

間欠的トレーニングと持続的トレーニングが心臓血管系に及ぼす効果

Effects of Intermittent Training and Prolonged Training on Cardiovascular System

永野 順子* 横澤 喜久子** 鳥越 成代**

Junko Nagano, Kikuko Yokozawa and Shigeyo Torikoshi

要旨

走運動による間欠的および持続的運動トレーニングの効果について、心臓血管系への影響の点から比較検証を行った。運動強度を主観的運動強度（RPE）に設定し、運動時間 36 分間、運動頻度週 3 回、トレーニング期間 24 週の持続性トレーニングを行った。RPE は Borg の RPE11 <楽である>を採用した。間欠的運動は 12 分ごとに 5 分間の歩行を行うこととした。実験はトレーニング前と 6 週ごとの計 5 回とした。実験は① RPE11 の 36 分間走（トレーニング条件と同じ運動様式）② 100watts の定負荷ペダリング運動、③仰臥位安静、④最大運動（トレーニング前後）の 4 条件下で実施し、心臓血管系への効果を検証した。結果として、トレーニング終了後、①の走速度は両運動群で約 2～3m/分の上昇が見られ、酸素摂取量で約 6%、心拍数は 1～2 拍の減少が見られた。②酸素摂取量と平均血圧が 18 週以降に顕著に減少する傾向が見られ、心拍数も減少し、RPE は約 2 ポイントの低下を示した。③平均血圧、心拍数、酸素摂取量で両群とも同程度の減少傾向を示した。左室駆出時間、左室駆出前期/駆出時間と酸素脈は増加傾向を示した。④体重あたり最大酸素摂取量が間欠群で約 20%、持続群で約 15%の増加となった。最大心拍数は約 10%の減少となった。トレーニングの運動様式の違いによる効果の差はみられなかった。

●キーワード：間欠的トレーニング (Intermittent training) / 持続的トレーニング (Prolonged training)

心臓血管系 (Cardiovascular system)

背景

トレーニング・プログラムの設計に際し、トレーニング負荷の設定は運動強度、運動時間、運動頻度を考慮して行われるが、近年、インターバル速歩や高強度インターバル・トレーニング（HIT：High-intensity Interval Training）に見られるように、インターバルな運動様式に注目したトレーニングの効果が検証されている。

トレーニングに求める効果対象は立場によって異なる。アスリートであれば、パフォーマンスへの効果を求め、一般人はヘルスプロモーションに資する効果、健康に関わる検査項目や各種心理、生理的指標に現れる有効性を求めることになる。

一方、有効性の獲得と共に安全性（危険性の回避）が図られなければならない。池上は有効性を確保しながら安全な運動強度の選定について、上限を安全限界、下限を有効限界とし、この間に運動条件を設定すべきである、としている¹⁾。

ジョギングは、特別な用具や場所を必要とせず、巧拙に関わらず誰にでも手軽に始められる運動として愛好者が多い。近年ではフルマラソンに挑戦する人々も増え、マラソン人口の増加と共に各地で毎月のようにマラソン大会が開催されるまでにいたっている。

一方で“走る”ことによる障害や事故も増えており、健康・体力の維持増進のためにジョギングを行うには、安全に継続的に楽しむための至適運動強度や運動様式について検討されなければならない。

横沢等はジョギングの運動強度を検討し、生理的に有効な強度を保ち、かつ循環系に過剰な負担をかけない運動として、Borg の考案した主観的運動強度（Rated Perceived Exertion/ RPE）で、“RPE11；楽である”の運動強度が適していると報告した²⁾。また、同報告の中で走速度を一定にして走るよりも、RPE を一定に維持して走る方が心臓血管系への負担も身体的疲労も少ないと報告している。

1981 年に鈴木は、安全を考慮した際の中高年齢者の

運動の至適運動刺激として、① Borg の尺度の RPE11、②インターミッテント・エクササイズ（間欠的運動）、③運動時間が 20 分以上、④ 1 週間に 3 回以上、の 4 点を指摘している³⁾。

