

Program Design for Resistance Training

レジスタンストレーニングのための プログラムデザイン

Jeremy M. Sheppard, PhD, and N. Travis Triplett, PhD

▶ 本章を終えると

- あるスポーツ種目で求められる事柄と種目特性を評価することができ、レジスタンストレーニングプログラムをデザインするために選手の能力評価ができる。
- 種類や競技特異性、テクニックの経験、どのような器具が準備できるか、トレーニングできる時間がどのくらいあるか、に基づいてエクササイズを選択することができる。
- トレーニング状態や競技シーズン、負荷、エクササイズの種類、同時に行っているその他の運動をふまえて、トレーニング頻度を決定することができる。
- トレーニングセッション内のエクササイズの配列を、タイプに従って手はずを決めることができる。
- 挙上回数と最大反復負荷から 1RM、推定 1RM を見積もることができる。
- トレーニング目標に基づいて負荷や反復回数を設定することができる。
- エクササイズの負荷を増加させる時期をいつにするか、それをいつまでに行うかを知ることができる。
- 選手のトレーニング状態、トレーニング目標に応じてトレーニング量を設定することができる。
- トレーニング目標に基づいて、休息時間の長さを決定することができる。

著者らは、本章の執筆にあたって多大な貢献をいただいた Roger W. Earle、Thomas R. Baechle、Dan Wathen に感謝の意を表したい。

効果的なトレーニングプログラムは、身体の適応と、パフォーマンスレベルの改善をもたらすように体系的な工夫がなされ、多くの変数が調和している。さまざまなトレーニングによって生体が受ける刺激に対する生理学的な応答について、基本的な事柄を理解しておくことは、トレーニングに従事するものがトレーニングのさまざまな側面を首尾よく整合性をもたせるために必要不可欠である。総合的なトレーニングプログラムの構成要素の1つであるレジスタンストレーニングに焦点を当てるときは、無酸素性運動の処方における主要な原則を念頭におき、一度にアプローチするのは1つのプログラムの要素のうち1つの課題に絞ることが有用である。

無酸素性運動の処方における原則

競技を行う人々のためのレジスタンストレーニングプログラムには、特異性や過負荷、漸進性の原則に留意して作成することが必要である。すべてのトレーニングプログラムに組み込むべき概念のうち最も基本的なものの1つが「**特異性**」である。この用語は1945年、DeLormeが最初に提示したもので、ある選手を、特定の手法を用いることで、その手法による特殊な適応または特殊なトレーニング成果が得られるよう訓練する方法をいう(3)。レジスタンストレーニングの場合、特異性とは関与する筋や、動作パターン、筋活動の性質(例：動作スピード、力の出し方)などのさまざまな側面を指すが、必ずしもこれらの側面すべてを常に組み合わせるわけではない。重要なことに、特異性とはいえ、トレーニングの側面すべてを当該のスポーツのスキルに似たものにしなければならないということではない。た

例えば、スクワット動作と垂直跳びは同じ動作、同じ筋を使って抵抗を上回る力を生産するという点で直接的に関連しているといえるが、動作のスピードと力の出し方はスクワットと垂直跳びとは異なっている。**特異性**と同義に用いられることがあるのが**SAID**(specific adaptation to imposed demands)の原則であり、**課せられた要求に対し、筋が特異的に適応すること**をいう。ここで基礎をなしているのは、身体に与えられた運動刺激のタイプが、それによって生じる適応のタイプを決定づけるということである。たとえば、速い動作(例：野球の投球やテニスのサーブ)でのパワー向上を目的にトレーニングする場合は、その競技に求められるのと同じ運動単位を、可能な限り速い速度で活性化もしくは動員して、動作を遂行するようにすべきである(8,86)。特異性は競技シーズンとも関係する。プレシーズン、インシーズン、ポストシーズンというように進行するにつれて、すべてのトレーニングを一般的なものから競技特異的なものへと計画的、段階的に進行させるべきである(1)。競技そのものへ参加することが競技パフォーマンスを向上させるうえで最高の機会であるのは確かだが、競技以外のトレーニングであっても、特異性の原則を正しく適用することによって、パフォーマンスの向上に寄与する可能性が非常に高いことは間違いない。

