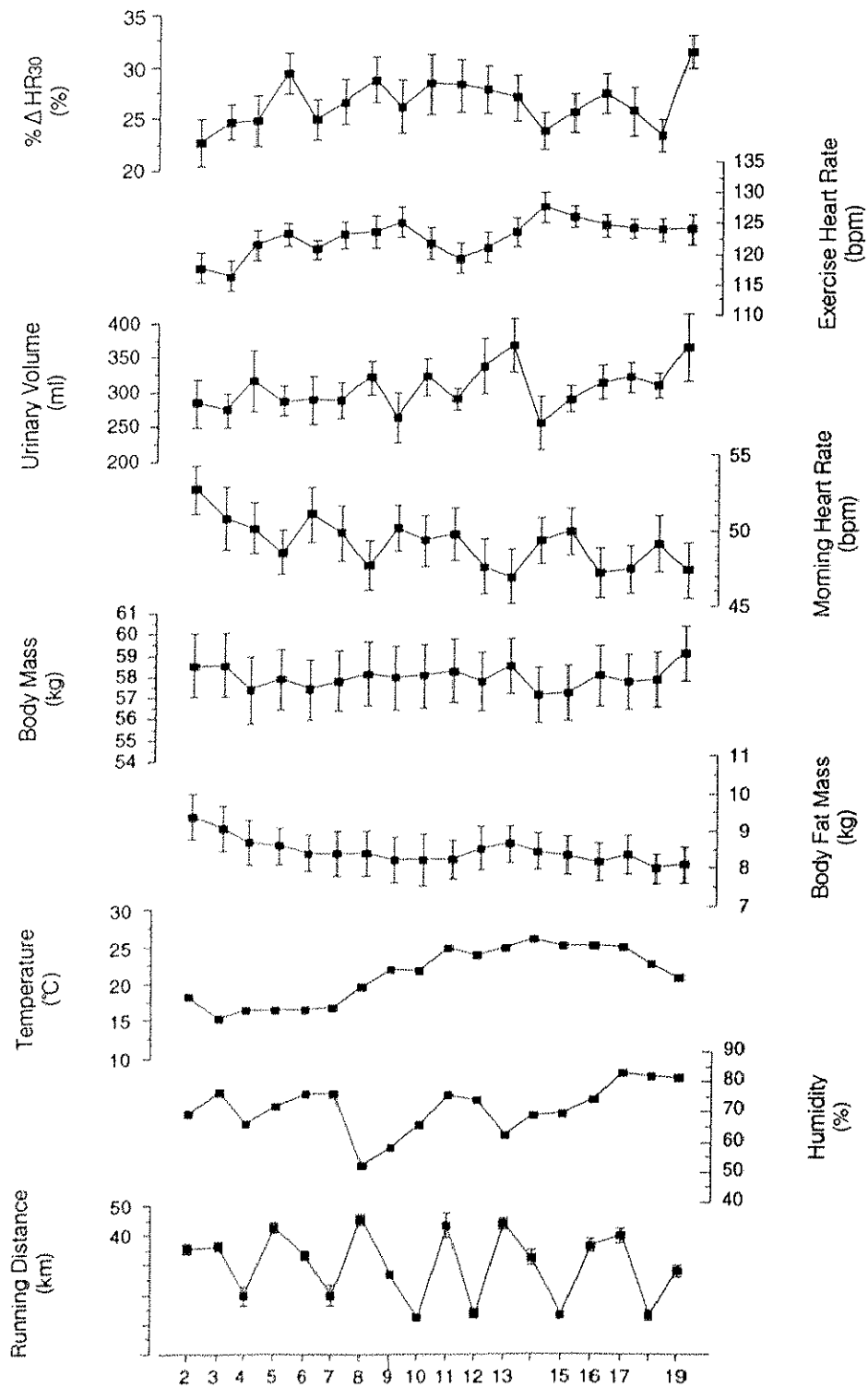


Fig. 7-5 The daily change in physiological parameter, temperature, humidity, and running distance. Data are expressed as mean  $\pm$  SE.