目的

主観的運動強度（RPE）は走者本人の主観によって判定できるので“いつでも、どこでも”実施でき、ジョギングの現場で実際に使用するには適した運動強度である。しかし、主観的運動強度を運動負荷に設定した持続性トレーニングに対する心臓血管系の適応についての研究はなされていない。一方、運動様式として、間欠的運動（intermittent exercise）での心拍数と血管運動の応答レベルは運動量が等しい持続的運動（prolonged exercise）と比較して低く保たれる⁴⁾ので安全な運動様式であると考えられ、トレーニング効果に差が無ければ、間欠的トレーニングはより優れたトレーニング様式だと評価できる。以上から、本研究では“RPE11：楽である”の“一定 RPE 走運動”を運動強度に設定し、二つの運動様式による長時間走運動の心臓血管系に及ぼす効果について、RPE11 走運動、定負荷運動、安静時、最大運動の 4 条件で実験を行い、効果を検証、考察した。

方法

1. 被検者

対象者は、特別な運動経験の無い一般青年女子 13 名であった。間欠的運動群 6 名と持続的運動群 7 名に分かれてトレーニングを実施したが、途中で、間欠的運動群 1 名、持続的運動群 2 名がトレーニングを継続できず、最終的に全実験を終了したのは、両群とも 5 名となった。

各被検者には研究の目的と方法をあらかじめ説明し、十分な理解を得た。被検者の身体特性は表 1 に示した。

表 1：Subjects (female)

運動	年齢 (yrs)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI
間欠	19.0 ± 0	160.4 ± 8	53.3 ± 9	20.8 ± 3
持続	19.0 ± 1	154.8 ± 6	52.7 ± 2	21.9 ± 2

* 間欠的運動群：5 名、持続的運動群：5 名

2. トレーニング方法、実験手法及び実験頻度

トレーニング強度は主観的運動強度（RPE）で、Borg の旧尺度を用い、60% $\text{VO}_{2\text{max}}$ 相当とされる RPE11 とした。日本語は小野寺等による“楽である”を採用した⁵⁾。

トレーニング時間は 36 分間とし、間欠的運動では 12 分ごとに 5 分間の歩行を行うこととした。総時間は 46 分となった。持続的運動は 36 分間継続のジョギングとした。いずれも屋外のフィールドにおいて実施した。

トレーニング頻度は 1 週間に 3 回とし、トレーニング期間は 24 週間とした。

実験負荷と実験手法は以下の通りである。

- 1) グラウンド走実験（屋外で、各トレーニング様式による 36 分間の RPE11 走運動を負荷した）
- 2) 定負荷運動実験（モナーク社製の自転車エルゴメーターで 100watts 12 分のペダリング運動を負荷した）
- 3) 安静時測定（仰臥位で安静 15 分後に 12 分間の安静時測定をした）
- 4) 最大酸素摂取量測定（トレッドミル漸増負荷法でオールアウトに至る走運動を負荷した）

実験頻度は、1) ～ 3) の 3 実験はトレーニング開始時と 6 週ごとの計 5 回実施し、4) はトレーニング前後の計 2 回実施した。

3. 測定項目、プロトコル、及び測定方法

- 1) グラウンド走実験：測定項目は走行中の酸素摂取量 (VO_2)、心拍数 (HR) およびパフォーマンスの指標としての走速度であった。酸素摂取量は、10～12 分、22～24 分、34～36 分の値を平均した。また、走速度は、トラックの走速度から算出し、平均値を求めた。
- 2) 定負荷運動実験：安静 5 分後に 100watts の定負荷ペダリング運動を 12 分間実施し、運動中の酸素摂取量、心拍数、動脈血圧を測定し、運動終了時に主観的運動強度（RPE）を測定した。酸素摂取量は 10～11 分、11～12 分の 2 回測定し、平均値を求めた。動脈血圧と心拍数は、10 分、11 分、12 分で測定し、平均値を求めた。動脈血圧の結果からは平均血圧（MAP：脈圧／3 + 拡張期血圧）を算出した。
- 3) 安静時測定：測定項目は、酸素摂取量、動脈血圧、心拍数及び左室収縮時間間隔（STI）であった。酸素摂取量は、7 分から 12 分までの 5 分間を測定し、平均値を算出した。動脈血圧は 10 分から 12 分の間で 3 回測定し、平均値を求め、平均血圧を算出した。また、心拍数および左室収縮時間間隔（STI）は、心機図上で 1 分ごとに 12 分間連続測定し、平均値を求めた。酸素摂取量と心拍数の結果から酸素脈（ O_2Pulse ： VO_2 / HR ）を求めた。

