

## 第10章 運動処方とトレーニング

### 1 トレーニングの原理

#### (1) トレーニングの目的（健康づくりかパフォーマンスか）

「運動処方」という概念は、アメリカのクラウスとラーブ<sup>3)</sup>が「運動不足病 (hypo-kinetic disease)」を記し、その中で「投薬処方箋 (drug prescription)」に準じた言葉として「運動処方 (exercise guideline)」を用いたことに始まる。その最も有名な運動処方として K.H. クーパーの「エアロビクス理論」がある。我国では、各官公庁、地方自治体等で、男女や年齢、実施種目や体力レベルに応じた運動処方が数多く提示され、最近では、国立健康・栄養研究所による「健康づくりのための運動指針 2006～生活習慣病予防のために～」が最新の基準<sup>1)</sup>として提示されている。メタボリック・シンドロームに代表される生活習慣病の予防と改善の「健康づくり」のためには、「食事・運動・休養」の生活習慣改善が主要なものとなる。

一方、競技スポーツにおける「トレーニング」では、パフォーマンスの向上を目的とした運動スキルの継続的発現とそれを支えるエネルギー補填・供給系の改善を目的とした理論と実践の体系で、これまで長期にわたる研究成果の蓄積と検証が数多くなされている。また、健康づくりを目的とした運動処方においても、一定水準の運動能力の改善とその維持をはかることが基本となっており、持久的能力や筋力向上などにかかわるトレーニングの理論と実践は「ガイドライン」として極めて重要である。本章でもそれらの主要なトレーニング方法について概説している。

#### (2) 目的に応じたトレーニングの原理

アスリートのトレーニングでは競技力の向上が主要な課題であるが、健康づくりのための運動処方においては、第一義的には身体の形態や機能の一定水準への改善が求められる。

健康づくりのためにはウォーキングやジョギングが広く実施されているが、高齢者や肥満（過体重）者での運動実施は筋組織や関節・靭帯組織にストレスを与え、かえって運動障害を誘発することがある。そ高齢者や肥満者では日常生活動作（ADL：activity of daily living）が可能な水準への復帰を含め、軽体操やヨガ、ステップ運動や水中ウォーキングなどが用いられる。

肥満や過体重の改善のためには「運動・食事・睡眠」のトータルな生活改善プログラムが求められ、この要素はアスリートでも同様に重要である。一定期間反復する運動実施や食事内容を考慮した生活リズムの改善が糖や脂質代謝のパターンを変容させることはよく知られている。また、形態や機能の一定の改善後は、その水準を「維持」するのか「向上」

を目指すのかで以降の運動実施プログラムは異なってくる。肥満や過体重、糖や脂質代謝異常の改善のための運動や食事プログラムの継続的实施では一定の健康レベル（日常生活動作の改善や体重減少を含む）の「維持」が主要な課題である。例えば、毎日 1 時間程度のウォーキングやゆっくりとしたランニングなどの全身的運動が求められる。

一方、ロードレースへ参加する場合は、一定レベル以上の強度で運動を継続できる体力の向上が求められ、ボールゲームでは、前提となるスポーツスキルの獲得とともにスピードやパワーの改善が課題となる。レースやゲームへの参加は「成績向上」を目指すこととなるが、その目標は本人が求める「競技レベル」によって異なってくる。

## 2 トレーニングとパフォーマンス

### (1) パフォーマンスを決定するもの

トレーニングの目的はパフォーマンス（競技成績）の向上にあるが、何がパフォーマンスを決定しているのかについてはさまざまな論議がある。かつて運動生理学の権威・猪飼道夫<sup>6)</sup>は、 $P=C \int E(M)$ という回帰式モデルで、パフォーマンス (P) がサイバネティックス (C) の制御系と総体としてのエネルギー供給系 (E) 及び意欲 (M) によって決定される概念を提示した。山崎<sup>14)</sup>は、猪飼の概念に基づき、 $P=s_1 \times r_1 + s_2 \times r_2 + s_3 \times r_3 + \dots + b$  (s はスキル, r はエネルギー資源, b は「残差」でその他の要因) という重回帰式モデルを示し、ハイパワー系 (ATP-CP 系) やミドルパワー系 (解糖系), ローパワー系 (有酸素系) から構成されるエネルギー供給系が、それぞれに応じたスキルと密接に関連してパフォーマンスを決定するモデルを提示した。しかし、この3つのエネルギー供給系は運動の継続的实施によって個別に変動(減少)することから、全く同一の運動スキルに依存しては、最適なパフォーマンス発揮は実現できない。そのため東欧圏のスポーツ科学の概念である「ダイナミックステレオタイプ: 力動的常同性」<sup>5)</sup>についてのモデル(図 10-1)を示し、条件変動に応じて無意識的に動作系を選択して適切に対応する運動習熟の形成について論じた。