過負荷とは、選手が慣れている強度よりも高い強度のワークアウトまたはトレーニングを課すことである。過負荷の刺激をかけなければ、それ以外の面でもよく計画されたプログラムであっても、選手を向上させる可能性は非常に限られたものとなる。レジスタンストレーニングのプログラムデザインにおいて過負荷の原則を適用している好例は、各エクササイズで挙上重量を上げていくことである。ほかに、より細かい変化として、週当たり(場合によっては1日当たり)のトレーニングセッション数を増やしたり、エクササイズまたはセット数を増やしたり、単純なエクササイズから複合エクササイズに重点を移したり、セット間休息やエクササイズ間休息の時間を短縮させるなどの方法に加え、これらのいくつかを組み合わせることが挙げられる。いずれにしても、身体に普段用いている負荷より高いレベルのストレスを課すことを意図している。過負荷の原則を正しく適用することにより、オーバートレーニング

を回避し、期待するトレーニングへの適応を引き出すことができる。

もし、あるトレーニングプログラムを実行してパフォーマンスがレベルアップし続けているとすれば、そのプログラムのトレーニング強度は漸進的に高くなるように組まれているに違いない。**漸進性**が正しく適用されるなら、長期的なトレーニング効果を促進する。通常は用いられる負荷のみに関心が向きがちであるが、週当たりのトレーニングセッションを増やしたり、各セッションでのドリルやエクササイズをさらに付け加えたり、ドリルやエクササイズの種類や技術的な要求を変更したり、トレーニング刺激の増やすことなどによっても、トレーニング強度は漸進的に高められる。たとえば、競技選手はフロントスクワットからハングパワークリーンへ、そして最終的にはパワークリーンへと進めていくことで技術的に漸進していくことになるだろう。核心となっている要点は、漸進が、その選手が行っているトレーニングがどのようなものを基にしていること、そして体系的かつ段階的に物事が進められることである。

レジスタンストレーニングのプログラムをデザインすることは、7つの**プログラムデザイン**変数をきちんと理解してそれらの変数を操るという複雑なプロセスである(本章のステップ1〜7)。本章では、枠内に示した各要素についてストレングス&コンディショニング専門職がトレーニングの原則とプログラムデザインのガイドラインをどのようにしてプログラムの全体に反映させ、統合していくかを理解してもらうために、3つの事例を挙げて解説する。

事例とするのは、女子バスケットボールのセンターのプレシーズン(シナリオA)、アメリカンフットボールのオフラインメンのオフシーズン(シナリオB)、クロスカントリーランナーのインシ

ーズン(シナリオC)の3つである。3例とも、選手は各々のスポーツ競技のためのコンディションが整い、筋骨格系の機能不全がなく、スポーツ医科学スタッフからトレーニングや試合への参加も認められているものとする。シナリオA(バスケットボールのセンター)およびB(アメリカンフットボールのラインメン)の選手は、高校のときからレジスタンストレーニングを実施しており、高重量の挙上に慣れ、マシーンおよびフリーウェイトでのエクササイズに熟練している。対照的に、シナリオCの高校生クロスカントリー選手は、わずか4週間前のプレシーズンからレジスタンストレーニングを開始したばかりなので、トレーニングは限定され、エクササイズテクニクについても未熟な部分がある。

ステップ1：ニーズ分析

ストレングス&コンディショニング専門職の最初の課題は**ニーズ分析**である。ニーズ分析は、そのスポーツ競技の身体的要求や特性の評価と選手の評価という2つの過程からなる。

スポーツ競技の評価

ニーズ分析の最初の課題は、そのスポーツ競技に特有の性質を明確に示すことであり、それには一般的な生理学のおよびバイオメカニク的な特性(プロフィール)や、よく起こるケガの部位、ポジションに特異的な性質が含まれる。この情報を得ることによって、ストレングス&コンディショニング専門職は、その競技に特異的な身体的要求や特性に応じたプログラムデザインが可能になる。これには複数のアプローチがあるが(30)、少なくともその競技における以下の点を考慮すべきである(20,43)。

選手のシナリオ

シナリオA		シナリオB		シナリオC	
性別：	女性	性別：	男性	性別：	男性
年齢：	20歳	年齢：	28歳	年齢：	17歳
スポーツ競技：	大学バスケットボール	スポーツ競技：	プロアメリカンフットボール	スポーツ競技：	高校クロスカントリー走
ポジション：	センター	ポジション：	オフラインメン	ポジション：	(該当なし)
シーズン：	プレシーズン開始時	シーズン：	オフシーズン開始時	シーズン：	インシーズン開始時

- 身体および四肢の動作パターンと、その動作に筋がどのように関与するか（**動作分析**）。
- 筋力、パワー、筋肥大、筋持久力の優先度（**生理学的分析**）。
- 傷害の起こりやすい関節および筋の部位やその要因（**傷害分析**）。