4) 最大酸素摂取量 (VO_{2max}) 測定: トレーニング前後の2回、最大酸素摂取量と最大心拍数 (HR_{max}) を測定した。

以上の4実験を通して、酸素摂取量は、ダグラスバッグで呼気を採気し、分析器にかけた。動脈血圧は、聴診法により測定し、特に平均血圧 (MAP: 脈圧/3 + 拡張期血圧) を観察した。左室収縮時間間隔は、Lewise等の心機図法に準拠し、心機図を記録したうえで、左室駆出時間 (LVET)、駆出前期 (PEP) および左室駆出分画の指標としての PEP/LVET を測定した。心拍数は、安静時測定では心機図から、他の測定では胸部誘導法による心電図テレメーターから測定した。

結果

1. 実験1 (RPE11 グラウンド走実験)

図1は、トレーニングに採用した RPE11 走の6週ごとの運動強度の変化を示したもので、酸素摂取量、心拍数、走速度を間欠的運動群と持続的運動群の各被検者の平均値と標準偏差 (mean \pm SD) で示した。

運動強度は同じ (RPE11) であったが、両運動群とも12週目に最も走負荷が高く、酸素摂取量も12週目に最

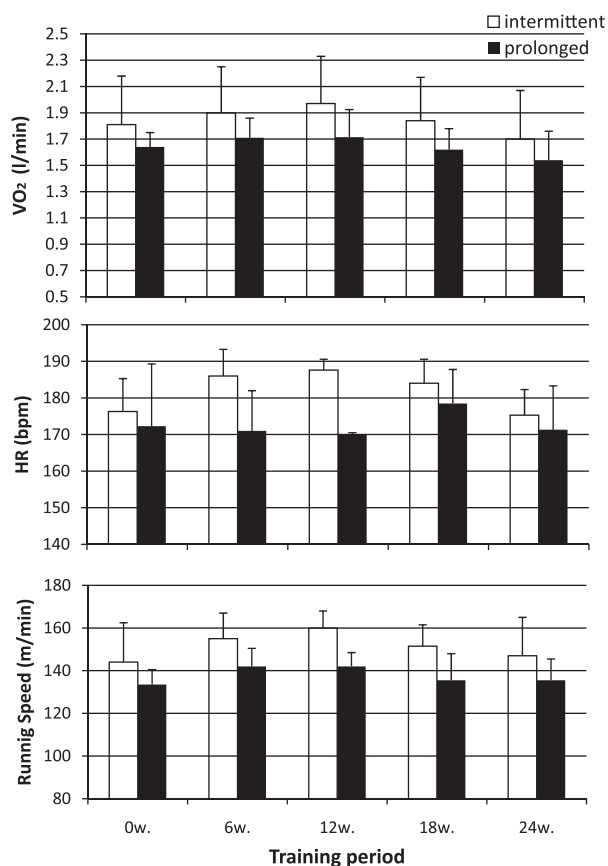


図1: RPE11 走における VO_2 、HR と走速度の変化

も増加する傾向がみられた。

トレーニング終了後、24週での走速度はトレーニング前に比べて両運動群で、約2~3m/minの上昇となった。一方で酸素摂取量では、両運動群で約6%の減少となり、心拍数では、両運動群で1~2bpmの減少となった。

酸素摂取量、心拍数ともに、トレーニングの進行に伴う一定の変化傾向は認められなかった。

2. 実験2 (100wattsの定負荷運動実験)

