

第 5 章 運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答と持久性トレーニング及び持久性体力水準との関連 (課題 1: 実験 1-3, 4, 5)

5.1 若齢者での検討

5.1.1 緒言

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持久性体力水準や持久性トレーニングとの関連を横断的、縦断的に検討することを課題とした。本節においては、まず、持久性体力水準の異なる健常若齢男性を対象に、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) と T_{30} について相関分析を行い、心臓副交感神経系活動回復応答と持久性体力水準との関連性を検討した (実験 1-3)。次いで、持久性トレーニング及び脱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明らかにするために、運動習慣のない健常若齢男性を対象に 8 週間の持久性トレーニングとそれに続く 4 週間の脱トレーニングを行い、心臓副交感神経系活動回復応答の変化を検討した (実験 1-4)。

5.1.2 方法

実験 1-3

A. 対象

健常な男子大学生及び大学院生 18 名 (年齢: 24.2 ± 2.2 歳; 身長: 173.0 ± 6.2 cm; 体重: 69.3 ± 9.7 kg; 平均値 \pm 標準偏差) 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。喫煙者、及び常用薬の使用者はいなかった。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. 実験方法

$\dot{V}O_{2max}$ 及び換気性閾値 (ventilatory threshold: VT) の測定を目的とした漸増負荷運動テストと、運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答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。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。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して決定した。運動中の換気動態を呼気ガス分析器（ミナト医科学；AE-280）を用い breath-by-breath で連続測定し、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、二酸化炭素排出量 ($\dot{V}CO_2$)、換気量 ($\dot{V}E$) の 30 秒間毎の平均値を算出した。 $\dot{V}O_{2max}$ は疲労困憊で運動継続が不可能となった時点の $\dot{V}O_2$ とした。VT は $\dot{V}O_2$ の直線的増加に対し $\dot{V}CO_2$ が非直線的に増加を開始する点から VT を推定する V-Slope 法 (Beaver et al. 1986) を用いて算出した。

定量負荷運動テストは漸増負荷運動テスト施行後 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、VT の 40% に相当する負荷強度 (40% VT 強度) で 1 分間の予備運動と 80% VT 強度で 3 分間の主運動を組み合わせた計 4 分間の運動を行った。運動終了後は自転車エルゴメーター上で静かに回復を図った。運動開始 2 分前から運動終了 5 分後までの心電図 R-R 間隔時系列データを瞬時心拍数計 (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。T₃₀ 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 T₃₀ とした (第 3 章 3.3.2 参照)。

C. 統計処理

各データは平均値±標準偏差で示した。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 1-4

A. 対象

運動習慣を持たない男子大学生 10 名 (年齢：20.1±1.9 歳；身長：176.2 ±4.8 cm；体重：65.0±7.3 kg；平均値±標準偏差) を対象とした。被験者はいずれも健常者であり、常用薬の服用及び喫煙習慣はなかった。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. トレーニング及び脱トレーニング

全ての被験者は 8 週間の持久性トレーニングとそれに続く 4 週間の脱トレーニングを行った。トレーニング及び脱トレーニングの内容は実験 1-2 の方法に示したものと同一であった。

C. 最大酸素摂取量及び換気性閾値の測定

トレーニング開始前 1 週間以内とトレーニング終了後 1 週間以内に自転車エルゴメーターを使用した漸増負荷運動テストを施行し、被験者の $\dot{V}O_{2max}$ と VT を測定した。測定方法は実験 1-2 に示したものと同一とした。VT は V-Slope 法 (Beaver et al. 1986) を用いて算出した。

D. 運動終了後における心臓副交感神経系活動回復応答の測定

トレーニング開始前、開始 4 週間後、トレーニング終了時、トレーニング終了 2 週間後、及び 4 週間後において、自転車エルゴメーターによる定量運動負荷テストを行った。仰臥位で 15 分間安静をとった後、自転車エルゴメーターに移動し、さらに 2 分間安静をとった。その後 80% VT 強度で 4 分間の定量運動負荷テストを行い、終了後は自転車エルゴメーター上で静かに回復を図った。メモリー心拍計 (GMS ; LRR-03) を用い、胸部誘導法にて仰臥位安静時から運動終了 3 分後までの心電図 R-R 間隔時系列データを記録した。T₃₀ の算出は Imai ら (Imai et al. 1994) の方法に従った。運動終了後 30 秒間の心電図 R-R 間隔データを瞬時心拍数データに換算した後に、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 T₃₀ とした (第 3 章 3.3.2 参照)。仰臥位安静時の最後の 5 分間と運動終了直前 1 分間の平均心拍数を求め、それぞれ安静時心拍数、運動時心拍数とした。運動中の換気動態を呼気ガス分析器 (ミナト医科学 ; AE-280) を使用し breath-by-breath にて測定し、運動終了直前 1 分間の酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) を求めた。定量運動負荷テストは、全てトレーニング前の 80% VT 強度に統一して行った。心臓自律神経系活動に影響を及ぼすと思われる因子を取り除くため、測定前日から運動及びアルコール摂取を禁じ、測定当日は運動、薬剤の服用及びカフェインの摂取と、測定前 3 時間以内の睡眠及び飲食を禁止した。

E. 統計処理

各データは平均値 ± 標準偏差で示した。反復測定による分散分析を行い、有意差が認められた場合に対比による分析を行った。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。

5.1.3 結果

実験 1-3

被験者の $\dot{V}O_2\text{max}$ は 33.9~68.3 ml/kg/min (平均 46.9 ± 9.6 ml/kg/min) であり, T_{30} は 45.3~175.4 sec (平均 106.6 ± 40.1 sec) であった. $\dot{V}O_2\text{max}$ と T_{30} との間には有意な相関関係が認められた ($r = -0.505$, $P < 0.05$; Fig. 5-1).

