

# Mechanism Underlying Reduced Exertional Breathlessness due to Physical Training

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2297/547">http://hdl.handle.net/2297/547</a>

# 運動トレーニングによる運動時の呼吸困難感軽減メカニズム

高野 成子

## Mechanism Underlying Reduced Exertional Breathlessness due to Physical Training

Nariko TAKANO

### はじめに

身体運動遂行の最大能力 (Work capacity) は、直接運動遂行に関わる筋骨格系だけでなく、この働きを支援している呼吸循環系、体温調節系などの多くの生理機能の最大能力 (生理的限界) の総合能力である。しかし、それぞれの系は機能的限界に近づくと、苦痛や不快感という運動遂行を抑制するような感覚を発生するので、実際に表出される Work capacity は生理的限界より低くなる。このような感覚的・心理的要因の影響を受けて表出される運動限界は心理的限界と呼ばれる。心理的限界をもたらす苦痛や不快感は、筋骨格系では筋疲労感や筋痛、体温調節系では熱感、循環器系では強い心悸亢進感、呼吸器系では呼吸困難感に相当する。運動遂行不能に陥った時に感ずる感覚がいわゆる疲労困憊感である<sup>1)</sup>。これは上述のような種々の感覚の複合的感覚であるが、どの感覚も同じ程度に疲労困憊感の発現に寄与しているとは限らない。蒸し暑い日のランニングでは熱感の亢進が、速いスピードでのランニングでは心悸亢進感や呼吸促進感が、坂道でのランニングでは筋痛が疲労困憊感に大きく寄与している。またこれらの感覚や不快感は、いわゆる「慣れ」や「我慢」という多分大脳連合野から大脳皮質感覚野への抑制信号により軽減され<sup>2)</sup>、その結果心理的限界は上昇し、生理的限界に近づく。

著者は数年来、運動時の呼吸困難感発現のメカニズムに関する研究を行っているが、その1

つの研究において<sup>3)</sup>、運動時の呼吸促進に關与している頸動脈小体の化学感受性が低い人ほど運動時の呼吸困難感は低いことを明らかにした。一方、持久性のスポーツを行っている人では頸動脈小体の感受性が低いとの報告が見られることから<sup>4,5)</sup>、持久性の運動トレーニングや持久性のスポーツを行っている人では運動時の呼吸困難感が低く、これが運動の Work capacity (運動持久力) 向上に役立っているのではないかとの仮説をもつに至った。本研究はこの仮説を実証するべく計画されたものである。具体的には、(1)持久性運動トレーニングによって運動時の呼吸困難感軽減されるか、(2)もし軽減されるならば、それは頸動脈小体の化学感受性の変化 (トレーニングによる) とどのように関連するかを明らかにする目的で、次の2つの研究を行なった。(1)縦断的研究: 非運動鍛練者に4週間にわたり運動トレーニングを行わせ、持久性運動能力 (最大酸素摂取量,  $\dot{V}O_{2max}$ ) 増進に伴って運動時の呼吸困難度はどのように変化し、それは末梢化学受容器感受性の変化とどのように関連するかを調べた。(2)横断的研究: 持久性運動能力の高い運動鍛練者 (例えば長距離種目競技者) と低い運動鍛練者 (例えば短距離種目競技者) では運動時の呼吸困難度はどのように異なるか、またその差異は持久性運動能力や末梢化学受容器感受性の差異とどのように関係するかを調べた。

表1. 被験者の身体的, 体力的特性

	体重 (kg)	身長 (cm)	$\dot{V}O_{2max}$ (l/min/kg)
縦断的研究: 非運動鍛練者群			
トレーニング前値			
全体 (n=11)	53 ± 3	163 ± 3	34.3 ± 3.0
男子 (n=5)	64 ± 3	172 ± 1	44.1 ± 1.3
女子 (n=6)	45 ± 2 *	155 ± 2 *	26.1 ± 1.7 *
4週間トレーニング後			
全体 (n=11)	53 ± 3	163 ± 3	38.7 ± 3.3 #
横断的研究:			
瞬発性運動鍛練者群			
全体 (n=14)	61 ± 2	170 ± 2	40.4 ± 1.7
男子 (n=9)	65 ± 2 \$	174 ± 2	44.0 ± 1.5
女子 (n=5)	54 ± 3 *	163 ± 2 *	34.0 ± 0.9 *
持久性運動鍛練者群			
全体 (n=9)	58 ± 2	169 ± 3	54.9 ± 3.3 # \$
男子 (n=6)	61 ± 2	172 ± 3	58.9 ± 3.0 # \$
女子 (n=3)	52 ± 5	163 ± 6	46.9 ± 6.1 #

\* : 男女差,  $p < 0.05$ .# : 非鍛練者のトレーニング前との差,  $p < 0.05$ .\$ : 瞬発性と持久性との差,  $p < 0.05$ .