図2は100wattsの定負荷ペダリング運動中の測定結果を6週間ごとに示したもので、各値は間欠的運動群および持続的運動群の平均値と標準偏差で示した。

酸素摂取量は、トレーニングが進行するにつれて、両群とも減少する傾向が見られ、18週以降は減少傾向が顕著となった。間欠的運動群では、トレーニング前に対

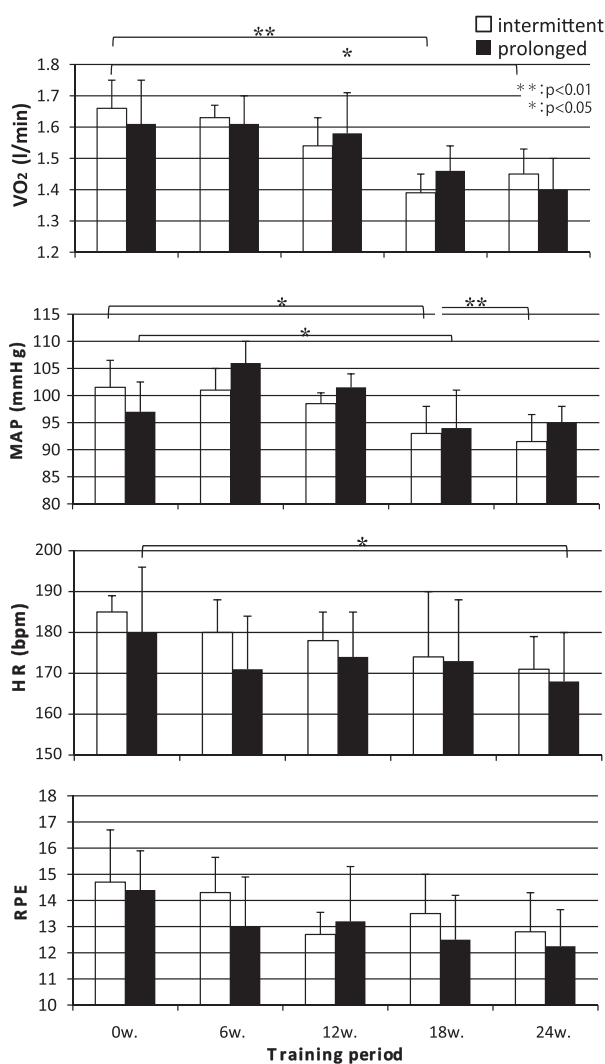


図2: 定負荷運動中の VO_2 、MAP、HR と RPE の変化

し、18週で1%水準、24週で5%水準の有意差が見られた。トレーニング後は、間欠的運動群で12.7%、持続的運動群で13.2%の減少となった。

平均血圧は、トレーニングの進行に伴って低下する傾向が見られ、酸素摂取量同様18週以降にその傾向が顕著となった。18週では両運動群に5%水準で有意差が見られ、24週では間欠的運動群に1%水準で有意差が見られた。トレーニング後は、間欠的運動群で9.6%、持続的運動群で2.1%の低下となった。

心拍数はトレーニングの進行に伴って漸減する傾向が見られた。トレーニング後は、持続的運動群で6.8%の減少となった。5%水準で有意差が見られた。

主観的運動強度は、持続的運動群では、6週以降、間欠的運動群では12週以降に著しく低下した。トレーニング前後で、間欠的運動群では14.7から12.8へ、持続的運動群では平均14.4から12.3へと低下した。両群とも2.0前後のレベルの低下となった。

平均血圧、心拍数、酸素摂取量に関してトレーニング前に対するトレーニング後の相対的変化量を平均の%で示すと、図3の結果を得た。各測定結果でトレーニング後の低下が認められた。間欠的運動群では心拍数に1%水準で、酸素摂取量に5%水準で有意な低下が認められた。持続的運動群では、有意な低下とはならなかった。平均血圧は両群とも有意な低下は示さなかった。

3. 実験3 (仰臥位安静実験)