±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 :  $28.2 \pm 1.5 \%$ ,  $P < 0.01$  ; Fig. 7-6). 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 :  $31.7 \pm 8.3$  km, 14~19 日目 :  $29.3 \pm 12.7$  km ; Fig. 7-7) 及び  $\% \Delta HR_{30}$  平均値 (3~8 日目 :  $26.3 \pm 2.0 \%$ , 14~19 日目 :  $25.6 \pm 2.9 \%$ ) に有意差は認められなかった.

各指標間の相関分析を行ったところ,  $\% \Delta HR_{30}$  と起床時体重及び夜間尿量, 起床時体重と夜間尿量, 及び起床時心拍数と夜間尿量の間には有意な相関関係が認められた (Table 7-2).

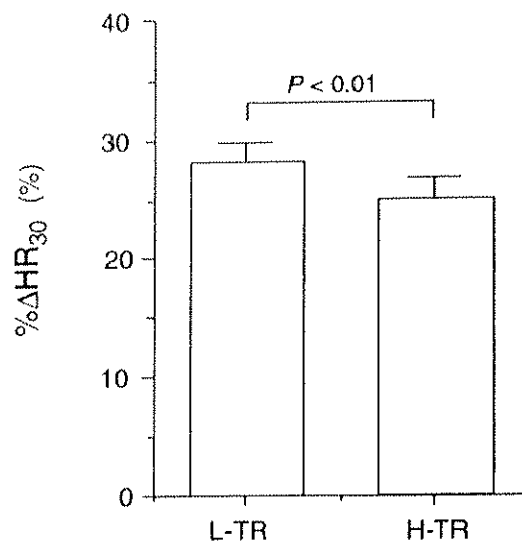
前日走行距離と有意な相関関係にあったのは  $\% \Delta HR_{30}$  ( $r = -0.708$ ,  $P < 0.01$  ; Fig. 7-8), 起床時体重 ( $r = -0.623$ ,  $P < 0.05$  ; Fig. 7-9), 起床時心拍数 ( $r = 0.520$ ,  $P < 0.05$  ; Fig. 7-9), 及び夜間尿量 ( $r = -0.508$ ,  $P < 0.05$  ; Fig. 7-10) であった. 前日走行距離と起床時体脂肪量及びフィールドテスト時の運動時心拍数との間には有意な相関関係は認められなかった (前日走行距離と起床時体脂肪量 :  $r = 0.175$  ; 前日走行距離と運動時心拍数 :  $r = 0.092$ ).  $\% \Delta HR_{30}$  と気温及び湿度との相関分析では, いずれの相関関係も非常に弱く, 統計学的に有意ではなかった ( $\% \Delta HR_{30}$  と気温 :  $r = -0.091$  ;  $\% \Delta HR_{30}$  と湿度 :  $r = -0.153$ ).

前日走行距離との相関関係の強さを,  $\% \Delta HR_{30}$  と起床時心拍数, 起床時体重, 夜間尿量との間で比較すると,  $\% \Delta HR_{30}$  との相関係数は起床時心拍数及び夜間尿量との相関係数よりも有意に大であった (それぞれ  $P < 0.01$ ,  $P < 0.0001$ ). 前日走行距離と  $\% \Delta HR_{30}$  との相関係数は前日走行距離と起床時体重との相関係数よりも大きかったが, 統計学的に有意ではなかった ( $P < 0.10$ ).