[刺激] → [A] → [B] → [C] → [D] → [結果]

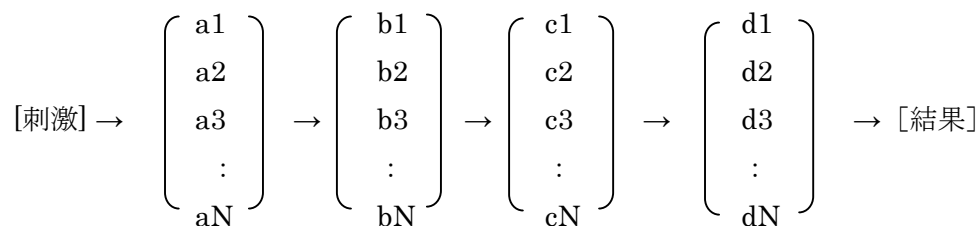


図 10-1 ステレオタイプ：紋切型（上）とダイナミック・ステレオタイプ（下）のマトリクスモデル（山崎：1986年）

例えば、投動作であれば、「テイクバック → フォアワードスイング → リリース → フォロースロー」という一連の動作系で、疲労によりテイクバック（a1）からフォアワードスイングへの移行時に「外乱」が生じたとしても、「無意識的な修正（b2）」により適切なリリース（c1）からフォロースロー（d1）を実現することが可能となる。ステレオタイプではこの「外乱への対応幅」がないために運動経過に破綻をきたす可能性がある。

以上の点から、エネルギー供給系とスキル系との関連をはかりながらトレーニングを実施することが重要である。そこで綿引<sup>15)</sup>は、「コーディネーション」という旧東独の概念から、テクニクトレーニングと筋力トレーニングを結びつける重要性を指摘している。

## （2）エネルギー供給系とスキル系の関連

トレーニングは刻々と変化する運動経過の中で、求められる様々な課題に応じて実施される。フルマラソンでの30km以降のグリコーゲン枯渇に対応したピッチ走法への切り替えなどはその典型であり、その時点のエネルギー供給レベルの低下に応じた適切なスキルの選択と発現が求められる。

エネルギー供給系とスキル系の関連についてのモデルを示すと図10-2の通りになる。

第1項マトリクス内の[PCr]はATP-CP系の、[Gly]は解糖系の、[Mtc]は有酸素系（ミトコンドリア系）のある時点での供給レベル（1～N）を示し、第2項はエネルギー供給系の総体に対応したダイナミックステレオタイプ内の適切な「スキルモード」を示す。

$$P = \left\{ \begin{matrix} \text{PCr1} \\ \text{PCr2} \\ \text{PCr3} \\ \vdots \\ \text{PCrN} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{Gly1} \\ \text{Gly2} \\ \text{Gly3} \\ \vdots \\ \text{GlyN} \end{matrix} + \begin{matrix} \text{Mtc1} \\ \text{Mtc2} \\ \text{Mtc3} \\ \vdots \\ \text{MtcN} \end{matrix} \right\} \times \begin{matrix} \text{Sm } \alpha \\ \text{Sm } \beta \\ \text{Sm } \gamma \\ \vdots \\ \text{Sm } \omega \end{matrix} + b$$