図4は、6週間ごとの安静時測定の結果を間欠的運動群と持続的運動群の平均値及び標準偏差で示した。

平均血圧はトレーニングの進行に伴い、両群ともわずかな漸減傾向を示した。トレーニング後、間欠的運動群では4.4%、持続的運動群では8.3%の低下となった。

酸素摂取量は、トレーニングの後半、やや減少する傾向が見られ、トレーニング後は、間欠的運動群で5.3%、

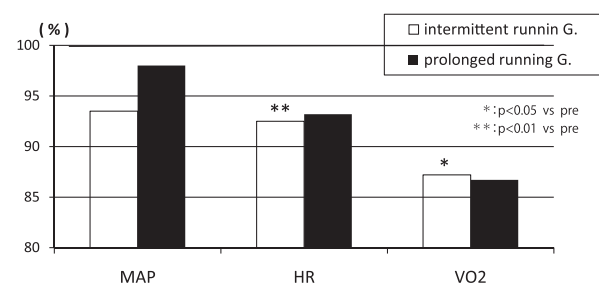


図3：MAP、HRとVO₂のトレーニング後の変化率

持続的運動群で11.1%の減少となった。

左室駆出前期／駆出時間は、トレーニングの後半、やや上昇傾向が見られ、トレーニング後は、間欠的運動群で3.1%、持続的運動群で5.1%の上昇となった。

心拍数は、持続的運動群では、トレーニング開始時は高いが、その後は明らかな傾向は認められなかった。間欠的運動群では、トレーニングの進行に伴い漸次減少する傾向が見られた。両群ともトレーニング後は10～13bpm（約16.0%）の減少となった。

平均血圧、酸素摂取量、心拍数、左室駆出前期／駆出時間とともに、一回拍出量（心容積）を示唆する左室駆出時間（LVET）と酸素脈（O₂Pulse）を加えて、6項目に関して、トレーニング前に対するトレーニング後の相対的変化量を平均の%で示すと図5の結果を得た。持続的運動群の平均血圧、酸素摂取量、心拍数と、間欠的運動群の心拍数にそれぞれ5%水準で有意な低下が認められたが、両群の間には差は認められなかった。また、左室駆出前期／駆出時間には6～8%の延長が認め