実験 1-4

トレーニング及び脱トレーニング中の各指標の変化を Table 5-1 に示す. トレーニング及び脱トレーニング中において体重に有意な変化は認められなかった. $\dot{V}O_2\text{max}$ と VT 時の $\dot{V}O_2$ は 8 週間のトレーニング後に有意に増大した (それぞれ $P < 0.0001$, $P < 0.001$). 安静時心拍数はトレーニングに伴い減少し, 脱トレーニングに伴い増大した. トレーニング 4 週後, トレーニング終了時, 及び終了 2 週後の安静時心拍数はトレーニング開始前よりも有意に低値であった (それぞれ $P < 0.01$, $P < 0.01$, $P < 0.05$). 脱トレーニング 2 週後及び 4 週後の安静時心拍数はトレーニング終了時よりも有意に高値であった (それぞれ $P < 0.05$, $P < 0.01$). 運動時心拍数はトレーニングに伴い有意に減少し, 脱トレーニング期間もトレーニング開始前の値よりも有意に低値であった (それぞれ $P < 0.01$, $P < 0.01$, $P < 0.01$, $P < 0.05$). 脱トレーニング 4 週後の運動時心拍数はトレーニング終了時よりも有意に高値であった ($P < 0.01$). トレーニング及び脱トレーニング期間において運動時の $\dot{V}O_2$ に有意な変化は認められなかった.

T_{30} はトレーニングに伴い短縮し, 脱トレーニングに伴い延長した (PRE: 159.6 ± 69.4 sec; 4wk-TR: 90.2 ± 23.8 ; 8wk-TR: 81.2 ± 18.1 ; 2wk-DT: 122.3 ± 65.4 ; 4wk-DT: 146.8 ± 82.6 ; Fig. 5-2). トレーニング 4 週後及びトレーニング終了時の T_{30} はトレーニング開始前よりも有意に短縮していた ($P < 0.05$, $P < 0.01$). 脱トレーニング期間における T_{30} とトレーニング開始前の値の間に有意差は認められなかった. 脱トレーニング 4 週後の T_{30} はトレーニング終了時よりも有意に遅延していた ($P < 0.05$).

T_{30} の初期値と 8 週間のトレーニング後の T_{30} の変化量との間には極めて強い有意な相関関係が認められた ($r = -0.965$, $P < 0.0001$; Fig. 5-3). また, 8 週間のトレーニング後の T_{30} 及び $\dot{V}O_2\text{max}$ の変化量の間にも有意な相関が認められた ($r = -0.725$, $P < 0.05$; Fig. 5-4).

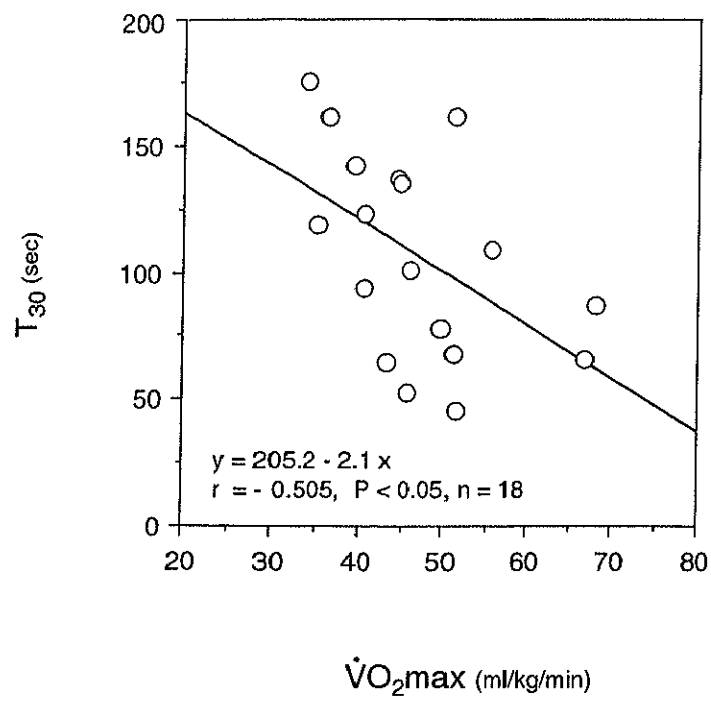


Fig. 5-1 The relationship between $\dot{V}O_2\text{max}$ and T_{30} at 80%VT.

Table 5-1. Changes in physiological parameters with exercise training and detraining.