図 10-2 エネルギー系とスキル系のマトリクスモデル（bは残差でその他の決定因子）

例えば10000mレース後半で、ATP-CP系や解糖系の供給レベルが低下（PCr2やGly3のレベルへ）する。これに対して、有酸素系（Mtc）はあまり変動しないが、総体としてのエネルギー供給系の様相（モード）は異なってくる。このモデルは、エネルギー供給系のモード変容に対応し、スキルを「キック力を軽減したハイピッチランニング」に切り替え（Sm $\alpha$ からSm $\beta$ へ：ピッチや関節バネ係数などのその時点での最適値への切り替え）、ペースを維持して後半も適切に対応する可能性を示唆する。

### 3 トレーニングの原則

運動機能の改善・向上を目指す運動処方や競技成績向上を目指すスポーツトレーニングにおいては、旧ソ連圏で定義されたトレーニングの原則がよく適用される。1960年代<sup>1)5)</sup>には、「全面性の原則」「意識性の原則」「漸進性の原則」「反復性の原則」「視覚教育の原則」「個別性の原則」と「諸原則の相互関連」が提起され、ボンパは<sup>4)</sup>は、「積極性・意識性の原則」「全面性の原則」「専門化の原則」「個別性の原則」「多様性の原則」「モデル化の原則」「漸増負荷性の原則」を示した。いずれも重要な原則であるが、ここでは相互の関連から以下の3群に分類する。図10-3に著名なヤコブレフらの機能水準の回復過程(ATPやフォスファクレアチン、筋グリコーゲンなどの変化)のシエマを示す。

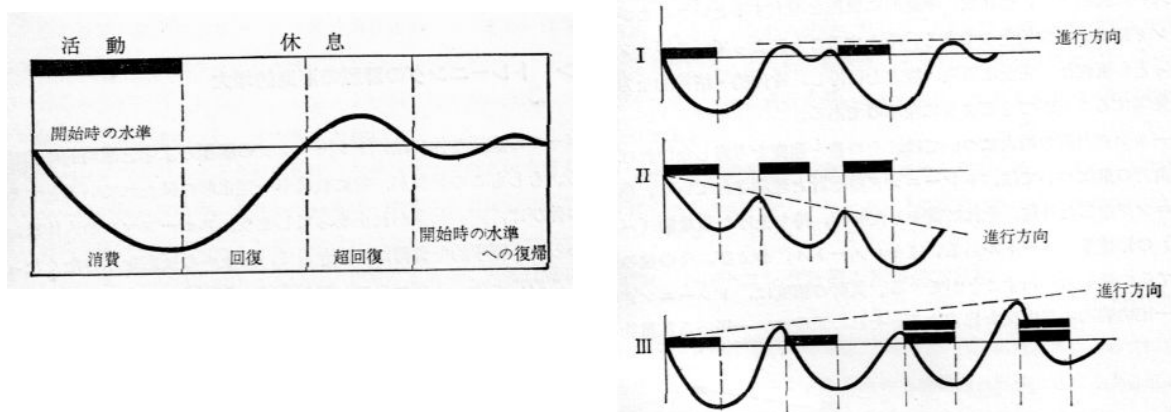


図10-3 ヤコブレフらによる回復過程のシエマ(文献1, 文献5より)

#### (1) 全面性と個別性

「全面性の原則」は特に子どものスポーツ指導において強調される。岡野<sup>7)</sup>は、成長期の筋線維の機能発達において速筋系の発達が身長急成長期以降におとずれ、「ゴールデンエイジ」と表現される9~12歳期は「即座の習得」が可能であるため、動きや技術、あらゆるスキルの習得が可能であると指摘している。

また、子どもの生物学的発達段階(成熟度)は暦年齢に比べ3歳前後の差があり、暦年齢が同じ14歳であっても、そこには大きな個人差が存在する。このため筋組成(速筋系筋線維と遅筋系筋線維の比率)や発達段階(身長急成長期や遅筋遅筋系線維に対する速筋系線維の発達時期の遅れ)に応じた「個別性の原則」が重要である。子どもの発達段階を把握し、いつどのような内容で機能向上をはかるのかという適時性も重要である。

また、様々な条件下でトレーニングを実施することは動作系の対応幅を改善し運動習熟の完成を進めるが、どのトレーニング課題の組合せが最も適切かという点は「個別性」の問題に帰する。最近話題のクロストレーニングは専門種目以外のトレーニング課題で専門種目のパフォーマンスを改善することを狙ったもので、まさに全面性と個別性の原則の関