## 研究方法

### I. 縦断的研究

少なくとも最近1年間は定期的に運動を行なっていなかった男子学生5名, 女子学生6名を被験者(年齢は19~23歳)とした。身体的特性は表1に示す通りであった。被験者には、「4週間にわたって戸外でランニングを行なってもらい」、「実験室では自転車エルゴメータ運動を行なってもらい, 息苦しさを測定をする」、「途中で不都合なことが起きた時には何時でも被験者を辞退することができる」ことを伝えて, 研究参加の承諾(Informed consent)を得た。被験者には持久性運動トレーニングとして, 脈拍約120拍/分の強度のランニングを戸外で20分間, 週3回の割合で, 4週間行なってもらった。被験者はトレーニング前, トレーニング中は毎週1回, トレーニング終了後の合計5回, 後述のようなテストを実験室で受けた。

### II. 横断的研究

瞬発性のスポーツ(100~400m走や走幅跳)を行なっている陸上部所属の学生14名(男子9名, 女子5名, この群を瞬発性運動鍛練者群とした)と持久性のスポーツ(マラソンや800~10,000m

走)を行なっている陸上部所属の学生9名(男子6名, 女子3名, 持久性運動鍛練者群とした)を被験者(年齢は19~22歳)とした。被験者の身体的特性は表1に示す通りであった。被験者には、「実験室では自転車エルゴメータ運動を行なってもらい, その時の息苦しさを測定をする」、「途中で不都合なことが起きた時には何時でも被験者を辞退することができる」ことを伝えて, 研究参加の承諾を得た。

### III. 実験室でのテスト

#### 1. 安静時の $N_2$ 吸入テスト

(頸動脈小体の低酸素-換気応答性の測定)

頸動脈小体の化学感受性の指標として, 椅座位, 安静状態でHypoxic ventilatory response (HVR)を測定した。方法はSHAWらの方法<sup>6)</sup>に準拠した。被験者には呼吸マスクを介してグラスバッグ中の $N_2$ を1~8回呼吸させた。ある回数の $N_2$ 吸入後は空気呼吸に切り替え, 心拍数, 動脈血酸素飽和度, 換気量が正常値に戻った後, 別の回数の $N_2$ を吸入させた。

#### 2. 漸増負荷運動テスト

(運動時の換気応答, 呼吸困難度, 最大酸素摂取量の測定)

被験者には、自転車エルゴメータ上で安静2分、warm up (男子では10W, 女子では5Wにて) 2分後、段階的漸増負荷の下 (男子では漸増速度25W/分, 回転数70rpm, 女子ではそれぞれ15W/分, 50rpm), 疲労困憊まで自転車漕ぎ運動を行なわせた。

#### IV. 測定項目および方法

上記テスト中に、必要に応じて以下の測定を行った。

##### 1. 分時換気量( $\dot{V}_E$ ), 酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )

被験者に呼吸マスクを装着し、その出口に接続した熱線流量計 (ミナト医科学製, RM200) にて呼吸流量を、呼吸気の一部をガス分析器 (ミナト医科学製, MG360) に導入し (200ml/分)、呼吸気の $O_2$  (ジルコニウム反応法にて) と $CO_2$  (赤外線吸収法にて) 濃度を連続的に測定した。これらの結果を演算システム (ミナト医科学製 RM200とNEC製9801BX) に入力し、 $\dot{V}_E$ ,  $\dot{V}O_2$  の値を1呼吸毎に算出した。

##### 2. 最大酸素摂取量( $\dot{V}O_{2max}$ )

漸増負荷運動テストの最後の1分間に得られた $\dot{V}O_2$ の平均値を $\dot{V}O_{2max}$ とし、被験者の体重で正規化して表わした。

##### 3. 動脈血酸素飽和度( $So_2$ )

被験者の左手示指に指尖オキシメータ用センサーを装着し、指尖部毛細血管の酸素飽和度を光学的に連続的に測定した (キャノン製PUL-SOX 8型にて)。

##### 4. 呼吸困難度 (BS)

BORGの方法<sup>7)</sup>に準拠して測定した。息苦しさの程度を0 (全く息苦しくない) から10 (最高に息苦しい) の11段階で表わしたスケール (Borg scale, 以下BS) を被験者に見せ、その時の呼吸困難度に相当するスケールを指で指し示してもらった。