	PRE	4wk-TR	8wk-TR	2wk-DT	4wk-DT
$\dot{V}O_2$ max (ml/kg/min)	44.5 ± 5.8		50.1 ± 6.7 ***		
$\dot{V}O_2$ VT (ml/kg/min)	26.8 ± 4.7		32.2 ± 4.1 ***		
Body mass (kg)	65.0 ± 7.3	64.8 ± 6.5	64.1 ± 6.7	63.7 ± 6.4	63.9 ± 6.5
Resting HR (bpm)	62.5 ± 6.4	54.1 ± 5.6 **	52.4 ± 6.5 **	57.0 ± 6.5 * #	60.1 ± 6.2 ##
Exercise HR (bpm)	135.6 ± 8.3	124.4 ± 9.7 **	119.5 ± 12.1 **	121.5 ± 11.9 **	129.0 ± 11.4 * ##
Exercise $\dot{V}O_2$ (ml/min)	1.63 ± 0.61	1.53 ± 0.21	1.50 ± 0.19	1.50 ± 0.22	1.64 ± 0.27

Mean ± SD. *: P < 0.05, **: P < 0.01, ***: P < 0.0001 vs. PRE. #. P < 0.05, ##: P < 0.01 vs. 8wk-TR. $\dot{V}O_{2max}$, maximal oxygen uptake; $\dot{V}O_2VT$, oxygen up take at ventilatory threshold; resting HR, resting heart rate; exercise HR, heart rate during exercise test; exercise $\dot{V}O_2$, oxygen uptake during exercise test.

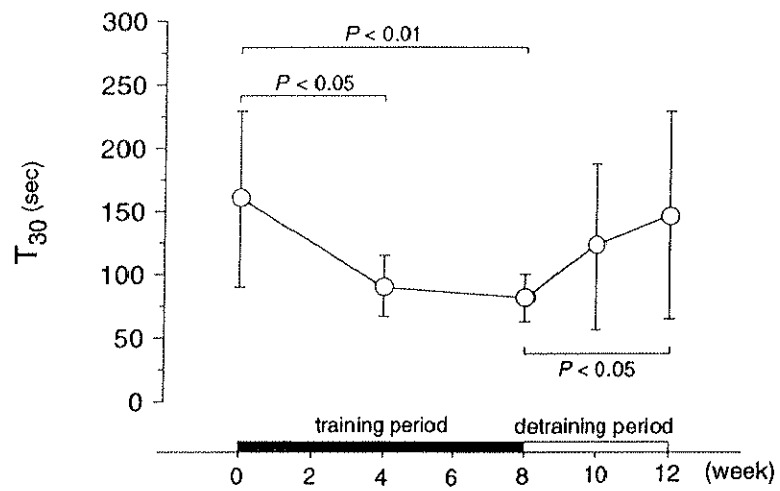


Fig. 5-2 The change in the T₃₀ with exercise training and detraining. Data are expressed as mean ± SD.

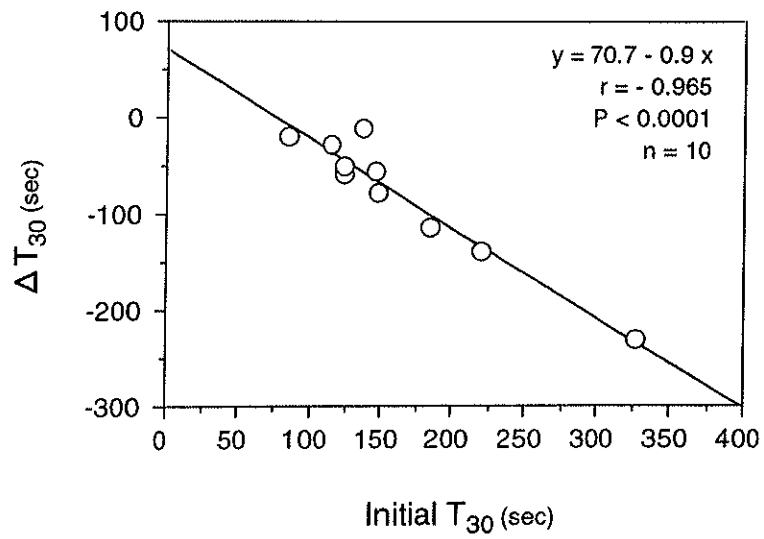


Fig. 5-3 The relationship between the initial T₃₀ and the change in the T₃₀ after the 8-week training.

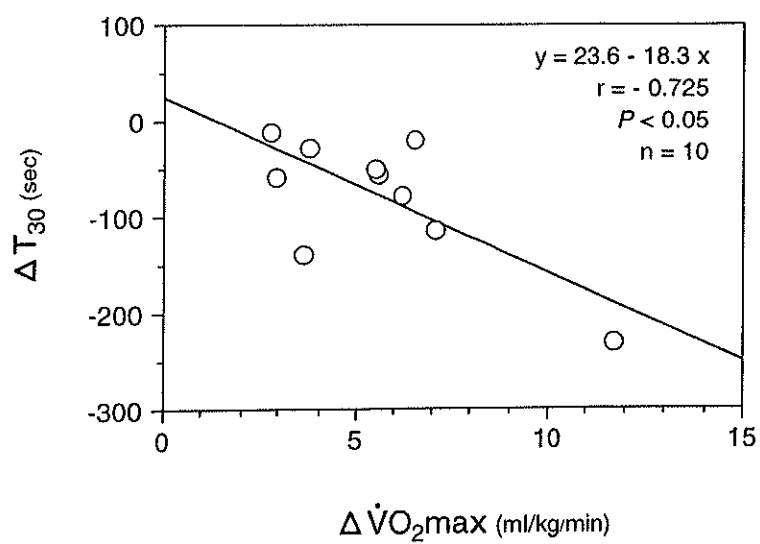


Fig. 5-4 The relationship between the changes in $\dot{V}O_2\text{max}$ and the T_{30} after the 8-week training.

