

Adaptations to Anaerobic Training Programs

無酸素性トレーニング プログラムへの適応

Duncan French, PhD

▶ 本章を終えると

- 有酸素性トレーニングの適応と、無酸素性トレーニング後の解剖学的・生理学的・パフォーマンスにおける適応の間の区別がつくようになる。
- 無酸素性トレーニングへの中枢神経および末梢神経の適応について考察することができる。
- 期分けされたプログラムの急性のトレーニング変数をどのように操作すると骨や筋、結合組織を変化させることができるか理解することができる。
- 無酸素性トレーニングに対する内分泌系の急性の応答と慢性的な効果について説明することができる。
- 無酸素性トレーニングに対する心臓血管系の急性の応答と慢性的な効果について説明することができる。
- オーバートレーニングとディトレーニングの原因、徴候、影響を認識することができる。
- 無酸素性トレーニングプログラムが筋力や筋持久力、パワー、柔軟性、運動パフォーマンスを促進させる可能性をどれほど持つかについて考察することができる。

著者は、本章の執筆にあたって多大な貢献をいただいた Nicholas A. Ratamess に対し、ここに感謝の意を表します。

高強度で間欠的なエクササイズという特徴を持つ**無酸素性トレーニング**は、有酸素性エネルギー機構が可能であるよりも速い速度でアデノシン三リン酸(ATP)を再合成することを必要とする。結果的に、エネルギー要求の差は、酸素がなくても働く**無酸素性エネルギー機構**によって埋め合わせられ、**無酸素性乳酸機構**(ホスファゲン、あるいはクレアチンリン酸系としても知られる)、**無酸素性非乳酸機構**(解糖系としても知られる)が含まれる。

無酸素性トレーニングへの応答として起こる長期的な適応は、トレーニングプログラムの特徴ととくに関連している。たとえば、筋力やパワー、筋肥大、筋持久力、運動スキル、コーディネーションの改善が、無酸素性トレーニングの様式に続く有用な適応として認識されている。これらには、レジスタンストレーニング、すなわちプライオメトリックドリル、スピードやアジリティ、インターバルトレーニングも含まれる。最終的には、有酸素性機構は、高強度の無酸素性運動における関与は限定的だが、低強度の運動中や休息時におけるエネルギー貯蔵の回復においては、重要な役割を果たしている(45)。

スプリントやプライオメトリックドリルなどのエクササイズは、ホスファゲン機構に負荷を与える。すなわち、それらは通常継続時間は10秒以下で、セット間(例:5~7分間)にはほぼ完全に回復することができるため、疲労を最小限にできる。継続時間がより長く、間欠的な無酸素性トレーニング、すなわち高強度のエクササイズ中により短い休息のインターバル(例:20~60秒)が入るような場合、主として解糖系でのエネルギー産生を用いる。高強度エクササイズと短い休息時間の組み合わせは、無酸素性トレーニングにおける重要な側面であると考えられ、これと同様に、競技選手は試合中にしばしば疲労条件下で最大に近いパフォーマンスが要求される。しかしながら、適切な無酸素性トレーニングは、パフォーマンスの成否を決定する生理学的適応を最適化するような方法でプログラムを作成し処方することが非常に重要である。競争的な種目においては、すべてのエネルギー機構の複雑な相互作用を必要とし、試合における全体的な代謝要求を満たすために、エネルギー機構のそれぞれがどのような割合で寄与するかが異なっていることが示されている(表5.1)。

無酸素性トレーニング後の身体的および生理学的

なさまざまな適応について多くの研究報告がなされ、これらの変化によって個々人は競技パフォーマンス水準の改善が可能となる(表5.2)。適応には、神経系、筋系、結合組織、内分泌系、心臓血管系における変化が含まれる。その変化は、トレーニングの初期(例:1~4週間)から、数年間にわたって継続したトレーニング後に起こるものまで、さまざまな期間にわたって起こる。これまでのほとんどの研究は4~24週間までの、トレーニングの初期から中期にわたる範囲について行われてきた。身体の個々のシステムが無酸素性代謝を使用して身体活動にどのように反応するかを理解することにより、ストレングス&コンディショニング専門職は、トレーニングプログラムを計画することができるようになり、効果を予測でき、個人の強みと弱みに効率的に影響を与えることができるようになる。

神経的な適応

多くの無酸素性トレーニング様式は、筋のスピードとパワーを強調しており、最大のパフォーマンスを発揮する(そして質の高いトレーニングを行う)には、最適な神経の動員ができるかどうか大きく左右される。無酸素性トレーニングは、脳の上位中枢から始まり個々の筋線維レベルにつながる神経筋系を通して適応を引き起こす可能性がある(図5.1)。神経的な適応は競技パフォーマンスを最適化するための基礎であり、最大の筋力とパワーを発揮するためには、神経の作用を拡大させることが重要である。神経の作用の拡大は、高強度の筋収縮時の主動筋(その動作やエクササイズを主に行う筋)の動員、発火頻度、放電のタイミングとパターンの向上を通して起こると考えられている(4,69,166,167,174)。それに加えて、長期的なトレーニングに伴って、抑制メカニズム(たとえばゴルジ腱器官によるもの)の低下も起こると考えられる(1,63)。これらの複雑なメカニズムがどのように共存しているかについて完全には解明されていないが、神経の適応は、骨格筋の構造的変化が起きる前に起こるのが典型であることがわかっている(167)。

中枢の適応

運動単位の活動の増大は、より高次の脳中枢、す

表5.1 スポーツによる主な代謝要求

競技	ホスファゲン系	解糖系	有酸素性機構
アメリカンフットボール	高	中	低
アーチェリー	高	低	—
野球	高	低	—
バスケットボール	高	中~高	低
ボクシング	高	高	中
飛込	高	低	—
フェンシング	高	中	—
フィールド種目	高	—	—
フィールドホッケー	高	中	中
ゴルフ	高	—	中
体操	高	中	—
アイスホッケー	高	中	中
ラクロス	高	中	中
マラソン	低	低	高
総合格闘技	高	高	中
パワーリフティング	高	低	—
漕艇	低	中	高
スキー			
クロスカンントリー	低	低	高
ダウンヒル	高	高	中
サッカー	高	中	中
ストロングマン	高	中~高	低
水泳			
短距離	高	中	—
長距離	低	中	高
テニス	高	中	低
トラック種目			
スプリント	高	中	—
中距離	高	高	中
長距離	—	中	高
超長距離	—	—	高
バレーボール	高	中	—
ウェイトリフティング	高	高	中
レスリング	高	中	低

注意: すべての活動において、全種類の代謝がある程度は関与している。

なわち最大レベルの筋力および筋パワーを発揮しようとする意図によって運動皮質の活動が高まることとその最初となる(41)。力発揮のレベルが高まるにつれて、あるいは新しい動作やエクササイズを学んでいるとき、神経筋機能の必要性も増すので、こ

れを支えるために運動皮質の活動が増大する。無酸素性のトレーニング法への適応は、とくに下行性の皮質脊髄路に沿った脊髄における実質的な神経的变化を反映したものである(3)。実際に、無酸素性トレーニングの方法を用いた後、力発揮のレベルの向

表5.2 レジスタンストレーニングへの生理学的適応

要素	レジスタンストレーニングに対する適応
パフォーマンス	
筋力	増加
筋持久力	高パワー出力時に増加
有酸素性パワー	変化なし、またはやや増加
無酸素性パワー	増加
力の立ち上がり速度(RFD)	増加
垂直跳び	能力の向上
スプリントスピード	向上
筋線維	
線維の断面積	増加
毛細血管密度	変化なし、または減少
ミトコンドリア密度	減少
筋原線維密度	変化なし
筋原線維量	増加
細胞質密度	増加
ミオシン重鎖タンパク質	増加
酵素活性	
クレアチンホスホキナーゼ	増加
ミオキナーゼ	増加
ホスホフルクトキナーゼ	増加
乳酸脱水素酵素	変化なし、または可変的
ナトリウム・カリウムATPアーゼ	増加
代謝エネルギー貯蔵	
ATPの貯蔵	増加
クレアチンリン酸の貯蔵	増加
グリコーゲンの貯蔵	増加
トリグリセリドの貯蔵	増加の可能性
結合組織	
靭帯の強度	増加の可能性
腱の強度	増加の可能性
コラーゲン含有量	増加の可能性
骨密度	変化なし、または増加
身体組成	
体脂肪率	減少
除脂肪体重	増加

ATP=アデノシン三リン酸。

上を支える手段として速筋運動単位の動員が増加していることが示された(151)。これを、トレーニングしていない人に比べてみると、(トレーニングしていない人は)運動単位を最大に動員する能力が限られ、とくに速筋の運動単位において著しいことが示された(4)。トレーニングを積んでいない人や、ケガからのリハビリテーション中の人では、電気刺激のほうが、随意性の活動に比べて成果を得る効果が高いことが示されている。この反応は、特定の生

