

## 第8章 総合討論

### 8.1 本研究の目的

本研究では、スポーツ活動におけるコンディショニングを念頭において、心臓自律神経系活動と持久性トレーニング及び持久性体力水準、生体リズム、及びトレーニング状況との関連を横断的及び縦断的に検討すること、及びフィールドでの頻回な測定が可能な運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答の簡便で有用な指標の開発を目的にした。

### 8.2 本研究で得られた成果と意義、及び今後の課題

#### 8.2.1 課題1：心臓自律神経系活動と持久性トレーニング及び持久性体力水準との関連

本課題で設定した仮説、及び行った実験は以下の通りである。

仮説 1-1：持久性トレーニングを継続すると安静時心臓副交感神経系活動水準が増大し、安静時心臓交感神経系活動水準は低下する。脱トレーニングによりトレーニングで得られた安静時心臓自律神経系活動水準への効果は消失する。

仮説 1-2：運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答は持久性体力水準と関連し、持久性トレーニングを継続すると心臓副交感神経系活動回復応答が促進する。脱トレーニングによりトレーニングで得られた心臓副交感神経系活動回復応答への効果は消失する。

仮説 1-3：中高齢者では若齢者に比べて運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答が遅延しているが、持久性トレーニングによって心臓副交感神経系活動回復応答を改善できる。

実験 1-1：フルマラソンへの参加を目的とした7ヶ月間の持久性トレーニングプログラムに参加した健常な若齢男性を対象に、トレーニングプログラム前後での安静時心臓副交感神経系及び交感神経系活動水準の変化を、心拍変動パワースペクトル解析を用いて縦断的に検討する。

実験 1-2：運動習慣を持たない健常な若齢男性を対象に、8週間の持久性トレーニング及びその後の4週間の脱トレーニングが安静時心臓自律神経系活動水準に及ぼす影響を検討する。

実験 1-3：持久性体力水準の異なる健常な若齢男性を対象に、運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答と最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2\text{max}$ ) との関連性を横断的に検討する。

実験 1-4：運動習慣を持たない健常な若齢男性を対象に、8週間の持久性トレーニングが

運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答に及ぼす影響を、 $\dot{V}O_2\text{max}$  の変化と関連させながら検討する。さらに、トレーニング後の 4 週間の脱トレーニングが及ぼす影響についても検討する。

実験 1-5：若齢及び中高齢女性を対象に、運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答に及ぼす加齢の影響を検討し、次に、健康づくり運動プログラムに参加した中高齢女性を対象に、比較的低強度の運動トレーニングが心臓副交感神経系活動回復応答に及ぼす影響を検討する。

心臓自律神経系活動と持久性トレーニング及び持久性体力水準の関連における検討では、安静時心臓副交感神経活動水準については仮説 1-1 の通り、持久性トレーニングにより亢進し、脱トレーニングにより比較的短期間で低下することが示唆された。低下の生じる時期は、 $\dot{V}O_2\text{max}$  の低下に先立っていた。一方、安静時心臓交感神経系活動水準には、仮説とは異なり、有意な変動が認められなかった。ただし、トレーニング開始前に心臓交感神経系活動水準が高い場合には顕著に低下する可能性が示唆された。運動終了時の心臓副交感神経系活動回復過程の特異的指標である  $T_{30}$  は、仮説 1-2 の通り、 $\dot{V}O_2\text{max}$  と有意に相関し、また、持久性トレーニングにより、 $\dot{V}O_2\text{max}$  の増大と相関した回復応答の促進が生じたが、脱トレーニングにより効果は消失した。また、仮説 1-3 の通り、中高齢者では若齢者に比べて運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答が遅延しているが、持久性トレーニングによって回復応答を改善できることが示唆された。ただし、中高齢者のうち比較的若い対象者では、効果が明確でなかった。