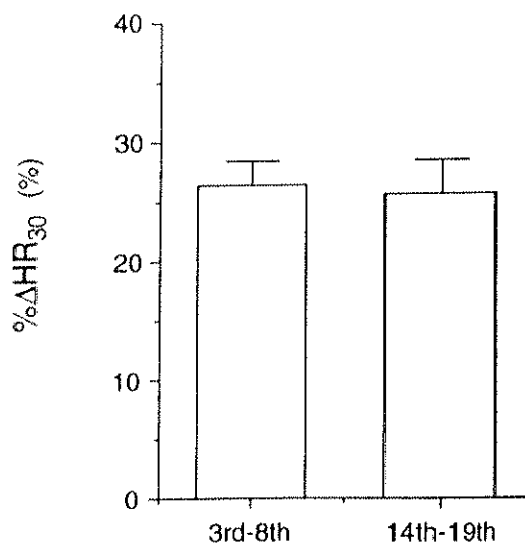
被験者全体の POMS の各因子の平均値の変動を Table 7-3 に示す. 緊張, 抑鬱, 怒り, 情緒混乱の因子はいずれも, 合宿前半の 2 回が合宿前及び合宿後半の 2 回よりも有意に高値を示したが, 活動性及び疲労には, 合宿前から合宿期間中において有意な変動は認められなかった.

#### 7.4 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 ( $\% \Delta HR_{30}$ ) は, 運動終了後における心臓副交感神経系活動回復応答の指標として妥当であるか否かを検討した. 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



**Fig.7-6** The %ΔHR<sub>30</sub> in morning following light training day (L-TR) and morning following hard training day (H-TR). Data are expressed as mean ± SD.

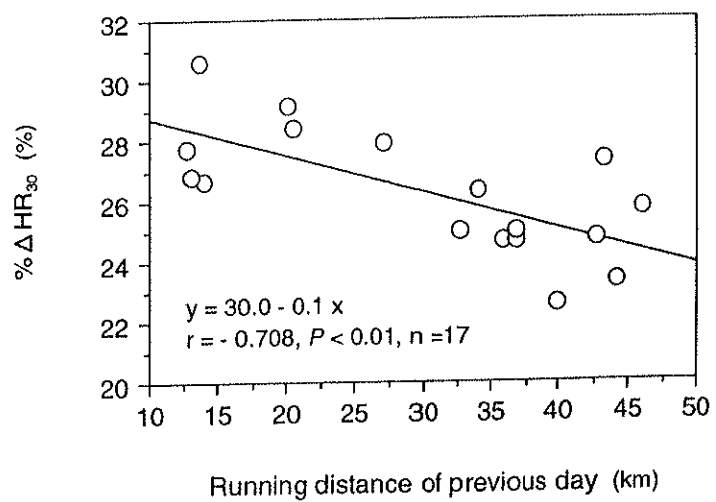


**Fig.7-7** The %ΔHR<sub>30</sub> for the 3rd - 8th day and 14th - 19th day. Data are expressed as mean ± SD.

**Table 7-2.** Simple correlation coefficients matrix between indices of athletic condition (n=17).

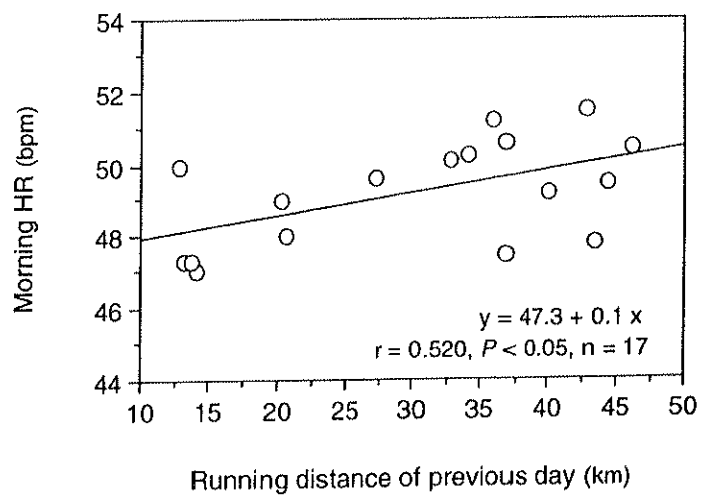
	% $\Delta$ HR <sub>30</sub>	Exercise HR	Urinary volume	Morning HR	Morning BM	Morning BFM
% $\Delta$ HR <sub>30</sub>	1.000					
Exercise HR	-0.122	1.000				
Urinary volume	0.496 *	-0.142	1.000			
Morning HR	-0.445	-0.315	-0.693 **	1.000		
Morning BM	0.635 **	-0.477	0.488 *	-0.302	1.000	
Morning BFM	-0.107	-0.487 *	-0.107	0.335	0.053	1.000