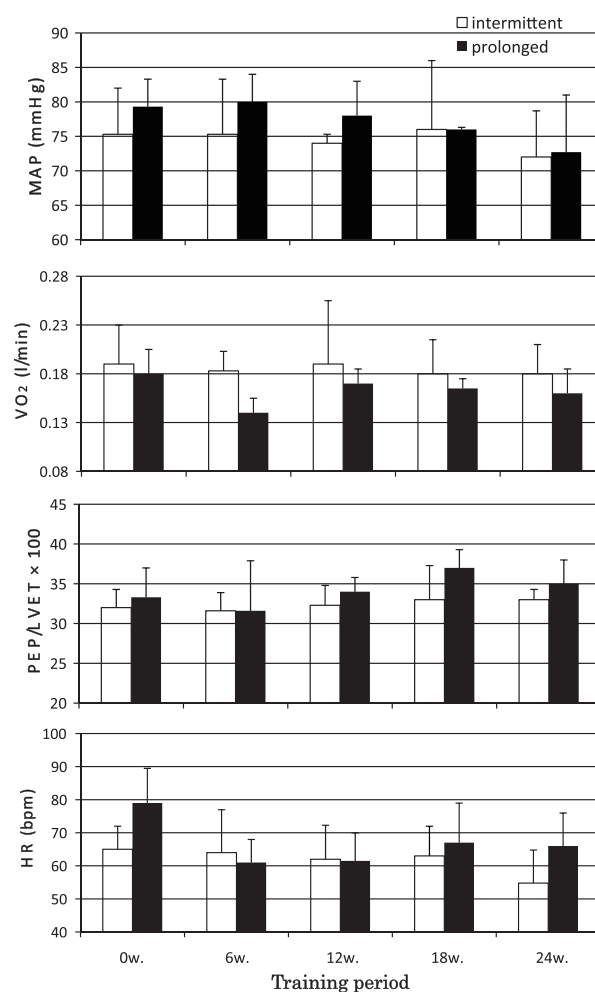


図4：安静時のMAP、VO₂、PEP/LVET × 100、HRの変化

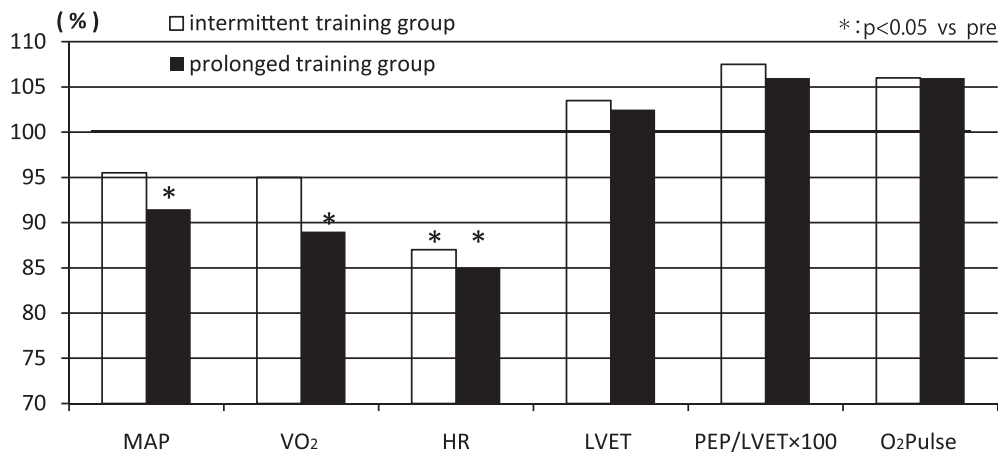


図5：安静時におけるトレーニング前後の変化率

られ、左室駆出時間は2～4%の延長が認められた。さらに、酸素脈を計算すると、両運動群とも6.0%の増加となった。

4. 実験4（最大酸素摂取量、最大心拍数計測）

図6は、トレッドミル走による最大酸素摂取量および最大心拍数のトレーニング前後について、間欠的運動群と持続的運動群の平均値で示した。体重あたり最大酸素摂取量は、間欠的運動群では約20%増加し、持続的運動群では約15%の増加であった。一方、最大心拍数は両群とも約10%の減少を示した。

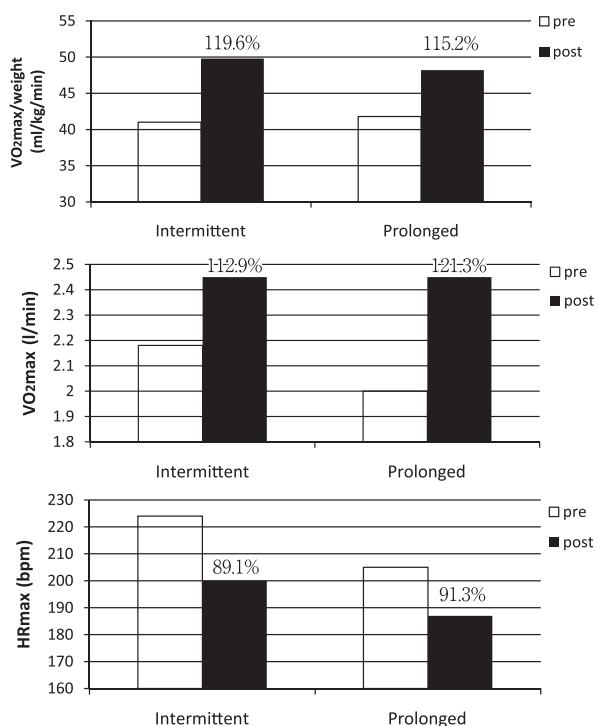


図6：トレーニング前後のVO₂maxとHR_{max}の値

考察

1. RPE11 走への適応

トレーニング終了後に、ランニングスピードがわずかに上昇したことは、主観的運動強度が変わらないにもかかわらず、実際には走速度の上昇として運動強度が上昇したことを示す。酸素摂取量の減少は、走運動の習熟によって余計な筋の動員が減り、エネルギー消費の効率化が図られたことを示唆しており、走速度の上昇とともに走運動のパフォーマンスの向上を示唆している。心拍数がトレーニングによって明らかな変化を示さなかったのは、定RPE運動であったことが一因だと考えられる。