心臓血管系持久力やスピード、アジリティ、柔軟性などの競技特性も評価すべきではあるが、本章ではレジスタンストレーニングのプログラムデザインに関連した生理学的評価である筋力、パワー、筋持久力に絞って解説する。

砲丸投げの動作分析を例に挙げると、多くの関節が屈曲および内転したセミクラウチング姿勢（少しかがんだ姿勢）で始まり、それらの関節が伸展および外転した直立姿勢で終わる全身の運動と言い表すことができる。重要な筋群は、肘伸筋群（上腕三頭筋）、肩外転筋群（三角筋）、股関節伸筋群（殿筋、ハムストリングス）、膝伸筋群（大腿四頭筋）、足関節底屈筋群（ヒラメ筋、腓腹筋）である（ここで挙げた順に重要というわけではない）。生理学的には、完成度の高い砲丸投げのパフォーマンスを遂行するには高水準の筋力とパワーが求められる。その際に、筋の横断面積が増加するほど筋の力を生み出す能力が高まるため、筋肥大を促進すれば有利となる（40）。しかし、筋持久力の必要性は最小限である。練習および試合で繰り返し使用するという特徴があるため、肩や肘関節周辺の筋や腱がオーバーユースによる傷害を起こす傾向にある（98）。

選手の評価

次の課題は、トレーニング（および傷害）状態の評価、各種テスト（最大筋力テストなど）の実施とその結果の評価から第一に取り組むべきトレーニングの目標を設定することによって、その選手に何が必要か、それらの目標は何か、**特性**を明らかにすることである。評価をより個別化して行うことにより、それぞれの選手により適したレジスタンストレーニングのプログラムデザインが作成可能になる。

トレーニング状態

選手の現在のコンディション、すなわち新規または更新されたプログラムを始めるための身体の準備レベル（**トレーニング状態**）は、トレーニングプログラムをデザインするうえで重要な考慮すべき事項である。これには、トレーニングに影響を及ぼす可能性のある現在および過去の傷害についてのスポーツ医学の専門職による評価も含まれる。同様に、選手の**トレーニング経験**や**運動歴**（新規または更新されたプログラムを開始する前に実施していたトレーニング）が重要で、ストレングス&コンディショニング専門職が選手のトレーニングの潜在的な可能性をよりよく理解するための助けになるであろう。選手のトレーニング経験の査定は次のような項目を用いる。

- トレーニングプログラムのタイプ（スプリント、プライオメトリック、レジスタンストレーニングなど）。
- これまでに定期的に行ってきたトレーニングプロ

グラムの期間の長さ。

- これまでのトレーニングプログラムの強度。
- **エクササイズテクニックの経験**の度合い（適切にレジスタンストレーニング種目を実施するための知識とスキル）。

法を例示した。この3つの区分は連続体の中での目安であり、はっきりとした区切りがあるわけではないことをストレングス&コンディショニング専門職は認識しておくべきである。

体力テストと評価

表17.1には、上述の情報から選手をトレーニング体力テストでは、筋力や柔軟性、パワー、スピード、状態に応じて初心者、中級者、上級者に分類する方筋持久力、身体組成、心臓血管系持久力などの評価