得られた成果のうち、安静時心臓副交感神経活動においては、脱トレーニングに関する成果、運動終了時の心臓副交感神経系活動回復過程においては、持久性体力水準との相関関係、加齢の影響、及び持久性トレーニング及び脱トレーニングに関する成果が新知見であり、とくに本研究では、高齢者において比較的軽度のトレーニングによっても効果を期待できることが明らかになった。安静時心臓交感神経系活動におけるトレーニング効果に関する成果は新知見とはいえないが、心臓副交感神経系活動と同時に縦断的検討を行った点に意義がある。すなわち、本研究により、心臓交感神経系活動に影響を及ぼすには、心臓副交感神経系活動に影響を及ぼすトレーニングより高度のトレーニングが必要なことが明確になった。

持久性トレーニングに伴う安静時心臓自律神経系活動水準及び運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答の変化量は、トレーニング前の水準に有意に相関することが示唆された。高齢者においても若齢者と同様のことが示唆される結果であった。持久性トレーニングが心臓自律神経系活動に及ぼす効果は、トレーニング前の水準により異なる、あるいは、一定の強度ないし量のトレーニングに応じた限度があるという可能性が考えられる。

心疾患などの有疾患者では心臓自律神経系活動に異常が認められること、あるいは心臓自律神経系活動の失調が患者の予後に関連していることが示されていて (Wheeler et al. 1973; Smith et al. 1989; Frishman et al. 1990; Guzzetti et al. 1991; Bigger et al. 1992; Imai et al. 1994)、持久性トレーニングにより、有疾患者における心臓自律神経系機能の改善を図る試みが比較的早期から行われている (Somers et al. 1991; Coats et al. 1992; Howorka et al. 1997)。このようなトレーニングは、心臓自律神経系活動を正常化し、疾患の予後を改善するための非薬物的治療法であるが、同時に有疾患者の持久性体力水準を高めて、自立度と生活の質 (quality of life: QOL) を向上させるための運動を用いたコンディショニングであると捉えることもできる。また、心臓自律神経系機能そのものが体調あるいは防衛体力を構成する一要素であり、有疾患者や高齢者などにおいて、心臓自律神経系活動を評価し、その改善を図ることは、コンディショニングにおける重要な課題であろう。本研究において得られた成果は、有疾患者や高齢者における運動を用いたコンディショニングにとって、有用な知見を提供するものであると考えられる。ただし、本研究で行った検討は、対象者にしても、また、持久性トレーニングの強度や量についても、限定されたものである。今後の課題として、心臓自律神経活動水準を適度に保つために必要なトレーニング強度やトレーニング量について具体化すること、あるいは脱トレーニングについての検討と関連して、トレーニングの頻度や休止の影響をさらに検討することが必要になるだろう。

運動終了後の心臓副交感神経系活動回復過程の指標である  $T_{30}$  は、 $\dot{V}O_2\text{max}$  と有意に相関し、しかも、持久性トレーニングに伴う両者の変化量の間にも有意な相関関係が認められた。一方、安静時副交感神経活動水準の指標である HF と  $\dot{V}O_2\text{max}$  との間には、先行研究 (Goldsmith et al. 1997) で示されたような有意な相関関係は認められなかった。おそらく、本研究では対象数が少なかったことに加え、5 分間という解析時間が短かったために、評価の誤差が大きくなったことによると思われる。ちなみに、持久性トレーニングの効果を評

価した実験 1-2 と実験 1-4 の対象者のうち、共通する対象者（10 名）において、トレーニング前後及び脱トレーニング期間の  $T_{30}$  と HF の値（ $n=40$ ）を一括して両者の関連を検討すると、Fig. 8-1 に見られるように、有意な相関関係（ $r=-0.463$ ,  $P < 0.01$ ）が認められる。おそらく、 $T_{30}$  のみならず、HF も解析時間を長くすれば、持久性体力水準の一指標になり得ると考えられる。しかし、トレーニングの現場において、長時間にわたって心拍を記録して解析することは現実的ではなく、しかも、本研究で示された成績は、短時間の解析で得られた HF に比べ、 $T_{30}$  の方がはるかに鋭敏に持久性体力水準を反映していることを示している。