走運動が屋外のフィールドで行われた場合はトレッドミル上での同一RPE走運動に比べて心拍数が高くなることが報告されている⁶⁾。本研究でも、心拍数がRPE11としては高い値が示されており、それは実験が屋外のグラウンドで行われたためだと考えられる。

トレーニング終了後、両運動群に同程度の変化が見られたことから、心臓血管系に対して同程度のトレーニング刺激となることが示された。

2. 100wattsの最大下運動への適応

100wattsの最大下運動中に、主観的運動強度がトレーニング前には両運動群で“RPE15：きつい”前後に感じられた運動が、トレーニング後には“RPE13：ややきつい”より低いレベルへ低下することで、運動に対する心理生理的適応が促進されたことが示唆された。

平均血圧がトレーニングによって低下したことは、定負荷の最大下運動時に、心臓血管系に加えられる負荷が相対的に軽減されたことを意味する。また、心拍数が減少したことも同様に、心臓血管系への適応が促進したこ

とを意味し、同時に心拍数の減少は心筋が消費する酸素量を減少させ、酸素摂取量減少の一因になったと考えられる。さらに、走運動の習熟に伴って余計な筋を使用しなくなり、運動におけるエネルギー効率が上昇したことから酸素摂取量を減らす結果となったと考えられる。

これらのトレーニング後の結果が、両運動群でほぼ同じ傾向を示したことから、間欠的運動と持続的運動の運動様式は違っても、最大下運動中の心臓血管系へ及ぼすトレーニング効果は同程度であったと考えられる。

3. 安静時心臓血管系への効果

間欠的運動と持続的運動で、ほぼ同程度に安静時心拍数、酸素摂取量および平均血圧が減少し、左室駆出前期／駆出時間が延長したことから、トレーニング後に両運動群で、心拍出量が減少したことが示唆された。一方で、左室駆出時間の延長と酸素脈の上昇が認められたことから、トレーニング後に、両運動群に同程度の一回拍出量の増加があったと考えられる。

心臓効率の指標となる駆出率（一回拍出量／拡張末期容積）を示唆する左室駆出前期／駆出時間が延長したことは、トレーニング後の心収縮性が上昇し、ポンプとしての心機能が向上したことを意味する。また、一回拍出量の増加は心容積の拡大を意味している。それは心拍数の減少を促し、結果的に最大心拍数に至るまでの作業時間、作業強度が増加することを意味し、心臓余力の増加を示唆している。

心拍出量の減少が示唆され、一方で平均動脈血圧が低下したことから、末梢における毛細血管床の拡大が考えられるが、これは、最大酸素摂取量の増加に示される酸素運搬能力の改善によっても示唆された。

以上の結果から、トレーニング終了後、安静時の心臓効率は改善され、末梢血管床の拡大が示唆されたが、この結果は間欠的運動群と持続的運動群に同程度に示された。トレーニング刺激として両運動群に差は無いと考えられる。

4. 最大運動時への効果

間欠的運動群および持続的運動群において、同じように最大酸素摂取量の増加が認められたことは、“RPE11：楽である”の負荷がエアロビッック・パワーのトレーニング刺激として有効であることを示している。また、間欠

的運動の効果が持続的運動に比べて、同程度あるいはそれ以上であったことは、この運動が心臓血管系への負荷程度が低いことから、運動の効果と安全性を考慮した場合、極めて優れたトレーニング様式であることを示している。

また、最大心拍数は、安静時、最大下運動時と同様に減少しており、一方で酸素運搬能力は高まっているので、心容積の拡大による一回拍出量の増加と、末梢での毛細血管床の拡大による酸素交換能力の改善が示唆された。