ニーズ分析の適用

（シナリオの各選手の詳細については本章の最初のシナリオの表を参照）

シナリオA 女子大学バスケットボール選手 プレシーズン	シナリオB 男子プロアメリカンフットボール・ ラインメン オフシーズン	シナリオC 男子高校クロスカントリー選手 インシーズン
スポーツ競技の評価 動作分析 スポーツ競技：走動作とジャンプ、ボールハンドリング、シュート、ブロック、リバウンド 関与する筋：すべての大筋群。とくに股関節、大腿、肩	スポーツ競技の評価 動作分析 スポーツ競技：相手選手をつかむ、押す、はね返す、押しのける 関与する筋：すべての大筋群。とくに股関節、大腿、胸、腕、下背部。	スポーツ競技の評価 動作分析 スポーツ競技：走動作、脚と腕の反復動作 関与する筋：下半身のすべての筋群、姿勢保持に関わる筋、肩、腕
生理学的分析（主に要求されるもの） 筋力／パワー	生理学的分析（主に要求されるもの） 筋肥大	生理学的分析（主に要求されるもの） 筋持久力
選手のプロフィール トレーニング経験 • 高校から定期的にレジスタンストレーニングを行っている。 • フリーウェイトおよびマシーンエクササイズの優れた技能を持っている。 • 週4回のオフシーズンのレジスタンストレーニングを完了したところである。内容は以下の通り。 上半身（週2回）： 6つのエクササイズ（中心的エクササイズ2つ、補助的エクササイズ4つ）、10～12RM×3セット 下半身（週2回）： 6つのエクササイズ（中心的エクササイズ2つ、補助的エクササイズ4つ）、10～12RM×3セット	選手のプロフィール トレーニング経験 • 高校、大学、そしてプロになってからもレジスタンストレーニングを定期的に行っている。 • フリーウェイトおよびマシーンエクササイズの優れた技能を持っている。 • シーズン後のレジスタンストレーニングプログラム（2回／週）を完了したところである。内容は以下の通り。 すべてのエクササイズを各セッションで実施： 7つのエクササイズ（中心的エクササイズ3つ、補助的エクササイズ5つ;下半身2つ、上半身6つ）、12～15RM×2～3セット	選手のプロフィール トレーニング経験 • レジスタンストレーニングをプレシーズンに開始したばかりである。 • フリーウェイトおよびマシーンエクササイズのスキルは限られている。 • プレシーズンのレジスタンストレーニングプログラム（2回／週）を完了したところである。内容は以下の通り。 すべてのエクササイズを各セッションで実施： 7つのエクササイズ（中心的エクササイズ3つ、補助的エクササイズ4つ;下半身2つ、上半身6つ）、15RM×1～2セット
レジスタンストレーニング状態の分類 上級者	レジスタンストレーニング状態の分類 上級者	レジスタンストレーニング状態の分類 初心者
プレシーズンのレジスタンストレーニングの主要な目標 筋力／パワー ^a	オフシーズンのレジスタンストレーニングの主要な目標 筋肥大	インシーズンのレジスタンストレーニングの主要な目標 筋持久力
コメント ^a プレシーズンは、適切なエクササイズの選択と量－負荷の設定を組み合わせでこれら両方の目標に取り組む。	コメント ^b アメリカンフットボールは身体的要求が非常に大きいため、この選手のポストシーズンのトレーニング量は一般的なプログラムの積極的休養（アクティブレスト）の時期に行うトレーニング量より多い。	コメント ^c この選手はレジスタンストレーニングプログラムを開始したばかりなので、プレシーズンのトレーニング頻度は、通常トレーニングを積んだ者が行う3～4回／週より少ない2回／週に制限した。

この表の情報は、スポーツ競技の身体的要求と選手のプロフィールを評価する方法の一例である。

表17.1 トレーニング状態の分類例

レジスタンス トレーニング状態	レジスタンストレーニングの背景				
	現在のプログラム	トレーニング 歴	頻度 (週あたり)	トレーニング ストレス*	テクニック経験 とスキル
初心者（未トレーニング）	トレーニングしていない、あるいはトレーニングを始めたばかりである	<2カ月	≦1～2	なし、あるいは低い	なし、あるいは最小限
中級者（レジスタンストレーニングを中程度行っている）	現在トレーニングしている	2～6カ月	≦2～3	中程度	基礎的
上級者（レジスタンストレーニングを十分に行っている）	現在トレーニングしている	≧1年	≧3～4	高い	高い

*この例における「トレーニングストレス」とは、レジスタンストレーニングプログラムに示された身体的な要求あるいは刺激の程度を表している。

Program Design and Technique for Plyometric Training

プライオメトリック トレーニングのための プログラムデザインとテクニック

David H. Potach, PT, and Donald A. Chu, PhD, PT

▶ 本章を終えると

- プライオメトリックスの生理学を説明することができる。
- ストレッチーショートニングサイクル（伸張－短縮サイクル）の各局面を識別することができる。
- プライオメトリックトレーニングプログラムの構成要素を識別することができる。
- 安全で効果的なプライオメトリックトレーニングのプログラムをデザインすることができる。
- プライオメトリックエクササイズで使用するための適切な用具を勧めることができる。
- 下半身および上半身のプライオメトリックエクササイズを正しく実施する方法について教えることができる。