5.1.4 考察

持久性体力水準の異なる若齢健常者を対象に、 $\dot{V}O_2\max$ と T_{30} との関連を横断的に検討したところ、両指標間に有意な負の相関関係が認められた。運動習慣のない若齢健常者に対し 8 週間の持久性トレーニングとそれに続く 4 週間の脱トレーニングを施行すると、 T_{30} はトレーニングにより有意に短縮し、8 週間のトレーニング後の T_{30} の変化量は T_{30} の初期値及び $\dot{V}O_2\max$ の変化量と有意に相関した。しかし、 T_{30} は脱トレーニングにより延長し、脱トレーニング 2 週後とトレーニング前の T_{30} に有意差はなくなり、さらに 2 週間の脱トレーニングを行うと、 T_{30} はほぼトレーニング前の水準に戻った。したがって、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密接に関連し、持久性トレーニングを継続すると回復応答は促進するが、その効果は比較的短期間の脱トレーニングによって消失する可能性が示唆された。

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おり、持久性トレーニングによる適応として運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答が促進した可能性が示唆されている (Imai et al. 1994)。本研究での、アスリートから運動習慣のない者まで、様々な持久性体力水準の者を対象に T_{30} と $\dot{V}O_2\max$ との関連を検討した横断的検討 (実験 1-3) により、両指標間に有意な負の相関関係が認められ、持久性体力水準が高いほど心臓副交感神経系回復応答が促進している可能性が示唆された。さらに、縦断的検討 (実験 1-4) により、持久的トレーニングが心臓副交感神経系回復応答を促進することが確かめられた。すなわち、 T_{30} は持久性トレーニングにより短縮し、その変化量は持久性トレーニングによる $\dot{V}O_2\max$ の変化量と有意に相関した。これより、心臓副交感神経系活動回復応答が持久性トレーニングにより促進し、その変化は持久性体力水準の改善と関連している可能性が本研究により初めて示唆された。

運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答の初期値とトレーニングによる変化量との間には有意な相関関係が認められた。このことは、トレーニング前の T_{30} が遅延しているとトレーニングによる改善の程度が大きいことを意味するが、逆に、トレーニング前の T_{30} が短いと変化の程度が小さいことをも意味している。持久性トレーニングが心臓副交感神経系活動回復過程に及ぼす効果には、トレーニング前の回復応答の水準によって、トレーニングの

強度あるいは量に応じた限度があるのかもしれない。

運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答に生じた持久性トレーニングの効果は、比較的短期間の脱トレーニングにより消失する可能性があることも今回初めて明らかとなった。 T_{30} は 8 週間の持久性トレーニングで短縮したが、その後の脱トレーニングで延長し、脱トレーニング 2 週後ではトレーニング前よりも短縮がみられるものの、両時期の値に有意差は認められなかった。脱トレーニング 4 週後の T_{30} はトレーニング終了後に比べて有意に延長し、ほぼトレーニング前の値まで戻っていた。すなわち、持久性トレーニングは心臓副交感神経系活動回復応答を改善させるが、トレーニングを継続しないと、その効果の持続性は期待できないと考えられる。

Imai ら (Imai et al. 1994) は、VT 強度と 50% VT 強度の運動後では T_{30} に有意な差は認められなかったが、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心臓副交感神経系活動の再興奮を抑制する可能性があるかと推測している。それゆえ、 T_{30} により心臓副交感神経系活動回復応答を評価するためには VT 以下の強度の運動を負荷する必要がある。実験 1-4 では、定量運動負荷テストの運動負荷強度を全測定を通じてトレーニング前の 80% VT 強度に統一し、 T_{30} を測定した。トレーニングに伴い VT が有意に増大し、運動時心拍数が減少したことから、各被験者における相対的運動負荷強度はトレーニングにより低下したと考えられる。しかし運動負荷強度が VT 以下であることにかわりはないので、このことが T_{30} に与える影響はほとんどなかったと思われる。

運動終了直後の心臓副交感神経系回復応答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器を介する反射よりも、運動野から心臓副交感神経系中枢への抑制指令などの中枢性機構が関与している可能性が大きいと考えられる (Imai et al. 1994)。持久性トレーニング及び脱トレーニングによって生じた心臓副交感神経系活動回復応答の適応も、心臓交感神経系や代謝系の影響よりも大脳皮質-心臓副交感神経系中枢の抑制性指令解放の変化が関わっている可能性が推察される。ただし、中枢指令の発現に変化が生じたのか、遠心性伝達経路に変化が生じたのかという生理学的機序を、 T_{30} から特定することはできない。

運動後における急速な心拍数の回復は運動後に心負荷を軽減させる重要な機構である。慢性心疾患を有する患者では心臓副交感神経系活動回復応答の遅延が観察される (Imai et al.

1994). 回復応答が鈍いと心拍数の回復が遅いため心筋酸素需要の増大が長く続き、虚血性心疾患があれば虚血が持続する危険性が大きくなると思われる。また、運動に伴う不整脈の発生頻度は運動中よりも運動直後に高いことが知られている (Gooch and McConnell 1970) ので、心臓副交感神経系活動回復応答の遅延は不整脈の発生頻度をさらに増大させ、これに虚血が加われば、致死性の不整脈を誘発する危険性もあると思われる。本研究において、 T_{30} が遅延している者ほどトレーニングによる機能改善の程度が大きいという可能性が示唆されたので、心臓副交感神経系活動回復応答が遅延している有病者における持続性トレーニングの有用性が期待できる。