##### 5. 低酸素換気応答性(HVR)

$N_2$ 吸入テストにおいて、 $N_2$ 吸入後10~20秒の間に (肺から頸動脈小体までの血流時間にはほぼ相当)  $So_2$ は最低となり、 $\dot{V}_E$ は最高となる。最低 $So_2$ 値と最高 $\dot{V}_E$ 値 (実際にはその前後の値

の平均値) との関係性を1~8呼吸の $N_2$ 吸入テスト毎にプロットし、その回帰直線の傾斜 ( $\Delta\dot{V}_E/\Delta So_2$ ) をもってHVRとした<sup>6)</sup>。

#### 6. 運動時の $\dot{V}_E$ -BS関係

漸増負荷運動テストにおいて、負荷強度の増加に伴って $\dot{V}_E$ は漸増するが、BSはある運動強度 (従ってある $\dot{V}_E$ レベル) 以上になった後ほぼ直線的に増加し始める<sup>3)</sup> (図2参照)。BS増加開始後のデータを用いて、 $\dot{V}_E$ -BS関係の直線回帰式を求め、その回帰式からX切片 (呼吸困難を感じ始める $\dot{V}_E$ 点であり、 $\dot{V}_E$ 閾値とする) と直線の傾斜 ( $\Delta BS/\Delta\dot{V}_E$ , 呼吸困難感覚の感度) を算出した。運動時に到達しうる $\dot{V}_E$ の上限は性別や体格で大きく異なり、主に最大随意的換気量 (Maximum voluntary ventilation, MVV) に依存する<sup>3,8)</sup>。従って、 $\dot{V}_E$  (単位はリッター/分) はMVV予測値<sup>9)</sup> (単位はリッター/分) で除して正規化し、単位は%MVVとした。

#### V. 統計的処理

全ての結果は平均値±標準誤差 (SEM) で表わした。男女および被験者群間の差の検定にはWelchのt検定法を用いた。縦断的研究における運動トレーニングによる変化の有意性は2元配置分散分析 (トレーニング回数と被験者の2要因) で解析し、有意性が検出された場合はLSD法で多重比較検定を行なった。p<0.05を有意とした。

#### 研究結果

##### I. 運動トレーニングに伴う変化 (縦断的研究)

この研究に参加した被験者 (非鍛練者群) のトレーニング前の $\dot{V}O_{2max}$ は表1に示すようなレベルにあった。この値は持久性運動トレーニングに伴い漸増し (図1), 4週間後の増加は平均13%であった (表1)。一方、トレーニング前のHVRは表2に示すような値であったが、トレーニングとともに漸減する傾向にあり (図1), 4週間後には30%の低下が見られたが (表2), この変化は統計的には有意水準には達しなかった ( $0.05 < p < 0.1$ )。

表2. 被験者のHVRと自転車漕ぎ運動時の $\dot{V}_E$ -BS関係

	$\dot{V}_E$ -BS 関係		
	HVR (l/min/- %So <sub>2</sub> )	$\Delta BS / \Delta \dot{V}_E$ (units/%MVV)	$\dot{V}_E$ 閾値 (%MVV)
縦断的研究: 非運動鍛練者群			
トレーニング前			
全体 (n=11)	0.40 ± 0.04	0.18 ± 0.02	9.4 ± 1.4
男子 (n=5)	0.44 ± 0.05	0.15 ± 0.02	5.7 ± 1.7
女子 (n=6)	0.36 ± 0.07	0.21 ± 0.02	12.5 ± 1.8 *
4週間トレーニング後			
全体 (n=11)	0.28 ± 0.04	0.16 ± 0.02	15.1 ± 1.9 #
横断的研究:			
瞬発性運動鍛練者群			
全体 (n=14)	0.35 ± 0.04	0.14 ± 0.01	17.0 ± 2.1 #
男子 (n=9)	0.32 ± 0.05	0.14 ± 0.00	16.6 ± 3.3
女子 (n=5)	0.40 ± 0.07	0.14 ± 0.03	17.7 ± 1.4
持久性運動鍛練者群			
全体 (n=9)	0.33 ± 0.05	0.13 ± 0.01 #	13.4 ± 2.2
男子 (n=6)	0.34 ± 0.07	0.13 ± 0.01	13.7 ± 2.7
女子 (n=3)	0.33 ± 0.05	0.13 ± 0.04	12.7 ± 4.9

\* : 男女差,  $p < 0.05$ .# : 非鍛練者のトレーニング前との差,  $p < 0.05$ .