\*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ . %  $\Delta$  HR<sub>30</sub>, ratio of heart rate decrement for the first 30 sec after exercise; HR, heart rate; BM, body mass; BFM, body fat mass.



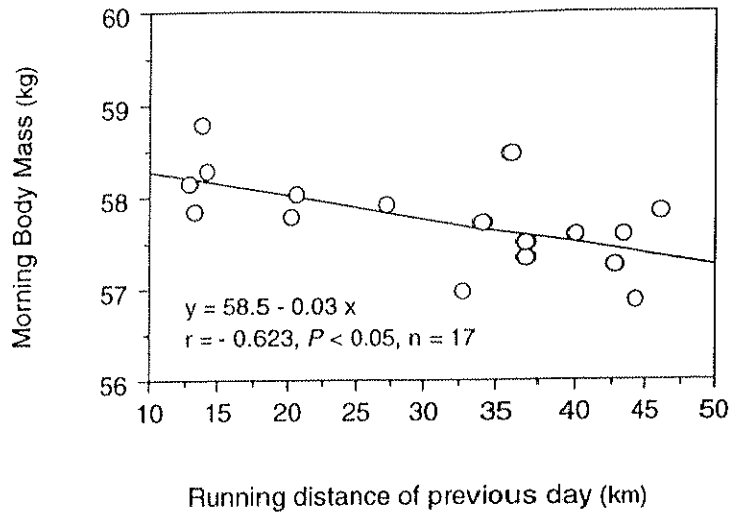
**Fig. 7-8** The relationship between the running distance of previous day and the %ΔHR<sub>30</sub> .





**Fig. 7-9** The relationship between the running distance of previous day and the morning heart rate.

(A)



(B)

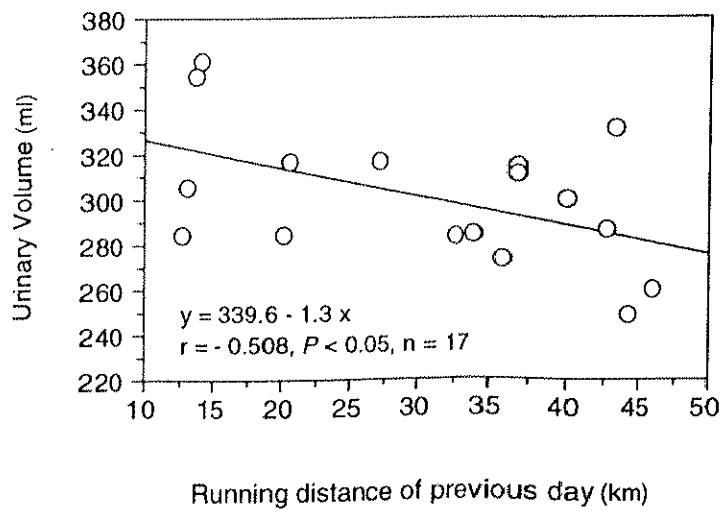


Fig. 7-10 Relationships between the running distance of previous day and the morning body mass (A) or the urinary volume (B).