5.1.5 要約

運動終了後 30 秒間の心拍数減衰過程の時定数 (T_{30}) を用いて、運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答を評価し、持続性体力水準との関連と持続性トレーニング及び脱トレーニングの影響を検討した。実験 1-3 では、健常男子大学生を対象に、4 分間の定量運動負荷テスト (80% VT 強度) により測定した T_{30} と $\dot{V}O_2\max$ について相関分析を行った。その結果、 T_{30} と $\dot{V}O_2\max$ との間に有意な負の相関関係が認められ、心臓副交感神経系活動回復応答が持続性体力水準と密接に関連している可能性が示唆された。実験 1-4 では、運動習慣を持たない健常男子大学生を対象に、8 週間の持続性トレーニング (70% $\dot{V}O_2\max$, 60 分, 3~4 回/週) 及びそれに続く 4 週間の脱トレーニングを実施し、 T_{30} の変化を検討した。その結果、 T_{30} はトレーニングにより有意に短縮し、8 週間のトレーニング後の T_{30} の変化量は T_{30} の初期値及び $\dot{V}O_2\max$ の変化量と有意に相関した。しかし、 T_{30} は脱トレーニングにより延長し、脱トレーニング 2 週後とトレーニング前の T_{30} に有意差はなくなり、さらに 2 週間の脱トレーニングを行うと、 T_{30} はほぼトレーニング前の水準に戻った。したがって、運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答は持続性体力水準と密接に関連し、持続性トレーニングを継続すると回復応答は促進するが、その効果は比較的短期間の脱トレーニングによって消失する可能性が示唆された。

5.2. 中高齢者での検討

5.2.1 緒言

本節では、運動終了後における心臓副交感神経系活動回復応答と持久性トレーニングとの関連を中高齢者を対象にして検討することを課題とした。中高齢女性の心臓副交感神経系活動回復応答を若齢女性と比較し、次いで、中高齢女性に比較的低強度の運動トレーニングを4ヶ月間実施した際の心臓副交感神経系活動回復応答の変化を検討した（実験 1-5）。

5.2.2 方法

A. 対象

茨城県大洋村で行われた健康づくり運動教室に参加した 50～81 歳（ 65.5 ± 8.1 歳；平均値 \pm 標準偏差）の中高齢女性 38 名を対象とし、65 歳未満及び 65 歳以上の 2 群に分類した（それぞれ、M 群：15 名、 57.3 ± 4.6 歳、E 群：23 名、 70.8 ± 4.8 歳）。中高齢者全員は事前に形態測定と循環器内科医師によるメディカルチェックを受け、運動負荷テスト及びトレーニングへの参加の安全を確認した。ただし、被験者のなかには動脈硬化危険因子（高血圧：8 例、高脂血症：10 例、軽症糖尿病：1 例、重複有り）を保有する者、あるいは過去に心室性不整脈（1 例）及び狭心症（2 例）と診断されていた者が M 群に 6 名及び E 群に 10 名いた。なお、運動教室には 5 名の男性が参加したが、少数であるため、本研究では女性のみ限定して検討を行った。被験者は自転車エルゴメーターによる定量運動負荷テストを行い、 T_{30} を測定した。その後、週 2 回の運動トレーニング教室に任意で参加してもらい、トレーニング開始から 4 ヶ月後に再度 T_{30} を測定した。トレーニング参加者は 21 名で、そのうち T_{30} をトレーニング教室前後で 2 回測定できた者は M 群が 8 名、E 群が 6 名であった。これらの者をそれぞれ M-T 群（ 56.8 ± 5.9 歳）、E-T 群（ 66.8 ± 1.6 歳）とし、M-T 群以外の M 群 7 名を M-U 群（ 58.0 ± 3.7 歳）、E-T 群以外の E 群 17 名を E-U 群（ 72.2 ± 4.5 歳）とした。有患者は、M-T 群が 4 名（高血圧 1 名、高脂血症 1 名、心室性不整脈+高血圧 1 名、狭心症+高脂血症 1 名）、E-T 群が 3 名（高血圧+高脂血症 2 名、狭心症 1 名）であった。また、中高齢者と比較するため、健常若齢女性 9 名（若齢者群、 24.2 ± 2.9 歳）を対象に T_{30} を測定した。

全ての被験者に対して、事前に測定やトレーニング内容について書面をもとに十分な説明

を行った上で、参加の同意を得た。

B. T_{30} の測定

運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答の評価には T_{30} を用いた。被験者は、自転車エルゴメーター (Combi) 上で 5 分間程度の安静を保った後、定量負荷運動を 4 分間行った。運動負荷強度は VT 以下の強度を目標とした。中高齢者では、心拍数が 90~100 bpm 程度に達する強度を目標にし、心拍数の応答を観察しながら、初期負荷量の 10 W から 30 秒毎に 5~10 W ずつ負荷量を漸増した。若齢者では、目標心拍数を 120~130 bpm とし、初期負荷量の 50 W から 30 秒毎に 10~15 W ずつ負荷を漸増した。全ての被験者において、運動開始後 2 分目までに目標心拍数に達した。目標心拍数に達した後は負荷量を固定し、合計 4 分間運動を行った。最終的な負荷量は、M 群が 32.0 ± 8.2 W、E 群が 26.7 ± 10.2 W、若齢者群が 82.2 ± 6.7 W であった。その際の自覚的運動強度 (ratings of perceived exertion: RPE) は 10 を越えなかった。トレーニングに参加した被験者では、運動負荷の漸増方法及びエルゴメーターの設定負荷強度を、各被験者毎にトレーニング前後で同一にした。運動終了後は自転車エルゴメーター上で 2 分間の安静を保った。メモリー心拍計 (GMS ; LRR-03) を用い、胸部誘導法にて運動開始 2 分前から運動終了 2 分後までの心電図 R-R 間隔時系列データを記録した。 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 秒間の心電図 R-R 間隔データを瞬時心拍数データに換算した後に、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)。