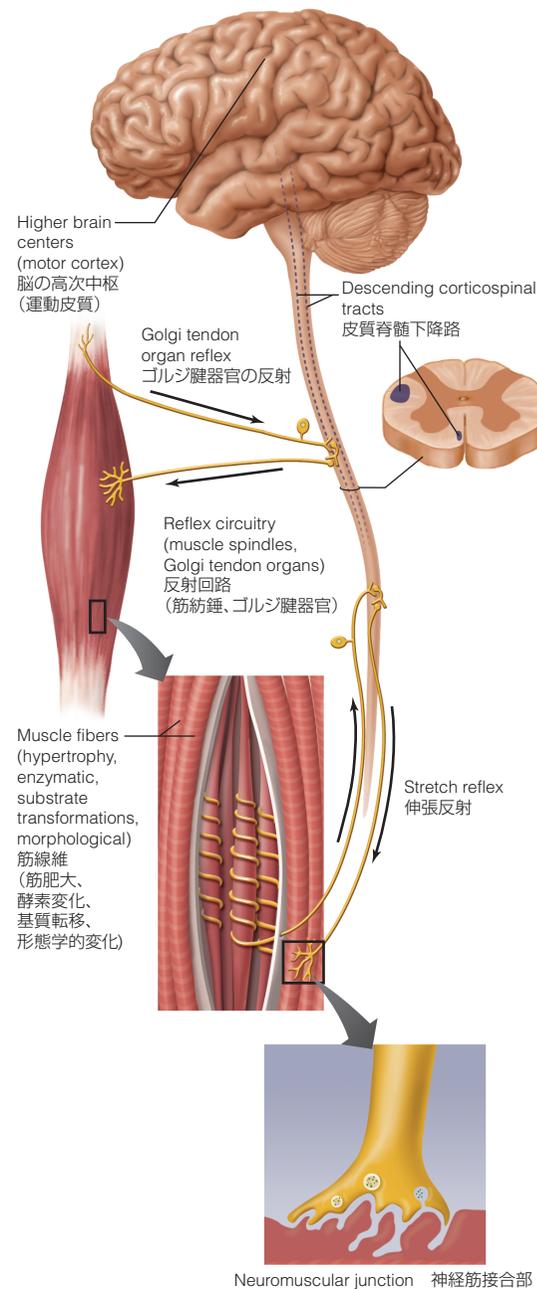


図5.1 神経筋系において適応する可能性のある部位

理学的条件において利用可能な筋線維のすべてを活動させることが不可能な場合があることを示している。実際に、トレーニングを積んでいない人は最大努力中にわずか71%の筋組織しか活動していないことが研究によって示されている(7)。

運動単位の適応

神経筋系の機能単位は**運動単位**である。運動単位はα運動神経とそれが支配する筋線維からなり、支

配する筋線維の数は、繊細な動きを起こす小さな筋では10本未満、強い力を発揮する体幹、四肢の大きな筋では100本を超えるなど幅がある。最大筋力を発揮するには、筋内で使うことのできるすべての運動単位を活性化しなければならない。運動単位の発火頻度の変化もまた、力を生み出す能力に影響を与える。発火頻度の増加を伴う力の増加は、複数の活動電位が一時的に重なる連続的な筋収縮の重合(summation)を反映する。運動単位の発火頻度が増加するとともに、筋線維は活動電位によって収縮した後、完全に弛緩する時間がないまま次の活動電位によって収縮することで持続的に活動する。重なり合った活動電位の重合は、収縮における筋力増加として現れる(1)。これら発火頻度は、高重量のレジスタンストレーニング後に適応メカニズムが改善することを示している(166)。主動筋の最大筋力とパワーの増大は、(a) 動員の増加、(b) 発火頻度の増加、(c) 神経的な発火の同期の向上により複数の筋が強調して活動する(173)、(d) もしくはこれらの要因の組み合わせによって起こる。

一般に運動単位の動員と非動員の順序は**サイズの原理**に支配される(図5.2)。これは運動単位の単収縮力と動員の閾値の関係を示すものである(166, 167)。この原理に従い、動員の閾値と発火頻度にし

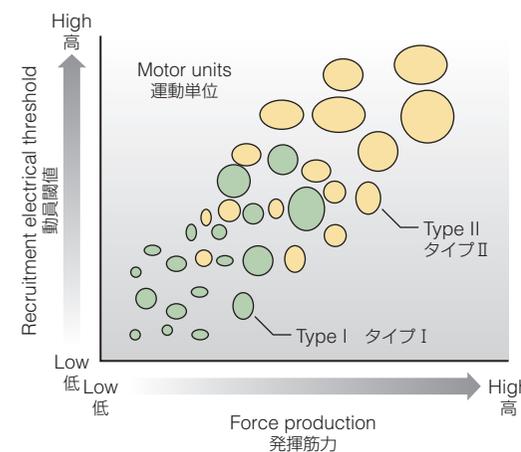


図5.2 タイプI(単収縮の遅い線維:ST)とタイプII(単収縮の速い線維:FT)線維を含む運動単位を「サイズ」要因ごとに並べた。低い閾値の運動単位が最初に動員されるが、これらは高い閾値の運動単位に比べ力発揮能力では劣る。高い閾値の運動単位を動員するためには、通常はそれ以前に低い閾値の運動単位が使われているはずである。これには例外があり、爆発的でバリスティックな収縮に関しては、選択的に高閾値の運動単位が動員され、より大きな力とパワーに到達する。

たがって小さな運動単位から動員される。これにより、主動筋が随意的に発揮する力に幅が生まれる。多くの筋には、タイプIとタイプIIの筋線維が含まれるため、発揮される力は非常に低いレベルから最大レベルまでの範囲にわたる。動員順序が高い運動単位は、大きな力、スピード、パワーを生み出すために主に使用される。力発揮の需要が増加するにつれて、低域値の運動単位から高閾値の運動単位の順に動員されていく。したがって、高重量のレジスタンストレーニングでは、漸進的に重くなる負荷を挙上するのに高い筋力を発揮するために運動単位のほとんどすべてが動員されるため、すべての筋線維は大きくなる(77,183,184)。最大筋力の発揮には、運動単位(閾値が高い運動単位を含む)を最大限に動員するだけでなく、運動単位を非常に高い発火頻度で活動させ、運動単位の活動の重合を促進し、収縮する活動の度合いを増加させる必要がある。ある運動単位がいったん動員されると、再動員に必要な賦活はより低い(低い賦活でも再動員することができる)(69)。この(賦活レベルの)低下により、重要な波及効果が考えられる。すなわち筋力とパワーのトレーニングにおいて、高閾値の運動単位がいったん動員されると、それより低い動員によって容易に再活性化できる可能性があるということである。

サイズの原理には例外がいくつか存在する。ある状況下では、アスリートは、低い閾値の運動単位を抑制し、高い閾値の運動単位を活性化させることができる(148,189)。この**選択的動員**は、筋のパワー発揮のために力の産生が非常に早いスピードが求められるときに重要である。実際に、力発揮の方向の急激な転換やバリスティックな筋収縮の両方——オリンピックリフティングやプライオメトリックス、スピードトレーニング、パワートレーニング、アジリティトレーニングの動作で見られるように——において、速筋運動単位の優先的動員が起こることが明らかになっている(148,189)。このような動員順序の多様性は、力発揮速度が成否の鍵を握る高速度のトレーニング様式に有用である。たとえば、選手が速筋運動単位の活性化の前に遅筋運動単位をすべて動員しなければならないとしたら、垂直跳びの測定において最大跳躍高に到達するために十分な角速度やパワーを生み出すことは難しいだろう。反動動作(しゃがみ込む動作)とそれに続く離地動作の間

Adaptations to Aerobic Endurance Training Programs

有酸素性持久カトレニングプログラムに対する適応

Ann Swank, PhD, and Carwyn Sharp, PhD

▶ 本章を終えると

- 有酸素性運動における心臓血管系、呼吸器系の短期的応答について説明できるようになる。
- 心臓血管系、呼吸器系、神経系、筋、骨、結合組織、内分泌系の生理学的特性に対する長期的な有酸素性持久カトレニングの影響について理解できるようになる。
- 有酸素性持久カトレニングと、身体のすべての系の生理学的反応の最適化の間の関係を理解できる。
- 短期および長期の有酸素性運動への適応に影響する、高度や性差、血液ドーピング、ディトレニングを含む外部要因について説明できる。
- オーバートレーニングの原因、徴候、症状、影響を理解できる。

ストレングス&コンディショニング専門家が効果的なエクササイズトレーニングを提供するためには、短期間（急性）および長期間（慢性）の有酸素性運動に対する全身反応の理解が必要である。本章では、有酸素性運動に対する心臓血管系と呼吸器系の短期的応答、そしてそれらの応答に関わる生理学的要素の有効な測定方法を説明する。また、有酸素性持久カトレニングによって起こる長期的な適応についても触れる。本章には、オーバートレーニングの有害な影響とともに、高度（高地）やデイトレーニング、血液ドーピングなど有酸素性持久カトレニングに影響を与える外的要因についての議論も含まれている。