$\dot{V}O_{2\max}$  と心臓副交感神経系活動の指標の間に認められた相関関係は、両者の間の直接の生理学的相互関連を示すものかもしれないが、同時に、持久性トレーニングがそれぞれに及ぼした効果の結果を示すものとも考えられる。例えば、持久性トレーニングがもたらす心臓の構造変化（心拡大）や機能変化（心収縮力増大）は、 $\dot{V}O_{2\max}$  を増大させる効果を持つと同時に、圧受容体反射などを通じて心臓自律神経系活動に影響を及ぼすはずである。しかし、生体に生じた変化により受ける影響の強さは、それぞれについて異なるかもしれない。本研究では、脱トレーニングの影響は、 $\dot{V}O_{2\max}$  に比べて心臓副交感神経活動において早期に消失することが示唆されたが、この差はトレーニング及び脱トレーニングにより生体に生じる変化から受ける影響の強さの差から説明できるかもしれない。しかし、これ以上に詳細な議論をすることは、本研究で行われた研究の範囲を越える。

いずれにせよ、本研究で得られた成果から、 $T_{30}$  は持久性トレーニングの効果及び持久性体力水準を鋭敏に反映する指標として、トレーニングの現場におけるアスリートのコンディショニングにも応用することができる有用な指標であると思われる。しかも、心臓自律神経系機能は、それ自体が防衛体力あるいは体調の構成要素であるとともに、体力や体調を構成する他の因子にも影響を与えて、スポーツ活動におけるパフォーマンスに影響を与える可能性もあり得ると思われる。したがって、心臓自律神経系活動水準に関連する指標は、アスリートのコンディショニングにおいて重要な役割を果たすことが期待できる。これらについての、詳細な検討は今後の重要な課題である。

### 8.2.2 課題 2：心臓自律神経系活動と生体リズムとの関連

本課題で設定した仮説、及び行った実験は以下の通りである。

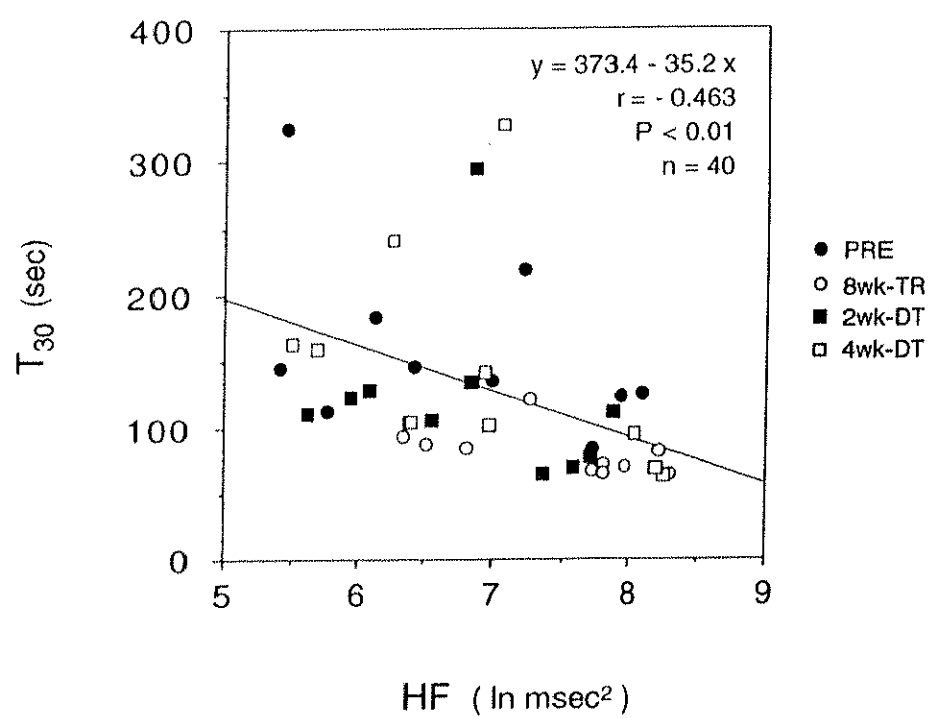


Fig. 8-1 The relationship between HF and T<sub>30</sub>.