図2に示すように、自転車漕ぎ運動の負荷の増加とともに $\dot{V}_E$ は増加し、これに伴いBSもほぼ直線的に増加した。この被験者の $\dot{V}_E$ -BS関係は4週間のトレーニングによって右にほぼ平行移動した。図3は、 $\dot{V}_E$ -BS関係から算出した2指標、 $\Delta BS / \Delta \dot{V}_E$ と $\dot{V}_E$ 閾値、のトレーニング経過に伴う変化を示している。 $\Delta BS / \Delta \dot{V}_E$ はトレーニング期間中有意な変化を示さなかったが、 $\dot{V}_E$ 閾値はトレーニング1週間目で急増し、以降微増し、4週間のトレーニング後は約60%高値を示した(表2)。換言すれば、トレーニング後は、トレーニング前と比べて、運動時の呼吸促進が1.6倍強くないと呼吸困難は感じないことを意味している。これらの結果に基づいて、4週間のトレーニング経過中の $\dot{V}_E$ -BS関係の平均的变化を表わしたものが図4である。この図から以下のことが明らかとなった。

- (1) トレーニングは運動時の呼吸困難感覚の感度( $\dot{V}_E$ -BS関係の傾斜)には余り影響を与えないが、呼吸困難を感じ始める $\dot{V}_E$ 点(X切片)を高めることに作用している。
- (2) この様な効果はトレーニング1週間目で顕著に起るが、その後の効果はわずかである。

トレーニングに伴う $\dot{V}_E$ -BS関係の変化が $\dot{V}_{O_2max}$ やHVRの変化とどのように関係しているかを調べる目的で、変数増減法を用いて、各被験者について重回帰式(式1)を求めた。

$$BS = a[\dot{V}_E] + b[\dot{V}_{O_2max}] + c[HVR] + \text{Const} \quad \dots (式1)$$

11人の被験者における平均の回帰係数は、 $a = 0.15 \pm 0.02$ ,  $b = -0.13 \pm 0.04$ ,  $c = 3.0 \pm 2.4$ ,  $\text{Const} = 2.7 \pm 2.4$ ,  $r^2 = 0.82 \pm 0.03$  ( $r^2$ =決定係数)であった。 $\dot{V}_E$ ,  $\dot{V}_{O_2max}$ , HVRの3要因がそれぞれ何%ずつBS決定に関与しているかを表わす標準化回帰係数を各被験者について求め(表3)、以下のことが明らかとなった。

- (1) 運動時の呼吸困難度(BS)の平均82%(60~95%)は $\dot{V}_E$ ,  $\dot{V}_{O_2max}$ , HVRの3要因のいずれかの関わりによって説明される。
- (2) 3要因の関わりのうち、 $\dot{V}_E$ の関与が最大(平均65%(45~82%))であり、どの被験者においても $\dot{V}_E$ の関与が見られ、BSとの関係は正比例的であった。換言すれば、運動強度の増加に伴うBS増加の平均65%は $\dot{V}_E$ 増加によるものであると解釈される。
- (3) 半数の被験者においては、 $\dot{V}_{O_2max}$ はBSに

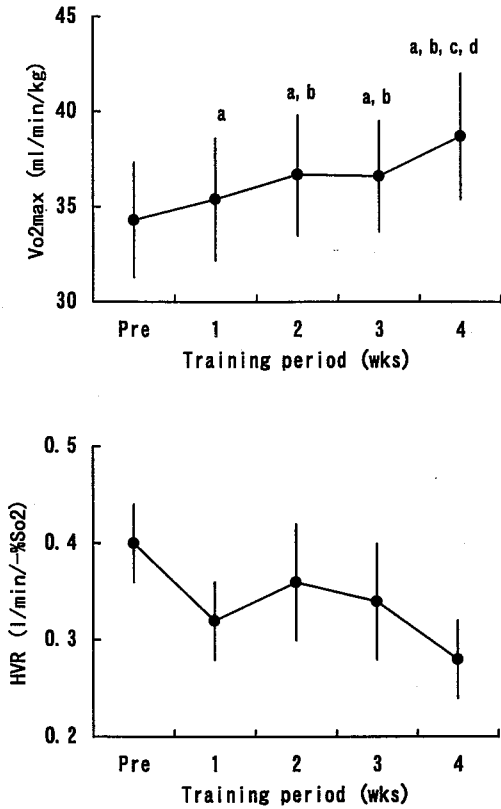


図1. 4週間の持久性運動トレーニングに伴う $\dot{V}O_2\max$ (上図)とHVR(下図)の変化。a, b, c, d:それぞれトレーニング前, トレーニング1, 2, 3週間目との差有意,  $p < 0.01$ 。