有酸素性運動に対する短期的応答

1回の有酸素性運動を行うことで、身体、中でも心臓血管系や呼吸器系、筋系に大きな代謝要求が起こる（第5章の表5.1を参照）。さらに、長期的なエクササイズトレーニングに伴ってこのような運動ストレスに繰り返しさらされると、身体システムすべての機能と応答に多くの変化をもたらされる。有酸素性運動の短期的作用の基礎知識が、その後解説する有酸素性運動の長期的な適応の理解の基礎になる。

心臓血管系の応答

有酸素性運動中の心臓血管系の主な機能は、酸素やその他の栄養素を働いている筋へ運搬し、代謝産物や老廃物を運び去ることである。この項では心臓血管系の急性応答のメカニズムについて述べる。

心拍出量

心拍出量は、1分間あたりに心臓から送り出される血液の総量（ l ：リットル）であり、1回の収縮により送り出される血液量（**1回拍出量**）と拍出の頻度（**心拍数**）によって決まる。

$$\dot{Q} = 1 \text{ 回拍出量} \times \text{心拍数} \quad (6.1)$$

\dot{Q} は心拍出量 1回拍出量は1拍あたりに送り出される血液量（ml：ミリリットル）であり、心拍数は

1分間当たりの拍数（収縮数）で測定される（46）。

心拍出量は安静状態から有酸素性運動の定常状態への移行する過程で、最初のうちは急速に増加し、その後、緩やかに増加してプラトー（高原状態）に達する。最大運動では、心拍出量は安静時（約5L/分）の約4倍の20～22L/分まで増加する。1回拍出量（次項を参照）は運動開始とともに上昇を始め、酸素消費量はその人の最大酸素摂取量の約40～50%になるまで上昇を続ける（4）。このレベルで1回拍出量はプラトーになり始める。座業中心の（座っていることの多い）大学生男子では、最大1回拍出量が平均100～120ml/拍、同年代の女子では、体格の平均が小さいことから、それより約25%少ない（99）。トレーニングがこのような応答に及ぼす影響は顕著であり、大学生男子において最大1回拍出量が150～160ml/拍、同年代の女子では約100～110ml/拍に増加するのを観察した（99）。

1回拍出量

1回拍出量は、主に2つの生理学的メカニズムによって調節されている。1つは血液充滿時（拡張期）の終わりに左心室が送り出すことができる血液の量（**拡張終期容量**）、もう1つは交感神経系のホルモン（カテコールアミン）であるエピネフリン、ノルエピネフリンの作用である。これらのホルモンにより心室はより強く収縮し、収縮期に送り出される血液量が増加する。

有酸素性運動時には、静脈収縮（交感神経系の活性化によって増加が引き起こされる）（6）や筋ポンプ（筋収縮と一方向性の静脈弁が組み合わさることで運動中に心臓へ血液を「押す」）（44）、呼吸ポンプ（呼吸頻度と一回換気量が増加する）（93）が組み合わさることで**静脈還流量**（心臓に戻る血液の量）が増加する。これらすべてが心臓の各心室心房および胸部大静脈の圧力を変化させ、静脈還流の増加を促進する（93）ため、拡張終期容量が大幅に増加する。これによって心臓の体積が増加し、心筋線維が安静時より引き伸ばされ、収縮力が強まることになる（これはゴムバンドを大きく引き伸ばすとより大きく縮むことと類似している）。収縮により血液を駆出する力が増大し、より多くの血液が心臓から押し出される（46）。この原理は**フランク・スターリング機構**と呼ばれており（訳注：スターリングの心

どのようにして最大心拍数を推定できるか？

最大心拍数を簡単に推定する方法は、220から年齢を引くことである。たとえば47歳の人の推定最大心拍数は、

$$220 - 47 \text{ (年齢)} = 173 \text{ 拍/分}$$

である。この推定値の標準偏差は±10～12拍/分であり、この場合、実際の最大心拍数は161～185拍/分の範囲内と推定される。運動時心拍数の計算は第20章を参照のこと。より最近のメタアナリシスでは、健康な成人で（ $208 - 0.7 \times \text{年齢}$ ）という式を用いることでより正確に最大心拍数を予測できると判明している（123）。

臓の法則としても知られる)、「収縮力は心筋壁の線維の伸張度に比例する」と説明される。心臓から駆出される血液の増加は、**駆出率**（拡張終期容量のうち、心臓から駆出される血液量）の増加によって特徴づけられる（32,46）。運動開始時、または運動開始を予想するだけでも、交感神経の刺激によって心筋の収縮性が高まり、その結果、1回拍出量が増加する（32,91）。

心拍数

運動の開始直前や開始時には、交感神経系の反射刺激によって心拍数が増加する。有酸素性運動中の心拍数は、強度に比例して増加する（32）。心拍数の上昇の割合や、実際の心拍数の応答、到達する最大心拍数は、個人の体力レベルや年齢などの個別の特徴と、運動の作業負荷も関係する。

酸素摂取量

酸素摂取量とは、体内の組織で消費される酸素量を指す。短期的な（急性の）有酸素性運動中、活動している筋で必要とする酸素量が増加し、その増加は、活動している筋量、代謝効率、運動強度が直接関係する。有酸素性運動において、仕事量が大きく、多くの筋が動員される場合、総酸素摂取量が大きくなる可能性が高い。代謝効率の上昇によって酸素摂取量の増加が可能となり、とくに最大運動時において可能となる。

最大酸素摂取量は、全身の細胞レベルで利用することができる酸素量の最大値を指す。最大酸素摂取量は身体のコンドィショニングとの相関が高いことが明らかになっており、心肺系体力の指標として最も広く使われている（32）。酸素の利用には、主に心臓と循環系の酸素運搬能力と身体組織の酸素利用能力が関係している。安静時の酸素摂取量は体重1kg当たり、1分間当たり3.5ml（3.5ml/kg/分）と

推定されており、この値が**1代謝当量（MET）**として定義されている。健康な人の最大酸素摂取量は通常25～80ml/kg/分、あるいは7.1～22.9METで、年齢やコンディショニングレベルなどさまざまな生理学的条件によって決まる（46）。

酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）は心拍出量、酸素摂取量、動静脈酸素較差の関係を表す以下の式（**フィックの式**）から得られる。

$$\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times (\text{動静脈酸素較差}) \quad (6.2)$$

\dot{Q} は心拍出量（ml/分）を示し、**動静脈酸素較差**（動脈血と静脈血に含まれる酸素量の差）は血液100ml当たりの酸素量（ml）で表される。6.1の式を用いることで、以下に示す例のように酸素摂取量を計算することができる。

$$\dot{V}O_2 = \text{心拍数} \times 1 \text{ 回拍出量} \times \text{動静脈酸素較差}$$

$$\dot{V}O_2 = 72 \text{ 拍/分} \times \text{血液} 65 \text{ ml/拍} \times \text{酸素} 6 \text{ ml/血液} 100 \text{ ml} = 281 \text{ ml } O_2 / \text{分}$$

酸素摂取量を一般的な単位（ml/kg/分）で表すためには、この結果をその人の体重（kg）で割る。80kg（176ポンド）の競技選手の場合

$$\dot{V}O_2 = 281 \text{ ml } O_2 / \text{分} \div 80 \text{ kg}$$

$$\dot{V}O_2 = 3.5 \text{ ml/kg/分}$$

血圧

収縮期血圧は、心室収縮時（**収縮期**）に勢いよく送り出される血液が動脈壁に加える圧力を推定したもので、心拍数と組み合わせて心臓の酸素消費量（仕事量）を示すのに使われる。この心臓の仕事の推定

値は以下の式によって得られ、**圧-心拍数積**、もしくは**二重積 (ダブルプロダクト)**と呼ばれる。

$$\text{圧-心拍数積} = \text{心拍数} \times \text{収縮期血圧} \quad (6.3)$$

拡張期血圧は、血液が押し出されていないとき(拡張期)に動脈壁に加わる圧力を示す。拡張期血圧は末梢抵抗の指標となり、有酸素性運動中は血管が拡張するため、低下するだろう。体循環では、大動脈や動脈での血圧が最も高く、静脈に入ると血圧は急激に低下する。また、心臓からの拍出には拍動性があるので、動脈圧は収縮期レベルの120mmHgから拡張期レベルの80mmHgの間で変動する(おおよそその値)。体循環において血液が末梢へと流れると、血圧は徐々に落ち、右心房の大静脈の末端では約0mmHg(静脈圧)になる(46)。