仮説 2：クロノタイプにより，運動終了後における心臓副交感神経系活動回復応答の日内変動パターンが異なる。

実験 2：健常な若齢男性を質問紙によってクロノタイプ別に分類し，朝と夕方における運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答を比較検討する。

心臓自律神経系活動と生体リズムの関連における検討では，仮説 2 の通りクロノタイプによって運動終了後における心臓副交感神経系活動回復応答の日内変動パターンが異なることが示唆された。すなわち，夜型のクロノタイプの  $T_{30}$  は夕方に比べて朝で有意に遅延していた。一方，朝型及び中間型のクロノタイプでは朝と夕方の運動後の  $T_{30}$  に有意差は認められなかった。本課題で得られた成果は，新知見である。

近年，生体现象の周期性（生体リズム）を研究する時間生物学という学問領域が，医療現場やスポーツ現場などで広く注目されている。例えば，突然発症することの多い循環器疾患の発症は早朝から午前中の時間帯に多い（Muller et al. 1987）こと，早朝の運動は冠攣縮による心臓発作を起こしやすい（Yasue et al. 1979）こと，あるいは，早朝の急激な強い運動は夕方の運動よりも循環系のショックを起こし易い（Cabri et al. 1988）ことなどが報告されている。これらの背景には，起床や活動量の増大に伴う心臓交感神経系活動の急激な緊張と心臓副交感神経系活動の急激な低下により心筋虚血閾値が低下するなど，心臓自律神経系活動の関与が推察されている（大塚 1998）。本研究の結果で，夜型のクロノタイプにおいて，朝の運動に対する終了後の心臓副交感神経系活動回復応答に遅延が見られる可能性が示唆された。心臓副交感神経系活動回復応答の遅延は，心負荷を増し，不整脈の発生を促進するので，心事故の誘因になる可能性も否定はできない。健康維持・増進を目的として早朝に散歩やジョギングを行う光景がしばしばみられるが，心事故を回避し，安全にスポーツ活動を遂行するためにも，このような早朝あるいは午前中における心臓自律神経系活動の生体リズムを十分考慮する必要があるだろう。心臓副交感神経系活動回復応答を含めた心臓自律神経系活動の生体リズムの把握は，スポーツ活動時の安全確保のためのコンディショニングの上で重要な意義を持つはずである。ただし，本研究では若齢者のみを対象としたので，中高齢者を対象にした検討も行うことが今後の課題である。

アスリートでは，高度な持久性体力水準と競技水準が要求されるので，早朝トレーニング

など、時間帯を問わず、高強度のトレーニングが行われることが少なくない。本研究において、夜型のクロノタイプでは朝の運動に対する心臓副交感神経系活動回復応答が遅延している可能性が示唆されたが、夜型のクロノタイプの者が早朝に運動した際の安全性については、今後検討する必要があると思われる。

アスリートにおけるコンディショニングは、安全性に加えて、トレーナビリティやパフォーマンスという点からも考える必要がある。より大きなトレーニング効果を得るためにはより高強度のトレーニング負荷が必要である。トレーニングの時間帯による体調の変動を把握し、できるだけ体調がよいと思われる時間帯に高強度のトレーニングを負荷した方が、より高いトレーナビリティが得られかもしれない。また、試合でのパフォーマンスでは、試合の時間帯に合わせたコンディショニングが必要である。競技の国際化が進み、海外での試合も頻繁に行われるようになってきているので、海外遠征に伴うジェットラグ症候群（いわゆる時差ボケ）を対策とするコンディショニングも重要である。心臓自律神経活動水準の生体リズムとトレーナビリティやパフォーマンスの関連、あるいは、何らかの外的刺激による生体リズムの変更などを検討することは、今後、コンディショニングにおける時間生物学的研究において、重要な課題になると考えられる。