対して反比例的関係にあった。すなわち, 持久性トレーニングによる $\dot{V}O_2\max$ の増加(図1)は運動時のBS低下に関係したことを示している。残り半数の被験者では, BSに対する $\dot{V}O_2\max$ 効果は見られなかった。

- (4) BSとHVRの関係には大きな個人差が見られた。図1に示したように, 持久性運動トレーニングによりHVRは低下する傾向にあったが, この変化がBSの低下に関係したもの(5人), 逆にBSの増加に働いたもの(2人)など一様ではなかった。
- (5) BSに $\dot{V}_E$ の要因を組み込んで表わしたもの

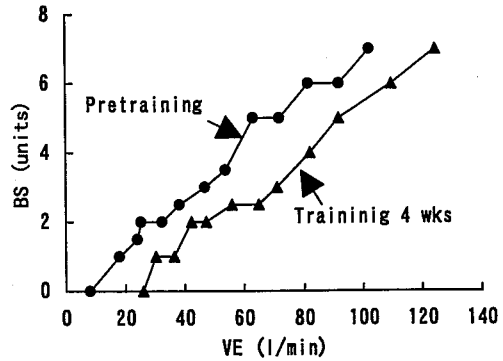


図2. ある被験者における漸増負荷運動時の $\dot{V}_E$ -BS関係とトレーニングによる変化。

が $\dot{V}_E$ -BS関係(図4)であるが, 重回帰式(式1)からも明らかのように,  $\dot{V}_E$ 以外の項( $\dot{V}O_2\max$ , HVR, Const)は $\dot{V}_E$ -BS関係のX切片( $\dot{V}_E$ 閾値)に相当する。4週間のトレーニングにより $\dot{V}O_2\max$ の増加とHVRの低下傾向が見られたことから(図1), このような変化が $\dot{V}_E$ 閾値の上昇(図3)にどの程度関与していたかを表3の結果を用いて計算すると,  $\dot{V}_E$ 閾値上昇の28% [=8.7/(8.7+5.1+(100-82.3))]は $\dot{V}O_2\max$ 増加, 16% [5.1/(8.7+5.1+17.7)]はHVR低下, 残り56%は未知の要因によるものであった。

## II. 運動鍛練種目間(横断的研究)および非鍛練者群(縦断的研究)との比較

瞬発性および持久性運動鍛練者群の $\dot{V}O_2\max$ レベルは表1に示す通りであった。非運動鍛練者群(縦断的研究被験者)におけるトレーニング4週後の値と比較すると,  $\dot{V}O_2\max$ は持久性鍛練者群>瞬発性鍛練者群≒非鍛練者群であった。一方, HVRは運動鍛練者群の方が非鍛練者群よりやや低値を示す傾向(統計的には有意ではなかった)が見られた(表2)。持久性運動トレーニングによりHVRが低下する傾向が見られたり(縦断的研究), 運動鍛練者の方が非鍛練者より低いHVRを示す傾向が見られたことは, 運動トレーニングがHVR低下に多少影響を

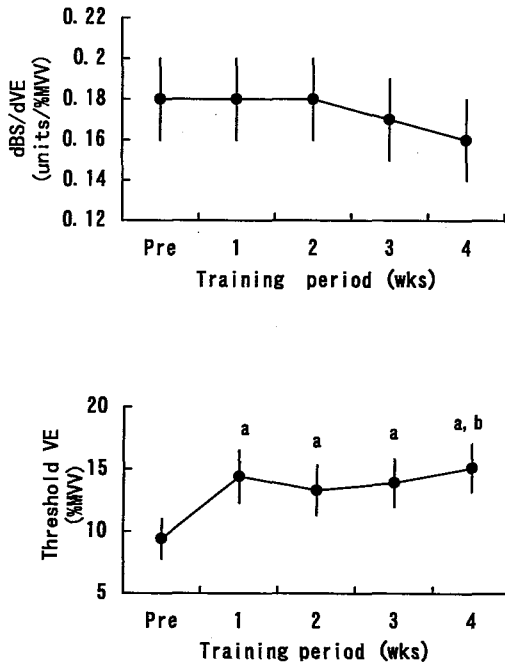


図3. 漸増負荷運動時の $\dot{V}_E$ -BS関係に関する2指標,  $\Delta BS/\Delta \dot{V}_E$  (上図),  $\dot{V}_E$ 閾値(下図)の運動トレーニング経過に伴う変化。a, b: それぞれトレーニング前, 1週間目との差,  $p < 0.01$ 。