心周期を通しての平均血圧を**平均動脈圧**という(式6.4)。平均動脈圧は、収縮期血圧と拡張期血圧の平均値ではない。通常、動脈圧は、心周期の中で収縮期血圧よりも拡張期血圧のレベルに近い時間が長いので、平均動脈圧は通常収縮期血圧と拡張期血圧の平均より低い値となる。

$$\text{平均動脈圧} = [(\text{収縮期血圧} - \text{拡張期血圧}) \div 3] + \text{拡張期血圧} \quad (6.4)$$

正常な安静時血圧は、一般に収縮期が110~139mmHg、拡張期が60~89mmHgの範囲とされる。通常、最大の有酸素性運動では、収縮期血圧が220~260mmHgまで上昇するが、拡張期血圧は安静時レベルのままか、わずかに低下する(46,91)。

局所循環の調節

血流に対する抵抗は、血液粘性の増加と血管の長さの延長によっても増加する。しかし、ほとんどの状況において、これらの要因は、相対的に一定のままである。そのため、局所の血流を制御する主なメカニズムは、**血管の収縮および拡張**であると考えられる。

有酸素性運動中、活動している筋の血流は局所的な細動脈の拡張によって大幅に増大すると同時に、ほかの器官系への血流は細動脈の収縮によって減少する。安静時には、心臓から送り出される血液の15

~20%が骨格筋へと送られるが、激しい運動中は、心拍出量の最大90%の血液が骨格筋に送られることもある(32,91)。

▶ **短期間(急性)の有酸素性運動は、心拍出量、1回拍出量、心拍数、酸素摂取量、収縮期血圧、活動筋への血流量の増大と、拡張期血圧の低下をもたらす。**

呼吸器系の応答

有酸素性運動は、無酸素性のレジスタンストレーニングなどの他のタイプの運動と比べ、酸素摂取量と二酸化炭素の生産量に最も大きな影響を与える。有酸素性運動中、肺胞内のガス濃度を適切なレベルに維持するため、組織に送られる酸素、肺に送り返される二酸化炭素、そして**分時換気量**(1分間あたりに呼吸される空気量)が大幅に増加する(91)。

有酸素性運動中には、呼吸の深さ、頻度、もしくはその両方の増加によって、分時換気量が増加する。健康な若い成人の呼吸数は、安静時の12~15回/分から、強度の高い運動中には35~45回/分まで上昇する。**1回換気量**(1回の呼吸で吸い込まれ、吐き出される空気量)は、安静時の0.4~1Lから、3L以上に増加する。その結果、分時換気量は安静時の15~25倍の90~150L/分に増加する(32,46,91)。

低~中程度の強度の有酸素性運動中は、酸素摂取量と二酸化炭素生産量の両方の増加に伴って換気量が増加する。この場合の換気量増加は、主に1回換気量の増加による。酸素摂取量に対する分時換気量の比率を**換気当量**と呼び、1Lの酸素摂取に対して20~25L程度の換気が行われている。より高強度の運動(トレーニングされていない人で最大酸素摂取量の45~65%、トレーニングを積んだ競技選手で最大酸素摂取量の70~90%を超える強度)では、呼吸頻度の増加がより大きな役割を果たす。このレベルでは、分時換気量は酸素摂取量の増加と比例して増加するのではなく、乳酸の急激な増加と並行して増加が始まる。このような高強度の運動では、換気当量は35~40Lまで増加する場合もある(32,91)。

吸気によって、空気はガス交換の行われる呼吸器系の機能単位である**肺胞**に入る。しかし、吸い込んだ空気の一部は肺胞まで入らずに呼吸気道(鼻腔や口腔、気管、気管支、細気管支)内に充満している。この空間はガス交換の機能を果たすことはなく、**解**

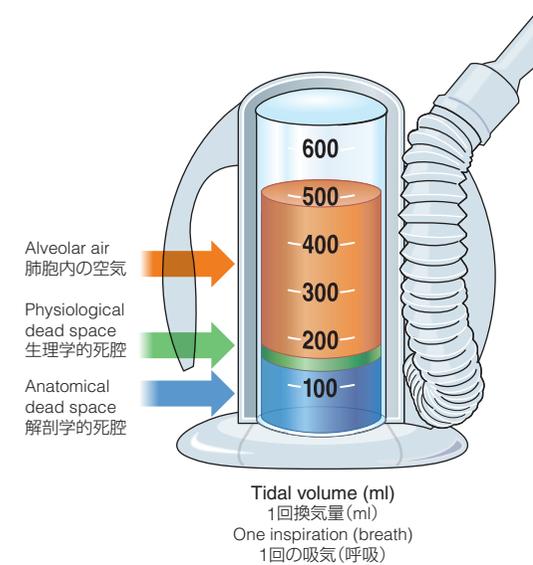


図6.1 健康な競技選手の安静時1回換気量の分布。1回換気量は、肺胞内の空気と混合する周囲の空気約350ml、大きな気道内の空気(解剖学的死腔)約150ml、十分に換気されない肺胞に分布する少量の空気(生理学的死腔)の3つからなる。

解剖学的死腔と呼ばれる。若年成人では、通常この空間の体積は平均150mlで、加齢とともに増加する。深呼吸では呼吸気道が拡張するため、1回換気量が増加すると解剖学的死腔は増加すると考えられる(図6.1)。それにもかかわらず、深呼吸に伴う解剖学的死腔の増加に比例して、1回換気量はより大きく増加する。したがって、1回換気量を増加させること(より深い呼吸)は、呼吸の頻度のみを増やすよりも効率のよい換気となる(46,91)。

血流や換気が少ない、肺胞表面に問題があるなどの理由で、肺胞の一部でガス交換ができない場合があり、これを**生理学的死腔**と呼ぶ。健康な人の肺では、すべて、あるいはほぼすべての肺胞が機能しているため生理学的死腔は小さく、無視できる。慢性閉塞性肺疾患、肺炎など、ある種の肺疾患では肺胞の機能が著しく低下し、生理学的死腔が解剖学的死腔の10倍の容積にまで達することがある(46,91)。

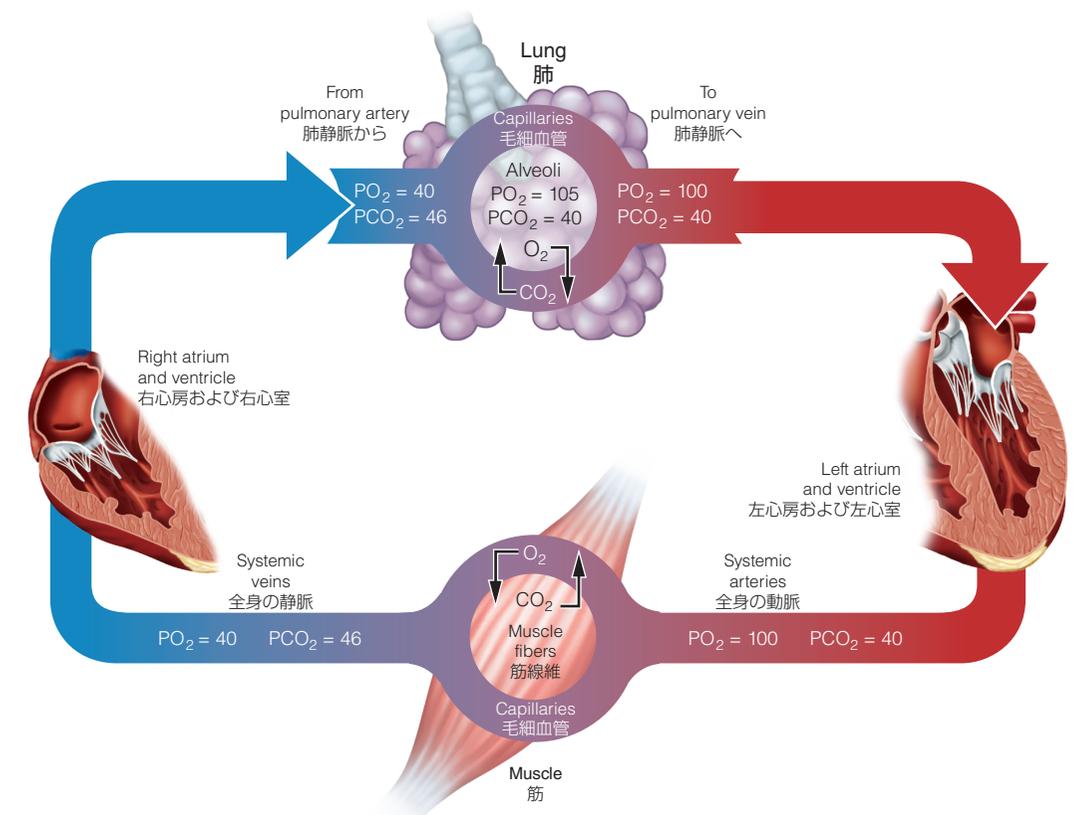


図6.2 安静時の体内におけるガス輸送のための圧力勾配。周囲の空気、気管内の空気、肺胞内の空気の酸素分圧(PO₂)と二酸化炭素分圧(PCO₂)、静脈血と動脈血、筋組織内でのガス分圧も示した。