**Table 7-3.** Changes in score of profile of mood states (POMS).

	PRE	1st day	6th day	12th day	18th day
Tension	43.6 ± 5.8	56.3 ± 7.5 **	56.3 ± 7.6 **	43.7 ± 5.8 ##\$	42.7 ± 6.4 ##\$
Depression	44.3 ± 4.8	55.2 ± 7.6 **	55.0 ± 8.3 **	43.5 ± 6.8 ##\$	43.3 ± 5.7 ##\$
Anger	46.7 ± 7.0	53.2 ± 11.5 *	54.3 ± 11.5 **	46.3 ± 5.4 #s	44.7 ± 4.4 ##s
Vigor	51.4 ± 7.8	48.7 ± 10.9	50.8 ± 10.7	52.9 ± 10.9	51.2 ± 11.6
Fatigue	50.4 ± 8.0	52.3 ± 9.3	55.3 ± 11.1	50.4 ± 7.6	52.2 ± 7.6
Confusion	47.7 ± 5.9	53.8 ± 5.4 *	52.7 ± 6.5 *	44.5 ± 5.9 ##\$	44.5 ± 7.5 ##\$

Mean ± SD. \*: P < 0.05, \*\*: P < 0.01 vs. PRE. #: P < 0.05, ##: P < 0.01 vs. 1st day. \$: P < 0.05, \$\$: P < 0.01 vs. 6th day.

時定数 ( $T_{30}$ ) と比較したところ、 $T_{30}$  及び  $\% \Delta HR_{30}$  は、VT 以下 (40% 及び 80% VT) の強度の運動負荷では、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られた。さらに、 $T_{30}$  及び  $\% \Delta HR_{30}$  は  $\dot{V}O_2\max$  と有意に相関した。すなわち、 $\% \Delta HR_{30}$  は心臓副交感神経系活動回復応答の指標である  $T_{30}$  に代わり得る指標であることが確かめられ、また、持久性体力水準 ( $\dot{V}O_2\max$ ) 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ため、多少の誤差はあるにしても、運動負荷強度を厳密に設定しなくても、簡単なフィールドテストによって心臓副交感神経系活動回復応答を評価できることが示唆された。次いで、大学陸上中長距離走選手の夏期強化合宿において、毎朝のトレーニング開始前に約 800 m の VT 水準以下におけるランニングによるフィールドテストを行い、 $\% \Delta HR_{30}$  を測定したところ、 $\% \Delta HR_{30}$  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、 $\% \Delta HR_{30}$  は前日走行距離と有意に相関した。これより、心臓副交感神経系活動回復応答が前日のトレーニング量と連動して変動する可能性が示された。また、併せて  $\% \Delta HR_{30}$  が起床時心拍数や運動時心拍数よりもより強く前日走行距離と相関し、また、気温及び湿度には影響されないため、フィールドで用いる簡便な体調の評価法として有用であることも示唆された。

$T_{30}$  は運動負荷強度が VT 以下であれば負荷強度の影響を受けないが、最大運動後には VT 強度の運動後に比べてわずかではあるが有意に延長することが報告されている (Imai et al. 1994)。本研究でも、40% VT 強度と 80% VT 強度における  $T_{30}$  の値には有意差が認められなかったが、120% VT 強度の運動後には有意に高値を示した。しかし、いずれにせよ、VT 以下の強度の運動負荷では運動負荷強度を厳密に設定しなくても、心臓副交感神経系活動回復応答をある程度評価できる可能性が示唆された。

ただし、フィールドにおいて心拍数の減少過程を一次指数曲線に当てはめて  $T_{30}$  を求めることは実際には困難である。本課題の検討を円滑に進めるためにも、また、将来的に心臓副交感神経系活動回復応答をコンディショニングのための指標に応用するためにも、 $T_{30}$  に代わり得る簡便な指標が必要であると考えられた。そこで、運動終了後 30 秒間の心拍数減少過程を直線で近似して  $\% \Delta HR_{30}$  を求め、 $T_{30}$  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 ら (Imai et al. 1994) 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もので、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。検討の結果、 $\% \Delta HR_{30}$  も VT 以下の強度の運動負荷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、 $\% \Delta HR_{30}$  は心臓副交感神経系活動回復応答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、比較的簡便に求めることができるので、頻回な測定が必要な場合には  $T_{30}$  よりも有用であろうと思われる。