常に“楽である”ことを確認しながら行うジョギングをトレーニング負荷とし、休みを挟みながら走る運動様式にも持続的に行う運動と同様の心臓血管系への効果が期待できることが示された。休みを挟むことは心拍数を一時下降させ、心臓への負荷を下げた運動に伴う危険を回避できることを意味する。

トレーニング負荷を検討する際に考慮すべき「安全性と有効性」の相反する2条件を満たす運動様式として、間欠的トレーニングの有用性が示唆される結果となった。

謝辞

元聖学院大学教授の故鈴木洋児先生にご助言を賜りましたことを記し、厚くお礼申し上げます。

まとめ

1. 運動強度を“RPE11：楽である”に設定し、運動時間を等しく（36分間）して、運動様式を持続的走運動と間欠的（12分ごとに5分間歩く）走運動とした。両運動様式で、24週間のトレーニングを行った。
2. トレーニング効果を、トレーニング負荷と同じ36分間の走運動と、100wattsの定負荷運動で検討した。両運動様式で、走運動のパフォーマンスに向上が見られた。走運動と定負荷運動の酸素摂取量と心拍数はやや減少した。定負荷運動の平均血圧と主観的運動強度は低下した。
3. 安静時心臓血管系への効果として、両運動様式で、心容積の拡大と心臓効率の改善が示唆された。また、末梢における毛細血管床の拡大が示唆された。
4. 最大酸素摂取量は両運動様式のトレーニングで増加し、RPE11走運動がトレーニング刺激として有効であり、間欠的運動がトレーニング様式として効果と安全性の両面から極めて優れていることが示唆された。

参考文献

- 1) 池上晴夫：運動処方—理論と実際 朝倉書店 1994
- 2) 横澤喜久子 他5名：「楽である」及び「きつい」と感じる運動の心臓血管系からみた強度について Health Science Vol.4 No.1 1988
- 3) 鈴木洋児：中高年者の運動と方法—インターミッテント・エクササイズ 労働の科学 36. 10 10-15 1981
- 4) 鈴木洋児：体力トレーニング 4章心臓血管系とトレーニング p107 真興交易医書出版部 1986
- 5) 小野寺孝一 他1名：全身持久性運動における主観的運動強度と客観的強度の対応性 体育学研究 Vol.21 No.4 1976
- 6) Celi R & Hassmen P: Self-monitored exercise at the three different RPE intensities in treadmill vs field running. Med Sci. Sports Exe. 23:732-738 1991
- 7) De Vries, H: Physiological effects of an exercise training region upon men aged 52 to88. J. Gerontol. 25 : 325-336 1970
- 8) Ekblom B: Effect of physical training in adolescent boys. J. Appl. Physiol. 27 : 350-355, 1969
- 9) Folkow, B. & Neil, E. : Circulation. Oxford Univ. Press, 1971
- 10) 吉村正治：心臓図ポリグラフィー 金原出版 1976
- 11) 沢山俊民：心臓の診かたと心臓図 金芳堂 1981
- 12) 森杉昌彦：心音図の手ほどき 南山堂 1977
- 13) 永野順子ほか：RPE11 走による長時間の間欠的トレーニングが安静時心臓血管系に及ぼす効果、日本体育学会第33回大会抄録集 379 1982
- 14) Hanson, J. et al. : Long-term physical training and cardiovascular dynamics in middle-aged men. Circulation 38 : 787-789 1968
- 15) Hartley, L. H. et al. : Physical training in sedentary middle-aged and older men. Cardiac output and gas exchange at submaximum and maximum exercise. Scand. J. Clin. Lab. Invest. 24 : 335-344, 1969
- 16) Suzuki Y. : Mean arterial pressure, O₂-intake, and muscle force time during dynamic and rhythmic-static exercise in men with high percentages of fast and low-twitch fibers. Eur. J. Appl. Physiol. 43 : 143-155, 1980
- 17) Wilmore, J. et al. : Physiological alteration resulting from a 10-week program of jogging. Med. Sic. Sports. 2 : 7-14, 1970.
- 18) 山本一博：心臓の機能と力学 文光堂 2014