Age- and Sex-Related Differences and Their Implications for Resistance Exercise

年齢差・性差と レジスタンスエクササイズ への影響

Rhodri S. Lloyd, PhD, and Avery D. Faigenbaum, EdD

▶ 本章を終えると

- 子どもにおけるレジスタンスエクササイズの安全性や有効性、重要性に関するエビデンスを評価できるようになる
- 筋機能の性差を明らかにし、その差が女性に及ぼす影響について議論できるようになる
- 加齢が筋骨格系の健康に及ぼす影響について述べたり、高齢者のトレーナビリティについて言及できるようになる
- レジスタンスエクササイズに対する適応が、3つの分類によって大きく異なる理由を説明する。

レジスタンスエクササイズは、必要性、目標、能力が異なるさまざまな人にとって、安全かつ効果的なコンディショニング法であることが証明されている。レジスタンスエクササイズの効果について私たちが理解する知識の多くは、さまざまなトレーニングプロトコルに対する成人男性の短期的および長期的な応答についての研究によるものであるが、子どもや女性、高齢者のレジスタンスエクササイズに対して一般から、あるいは医療分野からの注目が高まっている。レジスタンストレーニングプログラムをデザインし、評価する際、ストレングス&コンディショニング専門職は、身体組成、筋のパフォーマンス、トレーナビリティにおける性差や年齢差とそれが個人に及ぼす影響を理解していなければならない。

本章では、**レジスタンスエクササイズ**を、健康やフィットネス、パフォーマンスを促進するために、広い範囲の抵抗負荷に対して個人が力を発揮する、コンディショニングの特異的な方法と定義する。この用語は、個人が挙上する最高重量をとくにクリーン&ジャーク、スナッチで競うウェイトリフティング競技とは明確に区別すべきである。**小児期**(childhood)という用語は第二次性徴(陰毛や生殖器の発達など)が出現する前の時期を指し、**青年期**は小児期と**壮年期**の間にある時期を指す。議論を容易にするため、**青少年(ユース)**あるいは**若い競技選手**という用語を、子どもおよび青年期の両方を指すこととする。**高齢者**という用語は、65歳以上の男女を指すこととする。本章では、筋力を絶対値(すなわちkgやポンドで表される測定された力)または相対値(すなわち体重、除脂肪量、筋断面積に対する筋力の絶対値の割合)で表す。

子ども

青少年のレジスタンストレーニングへの関心が高まる中で、ストレングス&コンディショニング専門職にとって、発育や成長、発達の基本原理の理解が重要になっている。また、発育・発達についての基本原理を理解することと、それらがどのようにトレーニングによる適応に影響を及ぼすかを理解し、研究データを詳細に比較検討することは、安全で効果的なレジスタンストレーニングプログラムを作成し、評価する際に不可欠である。青少年の競技選手のト

レーニングは強度が高く複雑になってきているため、急性および慢性のケガに関わると考えられる解剖学のおよび生理学的、心理社会的要因についても考慮する必要がある。

子どもの成長の過程

この項では、**発育**、**発達**、**成熟**などの用語を、一生を通して身体に起こる変化という意味で用いる。**発育**という用語は身体のサイズまたは身体の一部が大きくなることを意味し、**発達**とは胎児から成人までの一般的な成長を意味する。そして**成熟**とは成育し、機能的に完成する過程を意味する。また、**思春期**とは第二次性徴が出現し、子どもが若年成人へと移行する時期である。この思春期には身体組成や身体スキルのパフォーマンスにも変化が起こり、そのような変化は個人間で著しく異なる。

暦年齢と生物学的年齢

成長速度や発達速度は個人間で差異が大きいため、年月で示される年齢、すなわち**暦年齢**によって成熟や発達の段階を規定するのは必ずしも適切ではない。子どもの成長の割合は一定ではなく、また、ある暦年齢における身体の発達の度合いには大きな個人差がある。14歳の子どもの集団で、身長で最高23cm(9インチ)、体重で18kg(40ポンド)の差が観察された。また、11歳の女子は同年齢の男子よりも背が高く、身体的なスキルが優れていることがある。このような差は思春期における成長のタイミングと程度の違いに応じて起こる(131)。思春期が開始するタイミングは女子で8~13歳、男子で9~15歳であり、一般的には女子のほうが男子よりも2年早く思春期に入る。

成熟の段階、すなわち思春期の発達は、骨年齢あるいは身体(体格)的成熟、性的成熟により測定する**生物学的年齢**を用いたほうが優れた評価ができると考えられる。たとえば、同じチーム内の暦年齢が同じ2名の女子の間で、生物学的年齢が数年異なる場合がある。この場合、一方の女子は性的に成熟しているが、他方は、数年間にわたって性的な成熟の過程が始まらない可能性がある。女子の場合は月経の開始(**初経**)が性的成熟の徴候であるが、男子の場合はそれに最も近い性的成熟の徴候として、陰毛やひげ、声変わりなどが現れる。子どもの成熟度の

評価が重要である理由はいくつかある。成熟度の評価は、子どもの発育と発達のパターンの評価に用いることができる。さらに、成熟度は筋力や運動スキルのパフォーマンスなどの体力水準に関係しているため(114)、成熟度の評価に用いられる技術は、暦年齢にしたがってグループ分けするのと対照的に、子どもが体力テストやスポーツ競技に参加できるか否かの判断に役立つ。十分な栄養を摂取している子どもの場合、身体トレーニングが男女青少年の発育や成熟を遅らせる、または早めるという科学的エビデンスは存在しない(72,135)。さらに、骨形成に関する身体的活動の有用性、とくに圧縮力を生み出すような体重のかかる活動は、骨格のリモデリングと成長において必要不可欠である(215)。

生物学的成熟を決定するゴールドスタンダード(代表的な方法)は、骨年齢の評価である。この方法は、訓練された放射線の有資格者が子どもの左手首の骨のX線画像と、基準となる尺度を比較して、骨化の程度を決定するというものである(89,186,205-207)。骨化とは、新しい骨の材料が骨芽細胞と呼ばれる細胞によって沈着する過程のことである。骨年齢は、最も正確で信頼性の高い成熟を評価する方法であるが、コストや、専門的な人材・機材、時間などの制約が懸念され、特異的な放射線撮影の専門性が求められることにより、若い人に関わる多くの現場の人たちにとっては非現実的な方法になる。

生物学的年齢を評価する代替的な方法がTannerによって考案された(206)。明確な第二次性徴の発現、たとえば女子の乳房、男子の性器の発達、男女の陰毛の出現などを視覚的に評価する。このTannerの評価では、成熟は第一段階の未熟な前青年期の状態から第五段階の性的に十分成熟した状態までの5つの段階に分けられる。Tannerの段階分けには一定の方法論的な限界が存在する(131)ものの、侵襲的な性質を持つ手続きには制約があり、本質的な懸念が子どもと両親の両方にある。結果として、このテクニックは、ストレングス&コンディショニング専門職によって用いられるべきではなく、適した資格を持つ臨床医が必要に応じて行うべきである。ほとんどのトレーニング指導者にとって、最も現実的で実行可能な生物学的年齢を推測する手段は、身体的評価(somatic assessments)である(131)。身体的年齢は、身長全体あるいは身体の部

位(例:腕や脚の長さ)の成長の度合いを反映したものである。実務家にとって利用可能なテクニックには、縦断的な成長曲線の分析、最終的な到達身長に対する割合と予測、どの年齢で身長**最大成長速度(PHV)**が出現するかの予測(PHVの年齢とは、思春期の成長スパート中に最大の成長速度を示す年齢であると定義される)、が含まれる。成長の測定は、相対的に収集しやすく、非侵襲的で、必要とする機器が最小限である。場合によって、3カ月ごとに身体的な成長を測定することが適切かもしれない(131)。

能力や技術的な適性、経験の個人差に対して常に注意を払って接することが、子どものウェイトトレーニング指導においてはとくに重要である。同じ14歳でも、ある女子は成熟が早く、ウェイトリフティングのような競技のトレーニングへの身体的準備ができて一方、ある男子は成熟が遅く、高重量のレジスタンストレーニングを開始する準備ができていないかもしれない。さらに、その子どもの**トレーニング歴**(すなわち体系化され、監視下で実施されるレジスタンストレーニングプログラムを行ってきた年月)が、レジスタンストレーニングに対する適応に影響することがある。すなわち、筋力に関するあらゆる測定値の増加の度合いは、すでに起こっている適応の大きさの影響を受ける。たとえば、2年間のレジスタンストレーニングの経験(すなわち2年のトレーニング歴)を持つ12歳の子どものには、同じ期間内に、レジスタンストレーニングの経験がない(トレーニング歴0年)10歳の子どものと同程度の筋力増大は起こらない可能性がある。指導者にとっては、若いときの技術的な適性を評価し、モニタリングすることも重要である。たとえば同じトレーニング歴の2人の子どもの異なる技術的適性の水準を示し、異なる速度で成長するかもしれない。ストレングス&コンディショニング専門職はこのような変数のすべてを認識し、個々の子どもの技術的適性や、トレーニング歴、成熟レベルに基づき、個別のトレーニングプログラムを作成しなければならない。若年者へのレジスタンストレーニングプログラムを作成するとき、ストレングス&コンディショニング専門職は、個々の子どもの持つ個別の心理社会的なニーズを考慮に入れ、それらのニーズに従ってプログラムをデザインや実施、改訂しなければならない。