連の典型である。

## (2) 継続性と漸進性

トレーニング実施にともないエネルギー生産性が向上するがそれには一定の期間が必要である。筋線維の肥大や毛細血管の増加による筋持久性の向上も同様であり、「継続性の原則」は計画的トレーニングの根本原則である。

一過性の運動負荷はその後の機能低下（いわゆる疲労）をまねき、食事摂取による筋内酵素やグリコーゲン、筋細胞の合成などにより超過回復効果が得られるが、回復過程の限界以上の「強度 (intensity)」「期間 (duration)」「頻度 (frequency)」でトレーニングを繰り返すことは運動障害やいわゆるオーバートレーニングの発生をまねく。カルポビッチ<sup>2)</sup>の「クロトナのミロの寓話」は、持ち上げる子牛の4才になるまでの毎日の体重増加がミロの筋力増大と見事にマッチした組合せの妙を示している。

安定したスキルの獲得と発現を考へても過大な負荷でのトレーニング実施は好ましくない。初期段階での過大なトレーニング負荷ではスキルの安定した獲得は望めず、結果としてスキル発揮を前提としたエネルギー供給系の改善が図られない。安定したスキルの反復によりエネルギー供給系が改善されることから、「漸進性」を基本とし「継続性」を可能とするトレーニング計画が望まれる。

## (3) 意識性と感覚性

パフォーマンスの改善はトレーニング課題の「目的と方法の一致」という「意識性の原則」により効率的に実現される。例えば長距離走のトレーニングを考えたとき、インターバルトレーニングは現実の競技形式には存在しない特異な方法である。有酸素系のディスタンストレーニングもレースでの疾走速度とは著しく異なっているが、いずれも長距離走のパフォーマンス改善の優れた方法として広く採用されている。インターバルトレーニング急走時の至適速度は、「再利用（再処理）可能な範囲内での乳酸生成」であり、ディスタンストレーニングでの至適速度は2mmol/L以下での有酸素系能力の改善をはかるものと理解すれば、「目的と方法の一致」は実現される。

また運動の実現には、「言語的・意識的調整」と「感覚的調整」の両者が存在する。動作の発現には、関節角度変化の言語的・意識的調整（例えば“肘関節を0.05秒間で180度から85度まで屈曲する”）だけではなく、感覚的調整（“グイーンと屈曲する”や“グンと屈曲する”）も重要な役割を果たすことを理解すべきである。この感覚的調整について、川人<sup>9)</sup>は、大脳皮質運動野から出力される運動指令が「四肢の変位」ではなく「力の発生」に関連する「トルクとしての運動指令」であることを指摘し、山崎<sup>14)</sup>は、運動実施時の「言語的・意図的成分（記述的尺度）」と「感覚的・随意的成分（操作的尺度）」との相互関連の重要性を指摘した。

#### 4 トレーニング開始前の体力測定と運動強度の指標

健康づくりのための運動処方時には通常「メディカル・チェック」が行われる。その目的は、内科的や整形外科的な運動障害の予防と個人の身体的・精神的な特徴や健康状態を把握し適切な運動実施のガイドラインを作成することにある。

トレーニング開始前に形態や機能の測定を行い定期的にそれらの変化を検討することは、トレーニングの進捗状況や問題点のモニタリングを可能とし、トレーニングの課題、質や量の変更・調整、健康管理や食事内容の変更、ピーキングやテーパリングなどのコンディショニングの管理に重要な役割を果たしている。

国立スポーツ科学センター (JISS) におけるトータルスポーツクリニック (TSC) の「チェックとサポート」について、川原<sup>10)</sup>は、a.メディカル、b.フィットネス (身体資源系と身体機能系)、c.スキル、d.栄養、e.心理、f.戦略・戦術、g.用具、からなるシステムを示し、競技力向上のためにはこれらの要素が重要であることを示唆した。