持っていることを示唆している。持久性運動能力が高い人はHVRが低いという結果<sup>4,5)</sup>と持久性運動能力とHVRは関係しないという結果<sup>10,11)</sup>のように, 先行研究に不一致が見られるのは, 運動トレーニングのHVRに対する影響があまり大きくないことによるのかもしれない。

自転車漕ぎ運動時の $\dot{V}_E$ -BS関係はどの指標においても瞬発性鍛練者群と持久性鍛練者群間で差は見られなかった(表2)。しかし, 非鍛練者群のトレーニング前の値と比較すると,  $\Delta BS/\Delta \dot{V}_E$ は持久性鍛練者群において有意に低値を示し,  $\dot{V}_E$ 閾値は瞬発性鍛練者群において高値を示した。図5は表2の結果を図示したものであり, 図4の結果と合わせて, 以下のように結論することが出来る。

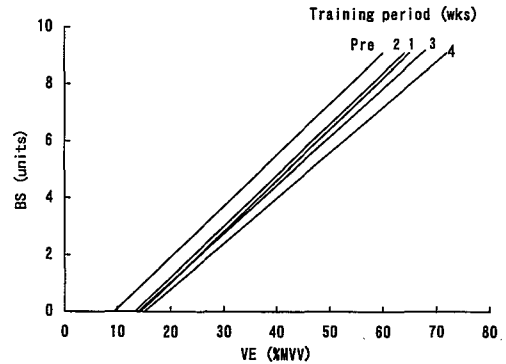


図4. 4週間の運動トレーニング経過に伴う $\dot{V}_E$ -BS関係の平均的变化

- (1) 運動トレーニングの継続は呼吸困難を感じ始める $\dot{V}_E$ 点( $\dot{V}_E$ 閾値)を高め, さらに呼吸困難感覚の感度( $\Delta BS/\Delta \dot{V}_E$ )をやや低下させる効果がある。その結果, ある $\dot{V}_E$ レベルでの呼吸困難感(BS値)は低下する。
- (2)  $\dot{V}_E$ 閾値の上昇はトレーニング1週間目で顕著に起るが, トレーニングの継続による更なる上昇はわずかである。一方, 呼吸困難感覚の感度の低下は速やかに起らず, 年単位のトレーニング継続によりもたらされる。
- (3) この様な効果に対するトレーニング方法(瞬発性か持久性か)の影響は小さい。

## 考察

運動時の換気( $\dot{V}_E$ )増加に伴って起る呼吸困難感の増加は運動トレーニングにより軽減されることが, 本研究によって明らかにされた。軽減は呼吸困難を感じ始める $\dot{V}_E$ 値( $\dot{V}_E$ 閾値)の上昇と呼吸困難感覚感度の低下によるものであった(図4, 5)。そのうち $\dot{V}_E$ 閾値の上昇は比較的トレーニング初期(1週間)に顕著に現れるが, 更なるトレーニングの継続による上昇は僅かであった。一方, 呼吸困難感覚の感度低下は小さく, 且つ年単位のトレーニングが必要であった。

4週間の運動トレーニングにより $\dot{V}_{O_2} \max$ の増加と末梢化学受容器感度の低下傾向が見られたが, これらが $\dot{V}_E$ 閾値上昇にどのように関与し

表3. 各被験者における運動時の呼吸困難度決定要因の関与度

被験者	決定要因 (%)			決定係数 ( $r^2$ , %)
	$\dot{V}_E$	$\dot{V}O_{2max}$	HVR	
1	44.9	-28.5	-6.0	79.4
2	76.9	-17.3	0.0	94.2
3	82.1	0.0	0.0	82.1
4	76.4	-9.9	7.6	93.9
5	68.6	0.0	16.5	85.1
6	72.0	-12.2	0.0	84.2
7	61.5	0.0	22.5	84.0
8	57.5	0.0	13.7	71.2
9	59.6	-16.4	0.0	76.0
10	45.1	0.0	15.3	60.4
11	70.5	-11.2	-13.1	94.8
平均値	65.0	-8.7	5.1	82.3
SEM	3.7	2.9	3.3	3.1