C. 運動トレーニング

運動トレーニングは健康運動指導士の指導と監視の下で行った。自転車エルゴメーターを使用した持久性トレーニングを 30 分間とウェイトトレーニング機器 (Universal) を使用したスクワット、チェストプレス、ローイングなどを含む 7 種類の抵抗性トレーニングを 30 分間行い、それを週 2 回、4 ヶ月間継続した。持久性トレーニングは年齢予測最高心拍数の 50% 程度の強度で、自転車エルゴメーター運動を 30 分間連続で行った。抵抗性トレーニングは各種目とも 10 回程度連続でできるような軽い負荷で、適宜休憩を交えながら行った。

D. 統計処理

結果は平均値 \pm 標準偏差で示した。2 群間の有意差検定には、対応のある t 検定もしくは対応のない t 検定を行った。多群間の有意差検定には一元配置分散分析を行い、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。統計学的有意水準は5%未満とした。

5.2.3 結果

中高齢者及び若齢者の身体特性の比較を Table 5-2 に示す。中高齢者群の身長は若齢者群よりも有意に低値であった ($P < 0.0001$)。M 群及び E 群の身長は若齢者群よりも有意に低値 (いずれも $P < 0.0001$) であり、E 群の身長は M 群よりも有意に低値であった ($P < 0.01$)。体重に各群間で有意差はみられなかった。中高齢者群の BMI (Body Mass Index) は若齢者よりも有意に高値であった ($P < 0.0001$)。M 群及び E 群の BMI は若齢者群よりも有意に低値であった (それぞれ $P < 0.01$, $P < 0.0001$)。

中高齢者と若齢者の運動時心拍数及び T_{30} の比較を Table 5-3 に示す。中高齢者群の運動時心拍数は若齢者群よりも有意に低値 ($P < 0.0001$) であり、 T_{30} は若齢者群よりも有意に遅延していた ($P < 0.05$)。M 群及び E 群の運動時心拍数は若齢者群よりも有意に低値 (いずれも $P < 0.0001$) であり、両群の T_{30} は若齢者群よりも有意に遅延していた (いずれも $P < 0.05$)。M 群と E 群の間において、運動時心拍数及び T_{30} に有意差はみられなかった。

M-T 群と M-U 群の間で比べると、トレーニング開始前の運動時心拍数及び T_{30} に有意差はみられなかった (Table 5-4)。これと同様に、E-T 群と E-U 群の間でも運動時心拍数及び T_{30} に有意差はみられなかった。ただし、E-T 群の T_{30} は E-U 群に比べて有意ではないが遅延している傾向にあった ($P < 0.10$)。トレーニング開始前において、M-T 群及び E-T 群の T_{30} は若齢者群に比して有意に遅延していた (いずれも $P < 0.05$)。運動時心拍数は若齢者群に比して有意に低値であった (いずれも $P < 0.0001$)。

4 ヶ月間におけるトレーニング出席率は M-T 群がおよそ 55%未満、E-T 群がおよそ 75%未満だった。E-T 群の T_{30} はトレーニング後に有意に短縮し (326.7 ± 113.5 sec vs. 223.9 ± 85.3 , $P < 0.05$; Fig. 5-5), 運動時心拍数に有意な変化は認められなかった (100.5 ± 9.6 bpm vs. 97.3 ± 6.4)。一方、M-T 群の T_{30} はトレーニング後に短縮した (289.0 ± 251.4 sec vs. 202.8 ± 52.0 ; Fig. 5-5) が、統計学的に有意な変化ではなかった。運動時心拍数にも有意な変化は認められなかった (100.7 ± 7.0 bpm vs. 97.6 ± 5.3)。ただし、M-T 群には T_{30} が極端に遅延している者が 2 名みられ、この両者の T_{30} はトレーニング後に大きく短縮した。

Table 5-2. Physiological characteristics of subjects.

	Old group	Middle-aged group	Elderly group	Young group
n	38	15	23	9
Height (cm)	148.3 ± 6.5 ***	144.9 ± 5.1 ***	153.8 ± 4.8 *** ##	162.6 ± 3.9
Body mass (kg)	55.0 ± 8.4	57.6 ± 9.1	53.3 ± 7.6	52.5 ± 5.8
Body mass index	25.1 ± 3.7 ***	24.5 ± 3.9 **	25.4 ± 3.5 ***	19.8 ± 1.5

Mean ± SD. **: P < 0.01, ***: P < 0.0001 vs. Young group. ##: P < 0.01 vs. Middle-aged group.

Table 5-3. Physiological responses to exercise of old and young people.

	Old group	Middle-aged group	Elderly group	Young group
n	38	15	23	9
Exercise HR (bpm)	98.3 ± 8.7 ***	98.8 ± 8.8 ***	98.0 ± 8.9 ***	124.8 ± 8.0
T ₃₀ (sec)	264.8 ± 146.6 *	279.6 ± 193.5 *	255.2 ± 109.8 *	138.7 ± 43.7

Mean ± SD. *: P < 0.05, ***: P < 0.0001 vs. Young group. Exercise HR, heart rate during exercise test; T₃₀, time constant of beat-by-beat heart rate decrease for 30 sec immediately after exercise.