実験 3-2 でのフィールドテストによる観察の結果、早朝における  $\% \Delta HR_{30}$  は前日の走行距離に連動して変動することが示された。すなわち、前日の走行距離が少ない日に比べて、走行距離が多くより疲労していると推測される状況では  $\% \Delta HR_{30}$  が遅延した。実験 3-1 で  $\Delta HR_{30}$  が  $\dot{V}O_2\max$  と有意に相関することが示唆されたが、アスリートの持久性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と思われるので、 $\% \Delta HR_{30}$  の変動はトレーニング内容に伴う疲労、あるいはその回復などの生体反応を反映している可能性が大きいと思われる。ただし、疲労している場合には、心臓交感神経系活動の過剰な亢進も運動終了後の心拍数回復を遅延させる可能性はあるが、本研究では VT 以下の強度の運動負荷を加えて心臓副交感神経系活動の影響のみを特異的に評価しているため、心臓交感神経系活動の関与の程度について明らかにすることはできない。

Israel (Israel 1976) は、オーバートレーニング症候群を症状から交感神経型と副交感神経型の 2 型に分類し、交感神経型オーバートレーニング症候群では安静時心拍数の増大や負荷後の心拍数回復の遅延などがみられ、副交感神経型オーバートレーニング症候群では安静時心拍数の低下や負荷後の心拍数回復の促進などがみられるとしている。このように相反する症状がみられる理由としては、交感神経型オーバートレーニング症候群の症状が神経内分泌系機能が疲憊する前のストレス反応を反映しているのに対し、副交感神経型オーバートレーニング症候群の症状がストレスが進行して神経内分泌系機能が疲憊した状態を反映していることによると推察されている (Kuipers and Keizer 1988)。交感神経型オーバートレーニング症候群では交感神経系活動の亢進と副交感神経系活動の低下が、副交感神経型オーバ

ートレーニング症候群では交感神経系活動の低下と副交感神経系活動の亢進が同時に生じている可能性も考えられるが、それぞれの型において実際に交感神経系と副交感神経系の活動を分離して定量的に評価した報告はないので、交感神経系及び副交感神経系活動がそれぞれの程度関与しているかは明らかにされていない。合宿中、トレーニング量が多い日の翌朝に遅延した $\% \Delta HR_{30}$ がトレーニング量を減らした翌朝には短縮した。この短縮はストレス疲労期における副交感神経系活動の亢進というよりは、休養による回復と考えるべき変化であろう。しかし、さらに疲労が進行した場合に心臓副交感神経系活動回復応答にどのような変化が生じるのかは非常に興味深いので、今後の検討が必要である。

Dressendorfer ら (Dressendorfer et al. 1985) は、20 日間に渡って行われた 500 km ロードレース参加者において、毎朝起床後に安静時心拍数を測定したところ、安静時心拍数がレース開始後 1 週間において若干低下したものの、レース後半には 10 bpm 程度増大したことを認めた。他に、血圧、口腔温、体重、血中グルコース濃度、血中乳酸濃度、血中インスリン濃度、及び血中コルチゾル濃度が測定されたが、安静時心拍数を上昇させる可能性がある低血圧、高体温、脱水、低血糖の症状やインスリン及びコルチゾル分泌の変化は認められなかった。自律神経系活動水準は測定されていないが、Dressendorfer ら (Dressendorfer et al. 1985) は、起床時心拍数増大の機序として、心臓、血管、肺、腎臓などにおける圧受容体及び化学受容体の感受性の変化、視床下部及び大脳皮質からの求心性刺激を介した脳幹心血管系中枢の抑制及び緊張性放電の変化、心臓洞結節への交感神経系と副交感神経系の求心性刺激バランスの変化、カテコラミン受容体感受性の変化、血中カテコラミン濃度の変化などが関与している可能性がある」と推察している (Dressendorfer et al. 1985)。いずれにせよ、走行距離を通常のトレーニングよりも急に長くすると起床時心拍数が上昇したことから、起床時心拍数の観察がオーバートレーニング徴候の早期発見と予防に有効であるとしている (Dressendorfer et al. 1985)。本研究においても、起床時心拍数は $\% \Delta HR_{30}$ と同様に前日走行距離との間に有意な正相関があった。しかし、前日走行距離との相関係数は $\% \Delta HR_{30}$ の方が有意に大きく、 $\% \Delta HR_{30}$ の方が生体の疲労や回復の程度をより鋭敏に反映していた可能性が示唆される。一方、 $\% \Delta HR_{30}$ と起床時心拍数の間には有意な相関関係が認められなかった。これは、運動終了後 30 秒間の心拍数回復過程を定量化した  $T_{30}$  及び $\% \Delta HR_{30}$ が心臓副交感神経系活動回復応答を特異的に反映しているのに対し、起床時心拍数は心臓副交感神