ていたかを重回帰分析(式1)により推定した結果、 $\dot{V}_E$  閾値上昇の28%は $\dot{V}O_{2max}$  増加、16%はHVR低下、残り56%は未知の要因によるものであった。 $\dot{V}_E$  閾値上昇はトレーニング1週目に顕著であったが(図3, 4)、 $\dot{V}O_{2max}$  増加はトレーニング継続に伴ってゆっくり増加したこと(図1)、 $\dot{V}O_{2max}$  が最も高値を示した持久性運動鍛練者群における $\dot{V}_E$  閾値は非運動鍛練者群のトレーニング4週目の値と類似していたことから(図5)、 $\dot{V}O_{2max}$  増加が直接 $\dot{V}_E$  閾値上昇に関わっているのではなく、 $\dot{V}O_{2max}$  で評価される別の要因が関係しているのではないかと思われる。その1つとして、運動トレーニング中に起る呼吸困難感覚の体験が考えられる。本研究では、日常的にあまり運動を行っていなかった被験者に脈拍が120位に上がるような強さのランニング(ジョギングよりやや速い)で運動トレーニングを行なってもらったが、どの被験者もトレーニング1週間位までは強い息苦しさや脚の疲れで20分間のランニングは苦行に等しい

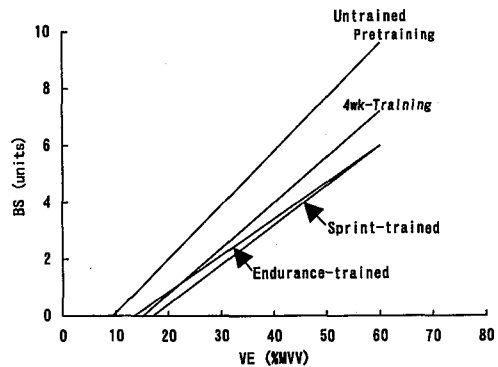


図5. 漸増運動時の $\dot{V}_E$ -BS関係に及ぼす運動トレーニングとトレーニング種目の影響。

と訴えた。トレーニングの継続とともに心理的感覚である苦行感は軽減していき、生理的指標である $\dot{V}O_{2max}$  は漸増していった。この様なことから $\dot{V}O_{2max}$  の大きさは運動時の息苦しき感覚の経験歴に相当するとも考えられる。

WILSONとJONES<sup>12)</sup>は漸増運動時の $\dot{V}_E$ -



BS関係を吸気抵抗負荷と無負荷の状態測定した時、抵抗負荷の後に無負荷状態での測定をすると、 $\dot{V}_E$ 閾値は上昇し、逆に無負荷の後に負荷状態での測定をすると $\dot{V}_E$ 閾値は低下することを見出した。呼吸困難感測定前に何らかの原因で強い呼吸困難感を経験すると、その後の感覚度の評価は先に経験した感覚と対照しながら行われるので、 $\dot{V}_E$ 閾値の上昇(呼吸困難感の減弱)が起るのではないかと推論された。言わば呼吸困難感覚の順応現象である。我々の結果もこれと類似した現象ではないかと想像される。胸郭や腹部の強い呼吸運動や気道での急速な気流が刺激となって呼吸困難感が引き起こされると考えられているが<sup>2)</sup>、呼吸困難感覚の順応や慣れ現象はこれらの刺激に対する大脳皮質感覚野の感受性低下(例えば脳内にモルヒネ様物質が増加することによって?)によるものであろうと推測されている<sup>3)</sup>。従って、本研究結果は以下のように説明しうるかもしれない。運動様式やスポーツ種目に関係なく、何らかの運動を行なった際に強い呼吸困難感を数回(?)経験することが引き金となって、感覚野の感受性低下が起る(本研究の非運動鍛練者では、運動トレーニング1週目の3回の呼吸困難経験にて起った)。しかし、その後も引き続いて呼吸困難に曝されても感受性低下はそれ程進行せずに、やがて限界に達するのではないかと推測される(本研究では、非運動鍛練者のトレーニング4週目の呼吸困難度と運動鍛練者のそれはほぼ同程度であった、図5)。本研究では確認されなかったが、スポーツや日常的運動を止めてしまつて運動時の呼吸困難暴露が少なくなると、これまで低下していた呼吸困難感覚の感受性は回復する(上昇する)のではないかと想像される。

運動中増加する血中KイオンやHイオンは末梢化学受容器を刺激し、運動時の呼吸促進をもたらす<sup>13)</sup>。一方、末梢化学受容器活動の亢進は運動時の呼吸困難感を増加させ<sup>14)</sup>、またこの受容器の感受性(HVR)と運動時の呼吸困難度は比例する<sup>3)</sup>という先行研究に基づいて、本研究で