Table 5-4. Physiological responses to exercise of trained and untrained old people.

	M-T group	M-U group	E-T group	E-U group
n	8	7	6	17
Exercise HR (bpm)	100.7 ± 7.0	96.6 ± 10.6	100.5 ± 9.6	97.1 ± 8.7
T ₃₀ (sec)	289.0 ± 251.4	268.9 ± 115.7	326.7 ± 113.5	229.9 ± 99.7

Mean ± SD. M-T group, middle-aged-trained group; M-U group, middle-aged-untrained group; E-T group, elderly-trained group; E-U group, elderly-untrained group. Exercise HR, heart rate during exercise test; T₃₀, time constant of beat-by-beat heart rate decrease for 30 sec immediately after exercise.

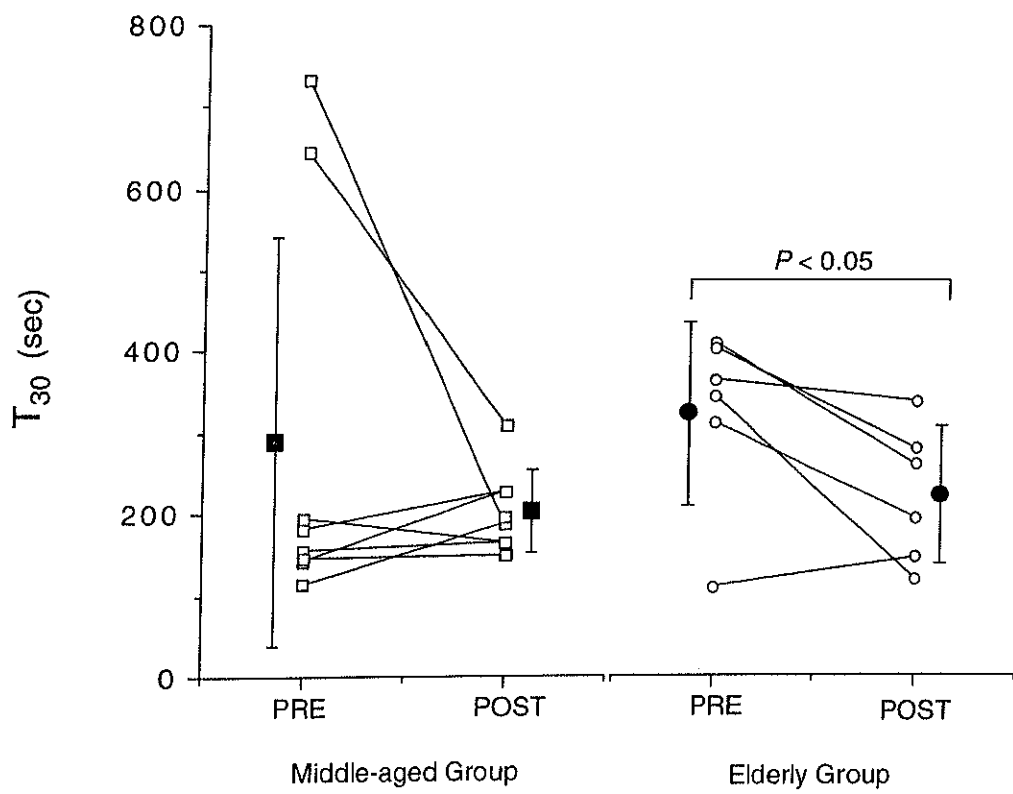


Fig. 5-5 Changes in the T₃₀ after 4-month exercise training in middle-aged (right side) and elderly (left side) females. Data are expressed as mean ± SD.

この2名にはそれぞれ心室性不整脈及び狭心症と診断された既往があった。

5.2.4 考察

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運動トレーニングの影響を検討した。中高齢者の T_{30} は若齢者と比較すると有意に遅延していたが、比較的低強度で短期間の運動トレーニングを行ったところ、65歳以上の群においてトレーニング後に T_{30} の有意な短縮が認められた。すなわち、高齢者においては、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、遅延していた心臓副交感神経系活動回復応答は運動トレーニングにより改善する可能性が示唆された。

T_{30} は運動が VT 以下の負荷強度であれば負荷強度の影響をほとんど受けないが、高強度の運動では、わずかではあるが有意に延長するので、末梢からの反射や増加した血中のカテコラミンが中枢指令に基づく副交感神経系の再興奮を抑制する可能性があるかと推測されている (Imai et al. 1994)。したがって、運動終了後における心臓副交感神経系活動回復応答の適切な評価には VT 以下の運動を負荷することが必要である。本実験では VT を測定していないが、若齢者及び中高齢者において、それぞれ VT 以下の負荷強度と思われる心拍数を目標に負荷強度の設定を行った。運動負荷中の心拍数から判断して、また、RPE は 10 を越えなかったため、運動は概ね目標とした VT 以下の負荷強度の範囲で行われたと考えられる。また、トレーニング前後の T_{30} の測定はエルゴメーターの設定負荷を同一にして行ったので、トレーニングによる持久性体力水準の増大を考慮すれば、必ずしも相対的な負荷強度は一定ではないが、運動中の心拍数に有意差は認められず、いずれも VT より低強度の運動であったと考えられる。