トレーニングを行う際には、「体力レベルに応じた運動強度」が最も重要である。運動強度の推定には下記の指標がある。

##### (1) 酸素摂取水準 (%VO<sub>2</sub>max)

全身持久力の指標としての体重あたりの最大酸素摂取量 (ml/kg/min.) の測定は、呼気ガス分析から得られる「直接法」と幾つかのノモグラムを用いた「間接法」とがある。酸素摂取水準 (%VO<sub>2</sub>max) は、ある定常的運動時の酸素摂取量を最大酸素摂取量に対する百分率で示したものである。直接法による最大酸素摂取量の測定手順は、運動パターンがランニングであれ自転車エルゴメーターであれ「負荷漸増法」を採用するため、結果的に負荷強度が逆算され%VO<sub>2</sub>max が推定されることとなる。

##### (2) 心拍数 (HR)

運動実施時の心拍数は、ある範囲で運動強度と直線的な相関が得られることが知られており広く採用されている。最近では胸部トランスミッターからの信号を腕時計型レシーバーで受信・記録しコンピュータで解析する簡便な方法がある。

心拍数から運動強度を推定するためには%HRR という指標を用いる。これは、最高心拍数と安静時心拍数との差 (心拍数予備) に対する運動時心拍数の百分率で表したものである。すなわち、 $(HR_{work} - HR_{rest}) / (HR_{max} - HR_{rest})$  で、HR<sub>work</sub> は運動中の心拍数である。この際の最高心拍数 (HR<sub>max</sub>) の測定は、心拍数をモニタしながら負荷漸増法で最大値を得る直接法と年齢から計算式を用いて推定する間接法とがあり、一般には 220 から年齢を差し引いた推定最高心拍数 (220 - 年齢) が採用される。

ゆえに、50歳の男性で、安静時心拍数が60拍/分であれば、60%強度に相当する運動時心拍数102拍に安静時心拍数(60拍)を加えた162拍/分が目標心拍数となる。しかし、運動実施頻度の高い中高齢者では推定値以上の例も観察される場合がある。

### (3) 血中乳酸 (LT)

血中乳酸は、携帯可能で簡便に測定できる機器の普及によって運動処方やトレーニングの現場での運動強度の指針として採用されている。運動強度の増大にともないグリコーゲン（糖）の利用が高まり、血中乳酸濃度が急激に高まる点がある。そのポイントを乳酸性作業閾値 (LT) と言い、空気中の酸素を取り入れる能力 ( $O_2$  供給) に比べ、活動する筋の酸素消費が大きくなる変移点である。一般には、運動強度と血中乳酸との関係から作図法で求めるが、LT の  $2\text{mmol/L}$  や OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation) の  $4\text{mmol/L}$  を判定基準とする場合 (八田<sup>13)</sup>) もある。

したがって、健康づくりのためには、活動筋レベルでの酸素の供給と消費の収支バランスのとれた  $2\sim 4\text{mmol/L}$  の範囲内での運動実施が望まれる。

### (4) Mets (Metabolic Rates)

安静時における体重  $1\text{kg}$  あたりの酸素摂取量を  $3.5\text{ml/kg/分}$  とみなし、この値を 1Met とする。すなわち、運動時のカロリー消費量が安静時の何倍に相当するかを示すものが Mets で示す評価法である。この指標は体重に応じた運動強度を推定できることから、カロリー消費量と異なり個人間の比較が可能な基準となる。例えば、4Mets 相当 20 分間の速歩は、体重  $50\text{kg}$  の人で  $50\text{kcal}$ 、 $70\text{kg}$  の人で  $70\text{kcal}$  に相当する。田畑ら<sup>14)</sup>は、これに運動実施時間を乗じた「メッツ・時 (エクササイズ)」という単位を示し、健康づくりのための身体活動量を 3 メッツ以上の運動強度で週 23 メッツ・時以上とした。例えば、4Mets 強度の速歩 15 分は 1 メッツ・時に相当し、6Mets 強度のジョギング 10 分や 8Mets 強度のランニング 7~8 分と同等とされる。しかし、それ以上の強度でのランニング (例えば 20Mets : 3 分間で  $960\text{m}$ ) では、エネルギー供給に解糖系も関与してくるため、適切な強度の範囲内での適用が望ましい。