### 8.2.3 課題3：心臓自律神経系活動とトレーニング状況との関連

本課題で設定した仮説、及び行った実験は以下の通りである。

仮説 3：簡易指標として提案する運動終了後 30 秒間の心拍減少率を用いても、運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答の評価が可能である。また、フィールドで測定した簡易指標はトレーニング状況に伴う生体の疲労などを反映する。

実験 3-1： $T_{30}$  に代わる運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答の簡易評価の指標として、運動終了後 30 秒間の心拍減少率を提案し、健常な若齢男性を対象にして、 $T_{30}$  との関連、持久性体力水準との関連、及び運動強度依存性を検討する。

実験 3-2：大学男子陸上中長距離走選手を対象に、夏期強化合宿中におけるフィールドでのランニングテストによる運動終了後 30 秒間の心拍減少率の変動を観察し、トレーニング状況及びトレーニングに伴う生理学的及び心理学的指標の変動との関連を検討する。

心臓自律神経系活動とトレーニング状況の関連における検討では、仮説 3 の通り、フィールドテストによる簡便な指標でも運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答の評価が可能であること、及びその指標がトレーニング状況に伴う生体の疲労などを反映する可能性が示唆された。本課題で得られた成果は、新知見である。

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。急性過大負荷後、あるいはオーバートレーニング症候群のような慢性疲労の状態では、心臓自律神経系活動に変調がみられることから、これが生体の急性、あるいは慢性の疲労を反映し、体調のための指標として応用できる可能性が示唆される。

本課題において  $T_{30}$  の簡易指標となり得ることが示された  $\% \Delta HR_{30}$  は、 $\dot{V}O_{2max}$  と有意な相関関係にあることが示された。課題 1 では、 $T_{30}$  は  $\dot{V}O_{2max}$  と有意に相関し、しかも、持久性トレーニングに伴う両者の変化量の間にも有意な相関が認められた。一方、安静時副交感神経系活動水準の指標である HF は、 $\dot{V}O_{2max}$  との間に有意な相関関係を示さなかったが、トレーニング前後及び脱トレーニング期間における HF と  $T_{30}$  の値をそれぞれ一括すると、両者の間には有意な相関関係が認められた。したがって、 $T_{30}$  または HF で評価される心臓副交感神経系活動は、持久性体力水準を反映する指標になり得るものと考えられる。しかし、コンディショニングへの応用を考えると、トレーニングの現場などで、 $T_{30}$  や HF を解析することは容易ではない。本課題で提案した  $\% \Delta HR_{30}$  は、 $T_{30}$  以上に評価法が簡便であり、 $T_{30}$  及び  $\dot{V}O_{2max}$  と有意に相関するので、フィールドにおいて有用な指標であると考えられる。

$\% \Delta HR_{30}$  は前日の走行距離と連動して変動し、両者の間には有意な相関関係が認められた。持久性体力水準が毎日のトレーニング状況に応じて変動することは考えにくいので、 $\% \Delta HR_{30}$  は持久性体力水準のみならずトレーニング状況に伴う体調の変化、例えば、生体の疲労あるいはその回復などにも影響される指標であると考えられる。このことは、単純に  $\% \Delta HR_{30}$  あるいは  $T_{30}$  を持久性体力水準の指標として応用しようとする場合には、問題を生じることが、見方を変えて、例えば、他の方法によって評価した持久性体力水準の指標と組み合わせれば、体力や体調の多面的な評価が可能になると思われる。

$\% \Delta HR_{30}$  は、VT 以下であれば運動負荷強度の影響をほとんど受けないので厳密な運動負



荷強度の設定が不要であり、測定時の気温や湿度の影響も受けにくい。無線式心拍数記録器を使用すれば、比較的簡単なフィールドテストを行って簡便に測定できる。これらの特性を利用して、 $\% \Delta HR_{30}$  の変動をフィールドで長期的に観察すれば、オーバートレーニングを回避し、効果的なトレーニングを進めるための手掛かりが得られるかもしれない。今後、この指標の変動を、他の持久性体力水準や体調の指標と組み合わせて、個人毎に長期的に観察すれば、コンディショニングにおける有用な情報が得られる可能性がある。