プライオメトリックエクササイズとは、筋ができるだけ短い時間内に最大の筋力に達することができるようにするための身体活動を指す。「**プライオメトリック**」という言葉は、ギリシャ語で「長さが伸びること」を意味し（「**plio**」＝さらに、「**metric**」＝長さ）（56）、実践的には、ストレッチーショートニングサイクル（伸張－短縮サイクル、SSC）を含む予備伸張あるいは反動動作を用いた、素早くパワフルな動作であると定義される（53）。プライオメトリックエクササイズの目的は、筋および腱に備わる弾性要素と伸張反射の両方を利用しながら、その後続く動作のパワーを増大させることである。トレーニングプログラムの一部として、プライオメトリックスを効果的に使用するうえで、1）プライオメトリックエクササイズの力学と生理学、2）プライオメトリックプログラムのデザインにおける原則、3）プライオメトリックエクササイズを安全かつ効果的に実施する方法、について理解しておくことが重要である。

プライオメトリックの力学と生理学

機能的に動作ができるかということやスポーツ競技に成功できるかは、活動するすべての筋群が適切に機能することと、これらの筋が力を発揮する際のスピードによって決まる。この力とスピードの関係の定義に用いられる用語が、**パワー**である。適切に用いられれば、プライオメトリックトレーニングは、筋力とパワーの産生を改善することが示されている（30,50）。このパワー産生は、2つのモデルすなわち、力学的モデルと神経生理学的モデルで最も適切に説明される（53）。

プライオメトリックエクササイズの力学的モデル

力学的モデルでは、筋腱複合体における弾性エネルギーは、急激な伸張によって増大し、貯蔵される（3,14,31）。その直後に短縮性筋活動が行われると、貯蔵された弾性エネルギーが放出され、発揮される力の総計が増加する（3,14,31）。骨格筋のふるまいを理解するには、Hill（31）の提唱したモデルが非常に有用である（図18.1）。力学的モデルの多くの

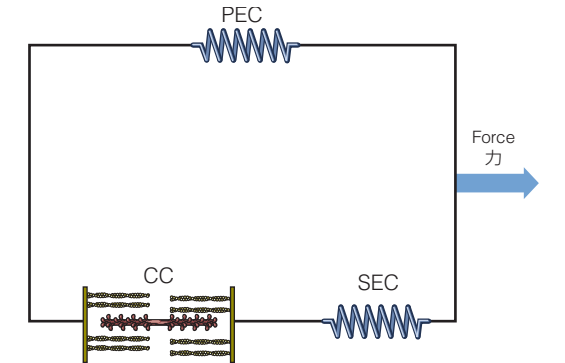


図18.1 骨格筋の機能の力学的モデル。直列弾性要素（SEC）が伸張されると、生み出される力を増加させる弾性エネルギーが貯蔵される。短縮性筋活動中、主に収縮要素（CC）（すなわちアクチンやミオシン、クロスブリッジ）によって筋力が発揮される。並列弾性要素（PEC）（すなわち筋外膜や筋周膜、筋内膜、筋鞘）は、刺激を受けていない筋の伸張によって受動的に力を発揮する。Albert, 1995 (1).に基づく。

要素のなかでも、**直列弾性要素（SEC）**はプライオメトリックエクササイズの重要な働きをするものである。直列弾性要素は、筋の要素もいくらか含まれるが、大部分を占めるのは腱である。伸張性筋活動で筋腱複合体が引き伸ばされると、直列弾性要素はバネのように引き伸ばされる。直列弾性要素は引き伸ばされるにつれて、弾性エネルギーが蓄積される。この伸張性筋活動の直後に短縮性筋活動が起こると、蓄積されたエネルギーが放出され、筋と腱が本来の（引き伸ばされていない）形状へと戻ろうとする力が自然に発生し、直列弾性要素が全体的な力発揮に貢献することができる。短縮性筋活動が伸張性筋活動の直後に行われなかったり、あるいは**伸張性局面**の時間が長すぎたり、そのときに動かす関節に求められる可動範囲が大きすぎるなどの場合には、貯蔵されたエネルギーが散逸し、熱として失われる。

プライオメトリックエクササイズの神経生理学的モデル

神経生理学的モデルは、伸張反射による短縮性筋活動の**増強効果**（伸張により引き起こされる筋の収縮要素の力－速度関係における変化[21]）を含む（図18.2）（8-11）。**伸張反射**は、筋を伸張させる外的刺激に対する身体の不随意的反応である（27,42）。プライオメトリックエクササイズにおける反射の要素は、主に筋紡錘の活動によって生じる。**筋紡錘**は、伸張