は、運動トレーニングによる運動時の呼吸困難感低下はHVRの低下によるかもしれないと考え調べられた。統計的には有意水準には達しなかったが、HVRはトレーニング経過とともに徐々に低下し(図1)、これはトレーニングによる $\dot{V}_E$ 閾値上昇、ひいては呼吸困難感軽減に約16%の割合で寄与していることが判明した。

## 要約

日常的に運動を行っていない非運動鍛練者に4週間の持久性トレーニングを行わせ、これが自転車漕ぎ運動時に起る呼吸困難度にとどのように影響するかを調べた。トレーニング1週目で呼吸困難度は顕著に減弱したが、これは主に $\dot{V}_E$ 閾値(呼吸困難感を感じ始める時の呼吸の大きさ)上昇によるものであった。換言すれば、より大きな呼吸促進が起って初めて息苦しさを感ぜずという呼吸困難感覚の鈍化によるものであった。また日常的に瞬発性または持久性のスポーツを行っている運動鍛練者について調べた結果、自転車漕ぎ運動時の呼吸困難度や $\dot{V}_E$ 閾値は非運動鍛練者のトレーニング4週目の値とほぼ同じであった。すなわち、呼吸困難感覚の鈍化はトレーニング1週目で顕著に現われるが、4週間から年単位の更なるトレーニングの継続はその鈍化を更に大きく進行させるものではなかった。

運動トレーニングは持久性運動能力( $\dot{V}_{O_2}$  max)を増加させ、末梢化学受容器の感受性(HVR)を多少低下させる傾向を示したが、これらは $\dot{V}_E$ 閾値上昇に対してそれぞれ25%、16%関与しているのみであり、またこの関与率には大きな個人差が見られた。

これらの結果から、運動トレーニングによる運動時の呼吸困難感覚の鈍化( $\dot{V}_E$ 閾値上昇)の要因として末梢化学受容器の関与は少なく、大部分は、何らかの運動、スポーツ、トレーニングを始めた時に感ぜず呼吸困難感覚体験の蓄積が引き金となつてもたらされる一種の順応現象であらうと推測された。

## 謝 辞

本研究の一部は科学研究費補助金（研究課題番号08670078）によって行われた。

## 文 献

1. MIHEVIC, PM: Sensory cues for perceived exertion: a review. *Med. Sci. Sports Exerc.* **13**, 150-163, 1981
2. 近藤哲理：運動と呼吸困難感。「呼吸-運動に対する応答とトレーニング効果」（宮村実晴他編），NAP社，60-69，1998
3. TAKANO, N, INAISHI, S & ZHANG, Y: Individual differences in breathlessness during exercise, as related to ventilatory chemosensitivities in humans. *J. Physiol. (Lond)*, **499**, 843-848, 1997
4. BYRNE-QUINN, E, WEIL, JV, SODAL, IE, et al.: Ventilatory control in the athlete. *J. Appl. Physiol.* **30**, 91-98, 1971
5. SCOGGIN, CH, DOEKEL, RD, KRYGER, MH et al.: Familial aspects of decreased hypoxic drive in endurance athletes. *J. Appl. Physiol.* **44**, 464-468, 1978
6. SHAW, RA, SCHONFELD, SA & WHITCOMB, ME: Progressive and transient hypoxic ventilatory drive tests in healthy subjects. *Am. Rev. Resp. Dis.* **126**, 37-40, 1982
7. BORG, G: Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exerc.* **14**, 377-381, 1982
8. WRIGHT, GW & FILLEY, GF: Pulmonary fibrosis and respiratory function. *Am. J. Med.* **10**, 642-661, 1951
9. 西田修実, 神辺真之, 吉見達也他: "健康者"の肺機能とその予測式. *臨床病理***24**, 833-836, 1976
10. MAHLER, DA, MORITZ, ED & LOKE, J: Ventilatory responses at rest and during exercise in marathon runners. *J. Appl. Physiol.* **52**, 388-392, 1982
11. MARTIN, BJ, WEIL, JV, SPARKS, KE et al.: Exercise ventilation correlates positively with ventilatory chemoresponsiveness. *J. Appl. Physiol.* **45**, 557-564, 1978
12. WILSON, RC & JONES, PW: Influence of prior ventilatory experience on the estimation of breathlessness during exercise. *Clin. Sci.* **78**, 149-153, 1990
13. WHIPP, BJ: Peripheral chemoreceptor control of exercise hyperpnea in humans. *Med. Sci. Sports Exerc.* **26**, 337-347, 1994
14. WARD, SA & WHIPP, BJ: Effects of peripheral and central chemoreflex activation on the isopnoeic rating of breathing in exercising humans. *J. Physiol. (Lond)*, **411**, 27-43, 1989