### (5) 自覚的運動強度 (Rate of Perceived Exertion : RPE)

酸素摂取量や心拍数を用いない運動強度の指標について、小野寺ら<sup>8)</sup>は、Borg の考案による 6 から 20 までのスケールについての日本語表示を検討した (表 10-1)。そして、このスケールが  $\%VO_2\text{max}$  や  $\%HR\text{max}$  とよく相関することを示した。スケールは 20 歳代の健康者で心拍数の 10 分の 1 に相当するとされ、継続的持久運動強度の優れた指針とされる。しかし、自覚的運動強度のスケール適用については、被検者の慣れや習熟が必要であることが指摘されている。糖尿病治療研究会<sup>12)</sup>では「強度の感じ方」に対応する「その他の感覚」として、例えば、RPE15 点の「きつい」は「続かない、やめたい、のどがかわく、がんばるのみ」という感覚と最大酸素摂取量の 80% 強度に対応し、RPE11 点の「やや楽である」は「いつまでも続く、充実感、汗がでる」で最大酸素摂取量の 60% 強度に対応しているとしている。

表 10-1 RPE scale の日本語表示（文献 8 の「C 案」による）

	Borg's scale	日本語による scale
20		
19	Very very hard	非常にきつい
18		
17	Very hard	かなりきつい
16		
15	Hard	きつい
14		
13	Somewhat hard	ややきつい
12		
11	Fairly light	楽である
10		
9	Very light	かなり楽である
8		
7	Very very light	非常に楽である
6		

<文献>

- 1) N. G. オズーリン, A. O. ロマノフ：岡本正巳訳, 『スポーツマン教科書』, 1966 年, 11-43 頁, ベースボール・マガジン社
- 2) P. V. カルポビッチ：猪飼道夫・石河利寛訳, 『運動の生理学』, 1963 年, 39-50 頁, ベースボール・マガジン社
- 3) H. クラウス, W. ラーブ：広田広一・石川且訳, 『運動不足病』, 1977 年, 134-150 頁, ベースボール・マガジン社
- 4) T. O. ボンパ：魚住廣信訳, 『スポーツトレーニング』, 1988 年, 27-55 頁, 161-311 頁, メディカル葵出版
- 5) H. H. ヤコブレフ, A. B. コロブコフ, C. B. ヤナニス：貝出繁之訳, 『ソ連スポーツトレーニングの理論と方法』, 1961 年, 20-37 頁, 不昧堂書店
- 6) 猪飼道夫編, 『身体運動の生理学』, 1975 年, 334-354 頁, 杏林書院
- 7) 岡野進編, 『陸上競技指導と栄養・スポーツ傷害』, 2006 年, 20-56 頁, 創文企画
- 8) 小野寺孝一・宮下充正, 『全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性』（「体育学研究」第 21 巻 4 号）, 1976 年 191-203 頁
- 9) 川人光男, 『運動軌道の形成 - 神経回路の計算機構』（In 伊藤正男・佐伯胖編「認識し行動する脳」）, 1988 年, 150-181 頁, 東京大学出版会
- 10) 川原貴, 『国立スポーツ科学センター トータルスポーツクリニック (TSC)』（「臨床スポーツ医学」第 22 巻 4 号）, 2005 年 349-353 頁, 文光堂



## スポーツ・運動生理学概論

- 11) 田畑泉, 『運動基準 2006 とエクササイズガイド 2006 概説』(In 運動所要量・運動指針策定検討会「普及定着ガイドブック」), 2006 年, 79-89 頁
- 12) 糖尿病治療研究会編, 『糖尿病運動療法のとびき』, 2001 年, 82 頁, 医歯薬出版株式会社
- 13) 八田秀雄, 『乳酸と運動生理・生化学』, 2009 年, 78-87 頁, 市村出版
- 14) 山崎健, 『スポーツの認識と習熟』(In 伊藤高弘・出原泰明・上野卓郎編「スポーツの自由と現代(下)」), 1986 年, 299-313 頁, 青木書店
- 15) 綿引勝美, 『コオーディネーションのトレーニング』, 1990 年, 10-30 頁, 新体育社