経系のみならず、心臓交感神経系や内分泌系などの活動を反映することによるのかもしれない。トレーニングなどによる疲労は心臓交感神経系機能にも影響を及ぼすと思われるので、 $\% \Delta HR_{30}$  と起床時心拍数の両者を組み合わせることで、より有用で適切なオーバートレーニングの評価が可能になるとと思われる。

最大下における同一強度の運動負荷に対する心拍数応答は、慢性疲労時に増大することから、オーバートレーニングの効果的な尺度になる可能性があると考えられている (Costill 1986)。しかし、一定強度の運動負荷を精度よくフィールドにおいて繰り返し行うことは容易ではないので、運動負荷指標としての有用性に欠ける。本研究で行ったフィールドテストでは、4 分間で約 800 m のペースのジョギングを負荷したが、このジョギングペースは各被験者が自覚的に VT 以下での一定ペースになるように調節した。被験者の走行ペースの調節能力が優れていたとしても、走行ペースには多少の日差変動があったと思われるが、実験 3-1 では $\% \Delta HR_{30}$  の値は運動負荷強度が VT 以下であれば各個人内でほぼ同一の値を示すことが示され、実験 3-2 では $\% \Delta HR_{30}$  と運動時心拍数との間の相関関係は非常に弱いことが示されたので、たとえ毎日の走行ペースに変動があっても、 $\% \Delta HR_{30}$  が運動負荷強度にほとんど影響を受けないことを示すものと考えられる。また、 $\% \Delta HR_{30}$  と気温及び湿度との相関関係も非常に弱かったので、 $\% \Delta HR_{30}$  は、フィールドテストを行う際の環境にも左右されにくい指標である可能性も明らかとなった。

本研究では、気分の状態を調べる心理検査 (POMS) (MacNair et al. 1992) を用いて心理的疲労の評価も行った。POMS は体調の変動がアスリートの心理状態、特に気分反映することから、コンディショニングのための指標として推奨されている。過剰なトレーニングや競技に伴う心身のストレスは体調を崩す要因となり、オーバートレーニングの影響がパフォーマンスに現れる前に POMS の変化として現れる場合があることも示唆されている (河野ら 1992)。本研究における被験者全体の平均値をみると、緊張、抑鬱、怒り、及び情緒混乱の因子が合宿前半 2 回の測定で有意に高値を示した。おそらく、生活環境の変化や合宿に対する不安感を反映したものと思われる。一方、活動性と疲労の因子には、合宿前及び合宿前半と後半で有意な差はみられなかった。 $\% \Delta HR_{30}$  も前日の走行距離に連動して変化したが、合宿前半と後半で比較すると有意差は認められなかった。 $\% \Delta HR_{30}$  と POMS のいずれが疲労を鋭敏に反映するのかについては、本研究では POMS の測定を毎日行っていない