たとえば、ストレングス&コンディショニング専門職は、トレーニング歴が短く経験の乏しい、自信のレベルが低い子どもと、経験があり能力も高く単にモチベーションが欠けている青年とで、それぞれ異なる対人スキルを用いる必要がある。

身長最大の成長速度が出現する時期に、若い競技選手においてケガのリスクが高まることもある(143)。身長最大の成長速度は通常、女子で12歳前後、男子で14歳前後に出現する。質量中心の変化や、筋バランス不良、急激に成長する骨をまたぐ筋腱複合体のタイトネスが相対的に高くなることから、思春期の成長スパート中の子どもにおける潜在的なオーバーユース障害のリスク要因である。ストレングス&コンディショニング専門職は、このような急激に成長する時期の間はトレーニングプログラムを変更(すなわち、質の高い動作パターンを再強化する、柔軟性の再構築を目標にする、筋バランスの不良を修正する、トレーニングの量または強度、あるいは両方を低減すること)が必要になるかもしれない。若い競技選手が成長スパート中に痛みや不快感を訴える場合、ストレングス&コンディショニング専門職はこれらの訴えを「成長痛」と捉えるのではなく、オーバーユース傷害を疑うべきであり、子どもの親や保護者と相談し、子どもを臨床医へ受診させるべきである。

筋と骨の成長

発達の時期全体を通じて、子どもの成長につれて筋量は着実に増加する。出生時の筋量は体重のおよ

そ25%で、成人期までにその割合は体重のおよそ40%に増加する(136)。男子では思春期にホルモン濃度(例:テストステロン、成長ホルモン、インスリン様成長因子)の生成量が顕著に増加し、その結果として筋量が著しく増加し、肩幅が広がる。一方、女子ではエストロゲンの生成量が増加し、貯蔵脂肪の増加、乳房の発達、腰幅の拡大などが起こる。女子の筋量は青年期においても増加し続けるが、ホルモンの差により男子より緩慢に増加する(136)。この時期の筋量の増加は、男女とも個々の筋線維の肥大によるもので、筋線維の増殖によるものではない(136)。筋量は、レジスタンスエクササイズや食事、あるいはその両方による影響がなければ、女子で16~20歳、男子で18~25歳の間にピークを迎える(136)。

骨形成の大部分は、長管骨の中心幹である**骨幹**(一次骨化中心)で起こり、子どもでは**骨端**(成長)軟骨板や関節面、筋腱複合体が骨端に付着する部位という3カ所に存在する**成長軟骨**(二次骨化中心)で起こる。骨端軟骨板が完全に骨化すると、長管骨の成長が止まる(図7.1)。骨は通常、青年期初期に融合し始めるが、女子は通常男子よりも2~3年早く骨の成熟期を終える。実際の年齢には大きな個人差があるが、ほとんどの骨は20代初期までに融合する。

子どもでとくに注意しなければならないのは、外傷やオーバーユースによって成長軟骨を傷めやすい点である(103)。成長軟骨が傷害を受けると、骨への血流や栄養の供給が止まるおそれがあり、その結果、永続的な成長の阻害(例:骨格の成長不足や過

度な成長、骨のアライメント不良)も起こり得る。成人において靭帯断裂を起こす可能性がある転倒による外傷や過度な反復ストレスは、子どもにおいては骨端軟骨板の損傷を引き起こす場合がある。子どもの骨端軟骨板の傷害が最も多いのは、身長の成長速度が最大になる時期のあたりで、前青年期は成長スパート中の青年期よりも骨端軟骨板の受傷リスクは少ないようだ(145)。幼い子どもの骨端軟骨板は強固で、成長軟骨傷害の原因とされている剪断力に対し耐性が高いことが示唆されている(145)。レジスタンストレーニングにおいて起こり得る骨端軟骨板の傷害については、本章で後述する。

子どもの成長軟骨は骨端軟骨板、関節面、骨端の付着部に存在している。成長軟骨の損傷はその骨の成長・発達を阻害するおそれがある。しかしながら、そのような損傷のリスクは適切なエクササイズテクニックや、トレーニング負荷の漸増、資格を有するストレングストレーニング&コンディショニング専門職の指導により軽減される。

発達による筋力の変化

前青年期および青年期を通して、筋量の増加につれて、筋力も増大する。実際に、筋力の成長曲線は筋量のそれと類似している。男子では、身長最大の成長速度に達した1.2年後、また体重最大の成長速度(こちらのほうが明らかな指標となる)に達した0.8年後に筋力増大のピークとなる(136)。このパターンは、急激に成長する時期に、まず筋量が増加し、その後高いレベルの力を発揮する能力と緩衝する能力が高まることを示唆している(23)。これは、青年期において達成できる筋力増加が、子どもよりも50%近く大きいという最近のメタアナリシスによる示唆を反映している(14)。女子の場合、通常、男子と同様に身長最大の成長速度に達した後に筋力増大のピークとなるが、筋力と身長、体重との関係は男子よりも個人差が大きい(136)。男子と女子の筋力は前青年期においては基本的に等しいが、思春期におけるホルモンの差により、男子では筋力の発達の加速が生じる一方、青年期の女子では筋力の発達は一般的にプラトー(高原状態)となる(129, 136)。平均すると、トレーニング経験のない場合、女子では20歳までに、男子では20~30歳までの間に筋力のピークに到達する(136)。

子どもの筋力発揮に関して重要な要素は、神経系の発達である。神経線維(運動神経)の髄鞘形成が起こらない、あるいは不十分な場合には、素早い反応や熟練したスキルを要する動作がうまく行えず、高レベルの筋力やパワー発揮ができない。年齢とともに神経系が継続的に発達するにつれ、子どものバランスやアジリティ(敏捷性)、筋力、パワーを必要とするスキルのパフォーマンスは向上する。性的成熟までは多くの運動神経で髄鞘形成が不十分であるため、神経系が完全に成熟するまで、子どもが成人と同じようにトレーニングに応答したり、同じスキルレベルに到達すると予測すべきではない(121)。

生理学的機能は暦年齢よりも生物学的年齢と関係が深いため、成熟が遅く筋量が少ない同性の子どもと比較したとき、成熟が早い子どもは、どの年代においても絶対的筋力の測定でおそらく有利である。青年期の終わりにかけて、早熟な体型の若者は**中胚葉型**(筋肉質で肩幅が広い)または**内胚葉型**(丸みを帯び、腰まわりが張り出している)になる傾向があり、晩熟な若者は**外胚葉型**(細身で背が高い)になりやすい(136)。身体の比率(プロポーション)の違いが、レジスタンスエクササイズの実施に影響を及ぼし得ることは明らかである。たとえば、腕が短く胸腔が大きければ上半身で押す(プレスする)ようなエクササイズにおいてバイオメカニク的に有利であり、脚や体幹が長ければしゃがむ(スクワットする)ような動作には不利となる。したがって、身体の大きさに著しい差がある男子および女子の集団向けに体力テストを標準化したり、レジスタンストレーニングプログラムを作成したりするストレングス&コンディショニング専門家は、これらの要素を考慮しなければならない。テスト環境あるいはトレーニング環境のどちらであっても、指導者は子どものサイズのレジスタンスマシーンや、体重、メイスンボール、エラスティックバンド、ダンベル、バーベルを用いることに注意すべきである。個別化したトレーニングプログラムの理由をすべての参加者に説明すべきであり、暦年齢が同じでも生物学的に成熟が進んでいる者に比べて、成熟の遅い小柄で筋力が低い晩熟の者に対して、特別な配慮をすべきである。青年期の間に晩熟な者が早熟な者に追いつくことが多いが、若い競技選手には、スポーツ競技における成功はモチベーションやコーチング、能力