運動終了後における心臓副交感神経系活動回復応答は、持久性体力水準の高いアスリートで速いことが示唆されている (Imai et al. 1994)。本研究において、若齢者を対象に行った横断的検討 (実験 1-3) 及び縦断的検討 (実験 1-4) により、心臓副交感神経系活動回復応答が持久性体力水準と密接に関連し、持久性トレーニングを継続すると促進する可能性が示唆された。これらの結果から、持久性トレーニングに伴う適応現象として心臓副交感神経系活動回復応答の増強が生じる可能性が示唆される。本研究では、高齢者の T_{30} は若齢者よりも有意に遅延していた。中高齢者における T_{30} の遅延には加齢の影響が大きいであろうが、

加齢に伴う持久性体力水準あるいは身体活動量の低下の影響も加わっていることが推測される。E-T 群におけるトレーニング前の T_{30} は、他の高齢者 (E-U 群) よりも有意ではないが遅延している傾向にあったので、E-T 群の心臓副交感神経系活動回復応答は、もともと同年代の者のうちでも遅延が著しかった可能性がある。しかし、いずれにせよトレーニング後には T_{30} の有意な短縮が生じたので、高齢者において、心臓副交感神経系活動回復応答が顕著に遅延していても、持久性トレーニングにより改善が生じ得ることが、本研究により初めて示された。

一方、65 歳未満の M-T 群では、トレーニング前後で T_{30} に有意な変化がみられなかった。おそらく、E-T 群に比べれば若齢である M-T 群では、加齢による持久性体力水準の低下ないし身体活動量の低下は軽度であったと思われ、これに M-T 群におけるトレーニング出席率の低さ (55%) が相まって、トレーニングが T_{30} に十分な効果を与えるには至らなかった可能性が推測される。M-T 群でも、過去に不整脈あるいは狭心症と診断されていた 2 名のように、 T_{30} が顕著に遅延していた例では、トレーニング後に著明な改善が認められた。この 2 名では、おそらくトレーニング前の身体活動量が同年齢の人に比べ低下し、それに伴い持久性体力水準も低下していたのではないかと思われる。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過程に及ぼす効果には、トレーニング前の回復応答の水準によって、トレーニングの強度あるいは量に応じた限度があるのかもしれない。本研究では、持久性トレーニングを年齢予測最高心拍数の 50%強度で 30 分間、週 2 回行ったが、持久性体力水準あるいは身体活動水準に合わせて、トレーニング強度ないしトレーニング頻度を調節すれば、心臓副交感神経系活動回復応答の改善を図ることができるかもしれない。ただし、年齢に応じた回復応答の上限があって、ある水準に達していれば、それ以上の改善は期待できない可能性も否定はできない。これらについては、今後のさらなる検討が必要と思われる。

運動に関連した突然死の発生は、運動中よりも運動直後に多いことが報告されている (Sugishita et al. 1983)。この理由は必ずしも明らかではないが、運動直後における致死的不整脈の発生頻度の増大などが原因として推測されている (Gooch and McConnell 1970)。とくに、中高齢者における運動に関連した突然死の多くは虚血性心疾患に基づくとされている (徳留 1990) ので、虚血に伴う致死的不整脈の発生は重大な原因に成り得る。運動直後における心臓副交感神経系活動の再興奮 (回復応答) は致死的不整脈の発生を抑制する上で

重要な意義を持つと思われ、心臓副交感神経系活動回復応答を改善させることは、運動に伴う心事故の回避につながる可能性も考えられる。

本研究では、健康診断後にトレーニングを行った中高齢者を対象にして、心臓副交感神経系活動回復応答に対するトレーニングの影響を検討した。比較的強度で、しかも4ヶ月という短期間のトレーニングを行った結果、心拍数減少速度の遅延が顕著であった65歳以上の高齢者において、トレーニング後に心拍数減少速度の有意な促進が認められた。この結果は、高齢者において、運動終了後の心臓副交感神経系活動回復応答に遅延が生じていても、適切な運動強度や運動量でトレーニングを継続的に行えば、回復応答を改善できるという可能性を示唆している。なお、本実験では女性のみを対象にした検討となったが、今後は中高齢男性を対象にした検討も行う必要があるだろう。また、女性の安静時心臓自律神経系活動水準は性周期の影響を受ける可能性が示唆されている (Saeki et al. 1997) が、今回の検討では性周期の影響を考慮していない。この点は、今後の検討課題である。

5.2.5 要約

中高齢者の運動終了後における心臓副交感神経系活動回復応答に対するトレーニングの影響を検討することを目的とした (実験 1-5)。50~81歳の中高齢女性38名を65歳未満 (15名, 57.3 ± 4.6 歳) 及び65歳以上 (23名, 70.8 ± 4.8 歳) の2群に分け、運動習慣のない健常若齢女性9名 (24.2 ± 2.9 歳) を加えた3群で T_{30} を比較すると、中高齢者2群における T_{30} は若齢者よりも有意に遅延していた。中高齢者のうち65歳未満の8名と65歳以上の6名は、その後に行われた持久性トレーニングと抵抗性トレーニングからなる運動トレーニングに参加し、4ヶ月後に再度 T_{30} の測定を行った。65歳以上の群ではトレーニング後に T_{30} が有意に短縮したが、トレーニングへの参加率が低かった65歳未満の群では T_{30} に有意な変化は生じなかった。これらの結果より、中高齢者では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あること、また、心臓副交感神経系活動回復応答が遅延していても、適切な運動強度や運動量でトレーニングを継続的に行うことで、これを改善できる可能性が示唆された。