ので不明であるが、測定の簡便さを考慮すれば $\% \Delta HR_{30}$ の方がはるかに実用性が大きいと思われる。いずれにせよ、この合宿では、被験者の体調に毎日の走行距離に伴う変動はあっても、合宿の後半に持ち越すような疲労の蓄積はなかったと考えられる。合宿期間中のトレーニング量は普段のトレーニング量よりも多かったものの、2~3日に1日の割合で積極的休養を主体とする日を設けたこと、及び前期と後期の間にはさらに多めの休養日を設けてあったことで、疲労の回復が行われ、疲労の蓄積による極端な体調の悪化が生じなかったことを示していると思われる。ただし、合宿の前半と後半で $\% \Delta HR_{30}$ に有意差が認められなかったことは、持久性体力水準に改善が生じなかったと解釈することも可能なので、もし夏期合宿の目的が走り込みにより持久性体力水準の向上を図ることにあったのであれば、トレーニング計画が適切であったか否かは議論の分かれるところであろう。

起床時体重及び夜間尿量と前日の走行距離の間には有意な相関関係が認められた。ただし、 $\% \Delta HR_{30}$ と前日走行距離の方が夜間尿量に比べて有意に強く前日走行距離と相関し、また、起床時体重に比べても有意ではないが強く相関した。短期間における起床時体重と夜間尿量の変動は、生体内の水分量、すなわちの脱水の程度を反映していると考えられる。実際に、本研究では起床時体重と夜間尿量の間には有意な正の相関関係が認められたが、起床時体重と体脂肪量の間には有意な関係が認められなかった。起床時体重及び夜間尿量と前日の走行距離の間には負の相関関係が認められたので、走行距離が多いほど体内水分量が減少していたと考えられる。走行距離が多いほど発汗量が多くなるのは当然であるが、夏期の合宿では飲水量の確保に留意はしていても、補給は不十分になりがちであることが示唆される結果であった。一方、起床時体重及び夜間尿量と $\% \Delta HR_{30}$ の間にも有意な相関関係が認められた。この相関関係は、体内水分量が運動終了後の心臓副交感神経系活動の回復応答に直接の影響を及ぼした結果であるのか、あるいは見かけ上の関連であるのか、すなわち前日の走行距離が体内水分量と心臓副交感神経系活動の各々に影響を及ぼした結果であるのかは不明である。このことを明らかにするためには、合宿中の飲水量を走行距離ないし発汗量に合わせて調節して $\% \Delta HR_{30}$ の変動を検討する必要がある。

本章では、運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答とトレーニング状況との関連を検討した。今後、疲労の蓄積が生じるような過酷な条件下で検討したり、あるいは両者の関連を個人毎にトレーニング強度や量が異なる条件下で長期的に検討すれば、心臓自律神経系活



動に対するトレーニング状況，あるいはそれに伴う疲労の影響に関する有用な知見が得られるものと思われる。

## 7.5 要約

まず，運動終了後 30 秒間の心拍数減少率 ( $\% \Delta HR_{30}$ ) が運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答として  $T_{30}$  に代わり得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 (実験 3-1)。 $\% \Delta HR_{30}$  は  $T_{30}$  と極めて強く相関し，さらに 40% VT 強度と 80% VT 強度の運動負荷で比較すると， $\% \Delta HR_{30}$  は各被験者毎でほぼ同じ値を示した。これらの成績から， $\% \Delta HR_{30}$  は心臓副交感神経系活動回復応答を反映する指標として妥当であり，運動負荷が VT 以下であれば厳密な強度の設定が不要であることが示された。次いで，大学陸上部中長距離走選手の夏期強化合宿において，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 (実験 3-2)。 $\% \Delta HR_{30}$  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。これより，心臓副交感神経系活動回復応答はトレーニング状況によって変動し，生体に疲労が生じている場合には遅延し，疲労が回復されている場合には促進するという可能性が示唆された。また， $\% \Delta HR_{30}$  と前日のトレーニング量との間の相関関係は，起床時心拍数や運動時心拍数と前日のトレーニング量との間の相関関係よりも有意に大きく，また，気温及び湿度には影響されないため，フィールドで用いる簡便な体調の評価法として有用であることも示唆された。