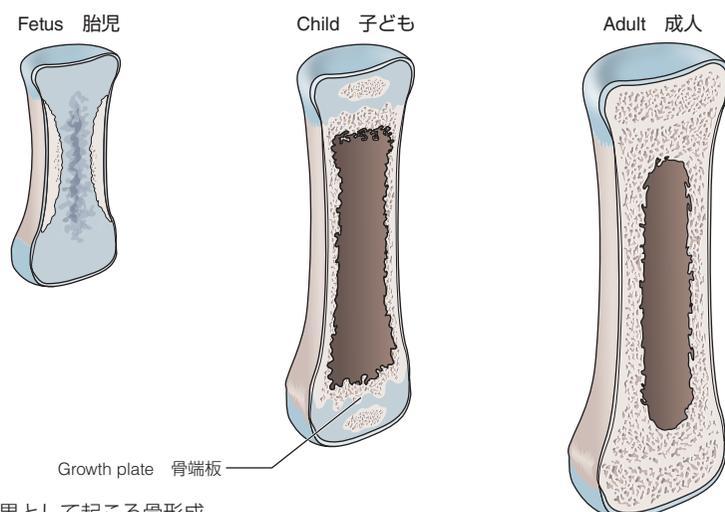


図7.1 発育発達の結果として起こる骨形成。

Psychology of Athletic Preparation and Performance

競技への準備と パフォーマンスの心理学

Traci A. Statler, PhD, and Andrea M. DuBois, MS

▶ 本章を終えると

- 覚醒や動機づけ、集中、自信などの心理学的構造について理解し、それらが身体パフォーマンスに及ぼす影響について確認することができる。
- 不安、注意、理想的なパフォーマンス状態、セルフエフィカシー（自己効力感）、イメージ（想像）、目標設定といった心理学の分野に関連する用語を理解することができる。
- 全習一分習法や、ランダム、可変練習を含む練習スケジュールを操作する多様な方法について、またどのようにこれらのスケジュールをスキル習得および学習を促進するのに用いるか、理解することができる。
- 異なる種類の指示とフィードバックについて、またそれらの練習およびパフォーマンス状況における適用について、理解することができる。

著者は、本章の執筆にあたって多大な貢献をいただいた Bradley D. Hatfield と Evan B. Brody に感謝の意を表したい。

優れた競技パフォーマンスは、スキルと身体の合理的なトレーニング、最適な休息と回復の周期、適切な食事によってもたらされる。選手の遺伝的潜在能力の表現型（訳注：形質として現れたもの）の発達は、生物学的成熟のどの段階においても比較的高いレベルで安定しているが、発揮される熟練したパフォーマンスは試合ごと、あるいは瞬間ごとに著しく変化する。スポーツ心理学の役割は、適切な心理学の方策やテクニックを用いて選手の身体要素を注意深く操作し、身体的な潜在能力の限界あるいはそれに近いレベルでコンスタントにパフォーマンスを発揮できるようにすることである。このような方策やテクニックを理解することによって、ストレングス&コンディショニング専門職は、競技種目や、ときにはポジションにすら特異的なトレーニングプログラムを、パフォーマンスを最大に高めることを究極の目標としてデザインすることができる。

ここでは基本的な概念を紹介した後、心理状態が認知を介して身体パフォーマンスに与える影響を述べ、それからすべての選手の究極の目標である**理想的なパフォーマンス状態**について解説する。理想的なパフォーマンス状態は、心理学のおよび**生理学的効率**がよい（特定の課題の遂行に必要なだけの量の心理的・身体的エネルギーを使う）という特徴を持つ。さらに、スキルの獲得とパフォーマンスにおける主な心理学的影響——モチベーション（動機づけ）、注意、不安——について、これらの現象が精神運動学習や競技パフォーマンスをどのように変化させるかに関するいくつかの理論を引用して述べる。最後に、目標設定やエネルギーマネジメント、リラクゼーション、イメージ、自信をつけるといった、パフォーマンス全般を促進するために、ほかのパフォーマンスの場と同様にストレングス&コンディショニング環境で用いられる方法について述べる。

スポーツ心理学の役割

競技選手とは、制度化された条件（一般には公共の監視あるいは評価）のもとで、精神運動スキルや優れた身体的能力（またはその両者）に関して社会的な比較（すなわち試合）にさらされる人である。競技における試合の本質は、自分と他人を比べることであり、ルールや規制（レギュレーション）とい

う制限を受ける状況に自我（エゴ）と自尊心（自己尊重）をさらすことである。心理学的によく準備された選手は、思考と行動の効率がよいという特徴を持つ。効率がよいとは、典型的には熟練したパフォーマンスが組み合わせられて、よどみなく優雅な動作が行われることである。この概念を心理学的活動にまで広げることもできる。すなわち効率的な選手は、課題に関連することに集中し、課題に関連のない過程（たとえば心配する、些細なことを破滅的に考える、批判的な観客やコーチなど他のことを考えるなど）に無駄に注意を払うことはしない。

スポーツ心理学は、運動科学と心理学の原理の構成を描く多面的な学問分野であり、行動の過程と認知が動作に与える影響についての理解を探究する。スポーツ心理学はスポーツ医学の科学的研究分野として位置づけられており、3つの主な目標がある。

1. 心理学的現象の測定。
2. 心理学的変数とパフォーマンスとの関係の研究。
3. 競技パフォーマンス向上のための理論的知見の応用。

スポーツ心理学の原理から得られた情報の利用により、選手は身体的なリソース（資源）をよりよく扱うことができ、したがってより効果的なパフォーマンスを生み出すことができる。実際には、多くの競技選手が、自分たちのレパトリー（訳注：手持ちの方法のひと揃えの意味）の中に、いくぶんしっかりとしたメンタルスキルをすでに持ってトレーニング環境にくるが、これはしばしば「ただ単に起きた」ようであり、それらのスキルをどのように発展させるか理解が浅く、効果的なパフォーマンスのためにどのように用いるのがよいかということすら知らないことがある。本章全体を通じて私たちは、メンタルスキルそれ自体の間だけでなく、ウェイトルームや練習場で発達するメンタルスキルと身体的・技術的・戦術的スキルの間の相互作用を理解するための構造を紹介する。しかしながら、これらのスキルは、理解され、練習され、パフォーマンス状況において適用されることによってのみ、本当に効果的となることに注意すべきである。本書の残り全体を通して述べられている、身体的・技術的・戦術的な構成要素と同様に、メンタルスキルは教えられ、練

習を重ねられ、パフォーマンスへと統合され、効果を評価される必要が大いにある。

理想的なパフォーマンス状態

理想的なパフォーマンス状態は、さまざまな見地から研究されている。WilliamsとKrane（42）は、理想的なパフォーマンス状態について選手がよく述べる特徴として以下のような事柄を挙げている。

- 何も怖くない——失敗へのおそれがない。
- パフォーマンスについて考えたり、分析したりしない（運動過程における自動性に関連する）。
- 活動自体に集中し、注意集中の範囲が狭い。
- 努力をしているという感覚がない——意識しなくてもできるという経験。
- 個人的な（personal）コントロールができていない感覚。
- 時間が流れるのを遅く感じるといった、時間と空間についての普段と異なる感覚。

見方を変えれば、この理想的なパフォーマンス状態は、応用スポーツ心理学のプログラムが促進しようとしていることのすべてを示しているといえるかもしれない。ネガティブなセルフトークはなく、強い効力感、課題に関連する信号への集中が存在する。重要なのは、大脳皮質で起こるネガティブな連合過程による干渉がなく、選手が自分自身のスキルレベルやコンディショニングレベルを信じ、「起こるがまま」にしていることである。

NBA（米国のバスケットボールリーグ）の優秀な選手の1人であるKobe Bryantは、このような状態にあるときのことを述べている。

そのゾーンに入ると、いま起きつつあることを知っているという究極の自信がある。そうなるかどうかは問題ではない。いま、まさにそれが起きつつある。物事はただゆっくりになる。すべてがゆっくりと、そして究極の自信がある。そうなったときには、何が起きているかに集中しようとしてはならない。なぜなら、あっという間になくなってしまふからだ。すべてがノイズの中に一緒になってしまう、それがどれか聞き取ることはでき

ず、すべてが1つのノイズになり、それが1つなのか、そうでないのか、注意を払うことはない。本気で現在に留まろうとし、何もそのリズムを崩すことはできない。繰り返すが、そこにいる限り、そこで起きていることが明らかになっている。周りのことや、人混みやチームに何が起きているか、考えることはない。ある種の閉じ込められたような…本気で現在に留まらなくてはならず、そのリズムを崩すことはできない。（YouTube参照。<https://www.youtube.com/watch?v=w149zc8g3DY>）

Bryantのコメントは、本章全体を通して論じる概念の多くに対する大きな裏づけとなっている。彼の精神状態は、理にかなった身体トレーニングプログラムと競技上の成功の積み重ねに基づいていることを知ることが重要である。Bryantは驚くべき身体能力の持ち主で、オフシーズンにはスプリント、コートでのトレーニング、ウェイトトレーニングを精力的にこなしていた。バスケットボールコートでの優れたパフォーマンスとともに、このような準備段階での身体的努力が、彼の集中力と自信にあふれた精神状態に大きく寄与している。

エネルギーマネジメント：覚醒、不安、ストレス

選手が効果的にパフォーマンスできるよう、彼らは心理的・身体的エネルギーレベルについて最善のマネジメントを行う方法を学ぶ必要がある。心配や怒り、フラストレーション、不安を通してエネルギーが枯渇した選手は、注意散漫や自信喪失の可能性が大きくなり、彼らが本当にパフォーマンスを行う必要があるときにエネルギーが少なくなってしまうという経験をする（11）。したがって、パフォーマンス環境においてセルフコントロールを維持し、エネルギーをマネジメントする能力が、どのようなパフォーマンスを行う人においても重要なスキルである。

心理的エネルギーは、私たちの感情によって作り出され、維持され、枯渇し、リフレッシュされる。**感情**は、出来事に対して反応するときに、生理学的・心理学的構成要素の双方が関わる、一時的に感じる心の状態である（10）。これらの感情は、心理的お

よび生理的エネルギーに影響を与え、それによりパフォーマンスに対して有益、有害のいずれの影響にもなりうるが、それは、それらの出来事を本人がどのように解釈するかによって決まる。感情は、私たちを興奮させ、動機づけし、自信をつけさせ、コミットメント（関与）のレベルを強化するときにはパフォーマンスに対して有益である。しかしながら、感情は、過剰であっても少なすぎても（パフォーマンスを行う人が「盛り上がりすぎ」たり、「落ち着きすぎ」たりする）、あるいは、感情の制御を失ったり、パフォーマンス環境において課題を見失って何もできなくなるような場合には、有害である（例：自分自身の怒りやフラストレーションを制御できない選手）。制御の感覚を維持し、感情がパフォーマンスに干渉しないようにしながら、感情を活用してエネルギーを生み出したり、増幅したりするトレーニングを選手が行うことは、理想的なパフォーマンス状態をつくり出すうえで鍵となる（40）。

不適切な考えと格闘し、自信を鼓舞し、動機づけとコミットメントを強化するために心理的なツールを選手が備えることによって、選手が落ち着きも維持することができるように、必要なたくさんのスキルをコーチは提供している。

覚醒

練習環境は、自分自身を試し、効果を評価する複数の機会をつくり出す、今までにない不慣れな経験の場を提供する。このために、競技パフォーマンスは頻繁に覚醒や不安、ストレスの影響を受ける。これらの用語は、しばしば置き換え可能なように用いられる。しかしながら、実際には、同じ構成概念内の異なる要素である。

覚醒とは、単純に個人における生理学のおよび心理学的な活性化が混在したものであり、ある瞬間における動機づけの強さを指す（40）。たとえば、「サイキングアップした（心理的に高揚した）」選手は、ポジティブな思考と強いコントロール感を特徴とする、非常に強い精神の活性化を経験するだろう。一方で「フラット（心理的高揚のない）」選手は、考えがまとまらず、退屈な感じを特徴とした、最低限の精神の活性化を経験するだろう。個人において覚醒は常にある程度はみられ、深い眠りあるいは昏睡状態から非常に興奮した状態までの幅のある連続し

た状態であるが、それ自体は、愉快的な、あるいは不愉快的な出来事とは自動的に関連しない。活性化の測定は単純に心拍数や血圧、脳波計（EEG）、筋電図（EMG）、カテコールアミンレベル、あるいは活性化－非活性化チェックリストのような自己申告による測定法によって指標化されることがある（39）。効率的なパフォーマンスに求められる最適な覚醒のレベルは、本章で後に述べる複数の要因によって決まる。

不安

不安は、神経過敏や心配、憂慮、恐怖などの特徴のあるネガティブに認知される感情的状態であり、身体の生理学的な活性化と関連するという点から、覚醒のサブカテゴリ（下位の分類）と考えられる（40）。不安は個人のネガティブな状況認知に基づいて生起することから、**認知不安**と呼ばれる、認知的な構成要素を伴っており、身体的な反応すなわち**身体不安**は筋緊張や頰脈（速い心拍数）、胃の不調などの身体的な症状が現れることで（認知不安の存在が）顕在化する。

不安という用語は、安定して長く続く性格の構成概念として使用されることもあれば、より短期間の、変化しうる気分状態の両方を指すものとして用いられることもあり、混乱して用いられている。本来、これらは感情状態の中で異なる構成概念である。**状態不安**とは、自律神経や随意神経の活性の上昇、内分泌活性の上昇を伴う心配と不確実性についての主観的な経験を指す（36）。状態不安は一般的にマイナスの経験ではあるが、選手のスキルレベルや性格、課題の複雑さなどの要因によって、競技パフォーマンスに対しては、プラスにもマイナスにもなり得るし、また影響を及ぼさないこともある。

状態不安は**特性不安**とは明らかに異なるが、関連はある。特性不安とは、環境を脅威とみなす見込みに関連する性格の要素、あるいは気質のことである。特性不安は選手が状態不安を経験するきっかけとして働く（37）。特性不安も、選手の最適な覚醒レベルに影響を与える。特性不安が高い人は、失敗や最悪な状況、自我に関連した思考などの課題に関連しない認知によって、自身の注意の容量がいっぱいになる傾向がある。複雑な判断を要する課題では、このような注意を要する信号は、選手の選択的注意を

損なうことになるだろう。特性不安の低い選手は、このような自滅的な認知にとらわれる可能性が低いので、高いレベルのプレッシャーを処理することができる。

▶ **状態不安は、心配やコントロールできない覚醒を現実**に経験することである。特性不安とは性格特性であり、状況を脅威に感じるという潜在的な性質を指す。

状態不安がない場合、覚醒は選手のコントロール下にあり、必要に応じて高めたり抑えたりすることができる。心理的によく準備された選手は、最高のパフォーマンスに適した覚醒レベルの範囲を知っていて、うまく調節している。これに比べて、不安な状態では、覚醒のコントロールが相対的に難しい。典型的には、状態不安において覚醒は過度に高くなり、骨格筋は緊張し、心拍数が上がり、ネガティブな思考が入り込む。この身体的・**心理的な効率**の欠如は、通常、現在の出来事、あるいは起こると予測される出来事についての不確実さによって始まる。これには、通常少なくとも以下の3つの重要な要因がある。これには、通常少なくとも以下の3つの重要な要因がある。

- 高いレベルの自我の関与。選手は自尊心への脅威を認識している場合がある。
- 自身の能力と求められている成功との間に矛盾を感じている場合。
- 自分の失敗によって引き起こされる結果へのおそれ（チームメイト、コーチ、家族、仲間からの評価を落とすなど）。

これらの不安や覚醒の構成概念は、複雑で相互に関係するものであるため、図8.1に覚醒や状態不安、特性不安、また不安の認知的および身体的構成要素についてまとめた。

ストレス

ストレスは、需要（生理学的もしくは心理学的のどちらか、または両方）に合わせることに失敗することが重要な結果となる条件下で、需要と応答能力の間の実質的な不均衡と定義される（31）。**ストレス**とは、ストレス（すなわちストレス反応）を

引き起こす環境あるいは認知上の出来事のことである。さらにストレスは、ネガティブな状態（**ディストレス**〔悪いストレス〕）やポジティブな状態（**ユーストレス**〔よいストレス〕）として表される。これらの両方が覚醒を生み出すが、そのストレスがネガティブである——ディストレス——という場合にのみ、不安を生み出す。したがって、ディストレスには認知不安と身体不安が含まれ、ユーストレスにはポジティブな心理的エネルギーと生理学的覚醒が含まれる。

覚醒と不安がパフォーマンスに及ぼす影響

覚醒や不安、ストレスについての全般的な理解がいったん達成されたら、次のステップはどのようにそれらの感情的な要素がパフォーマンスに影響を及ぼすかを読み解くことである。なぜ覚醒が選手に対して有益になったり、有害になったりするのだろうか？ この項では、多くの理論やモデルについて調べ、覚醒とパフォーマンスの間の関係について説明を試みる。最初に最も単純な構造——Hull (35)のドライブ理論——から始め、スキルレベルや課題の複雑さ、そして人格が介在したときの影響について述べているYerkesとDodson (50)による逆U字理論へと進める。その他、関連する理論として、Hanin (12)の個人の最適機能領域（IZOF）、FazeyとHardy (13)のカタストロフィー説、Kerr (17)のリバーサル理論について概説する。

ドライブ理論

研究者らが最初に覚醒とパフォーマンスの間の関係について調べ始めたとき、直接的で線形的な増加（一方が高くなるともう一方も高くなる関係）を示すと考えられていた。Hullの**ドライブ理論**（35）は、個人の覚醒あるいは状態不安が高まると、パフォーマンスも高まるということを提唱する。したがって、選手がよりサイキアップ（心理的に高揚）すると、パフォーマンスがよりよくなる。このことは、選手が相対的に低いレベルの覚醒から、いくらか高いレベルへと漸進するときには当てはまる。しかしパフォーマンスを行う人がうまくパフォーマンスするには明らかに「パンプアップ」しすぎている場合があ