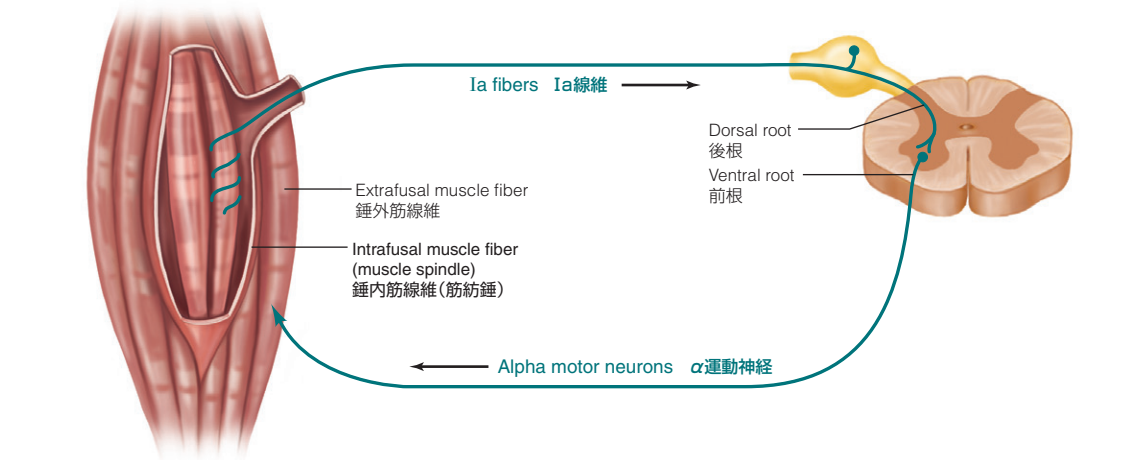


図18.2 伸張反射の図解。筋紡錘が刺激されると、Ia神経線維を介して脊髄に信号が送られて伸張反射が刺激される。Ia神経線維は脊髄でα運動神経とシナプス結合しており、主動筋の筋外線維へインパルスが伝わることで反射的な筋活動が生じる。Wilk et al., 1993 (53).に基づく。

の速さと強さを感知する固有（自己）受容器であり、素早い伸張を検知すると反射的に筋活動を増加させる（27,42）。プライオメトリックエクササイズの動作では、筋紡錘が素早い伸張によって刺激を受け、反射的な筋活動が生じる。この反射的反応によって主動筋の活動が高まり、その結果、筋が発揮する力が増加する（8-11,35）。力学的モデルと同様に、筋の伸張の直後に短縮性筋活動が起こらなければ（たとえば、伸張から短縮性筋活動までの時間が長すぎたり、動作の範囲が大きすぎたりすると）、伸張反射との相乗効果は無効となる。

プライオメトリックエクササイズ中に起こる力発揮の増大には、力学的モデルで説明される要因と神経生理学的モデルで説明される要因の両方が関与するようだが（3,8-11,14,31,35）、それぞれのモデルはどの程度寄与するのかは明らかにされていない。プライオメトリックエクササイズにおけるこれらのモデルの理解を深めるために、また、それぞれのモデルの果たす役割を明確にするためにはさらなる研究

が必要である。

ストレッチーショートニングサイクル

ストレッチーショートニングサイクル（SSC）は、最短時間で筋の動員を最大限に引き上げることを促すために、筋腱複合体の直列弾性要素がエネルギーを蓄える能力と伸張反射の刺激を利用する。SSCは、表18.1に示した通り、3つの局面に分けられる。この表は、各局面でのSSCの力学的・神経生理学的事象を説明しているが、ここに挙げた事象のすべてが各局面で生じるわけではないことを覚えておく必要がある。すなわち、いくつかの事象はその局面に要する時間よりも長くなることもあれば、短い時間で終わることもある。第Ⅰ局面は伸張性局面であり、主動筋（群）に予備的負荷（プレローディング）がかかる。この局面で、筋腱複合体の直列弾性要素に弾性エネルギーが蓄積され、そのことにより筋紡錘が刺激を受ける。受けた刺激で筋紡錘が伸張されると、タイプⅠa求心性神経を介して脊髄前根に信号

表18.1 ストレッチーショートニングサイクル

局面	活動	生理学的事象
Ⅰ—伸張性局面	主動筋の伸張	直列弾性要素に弾性エネルギーが蓄積される。筋紡錘が刺激される。
Ⅱ—償却局面	局面ⅠおよびⅢの間の休止	Ⅰa求心性神経からα運動神経へシナプスを介して信号が伝えられる。α運動神経は主動筋に信号を伝達する。
Ⅲ—短縮性局面	主動筋の短縮	直列弾性要素から弾性エネルギーが放出される。α運動神経が主動筋を刺激する。

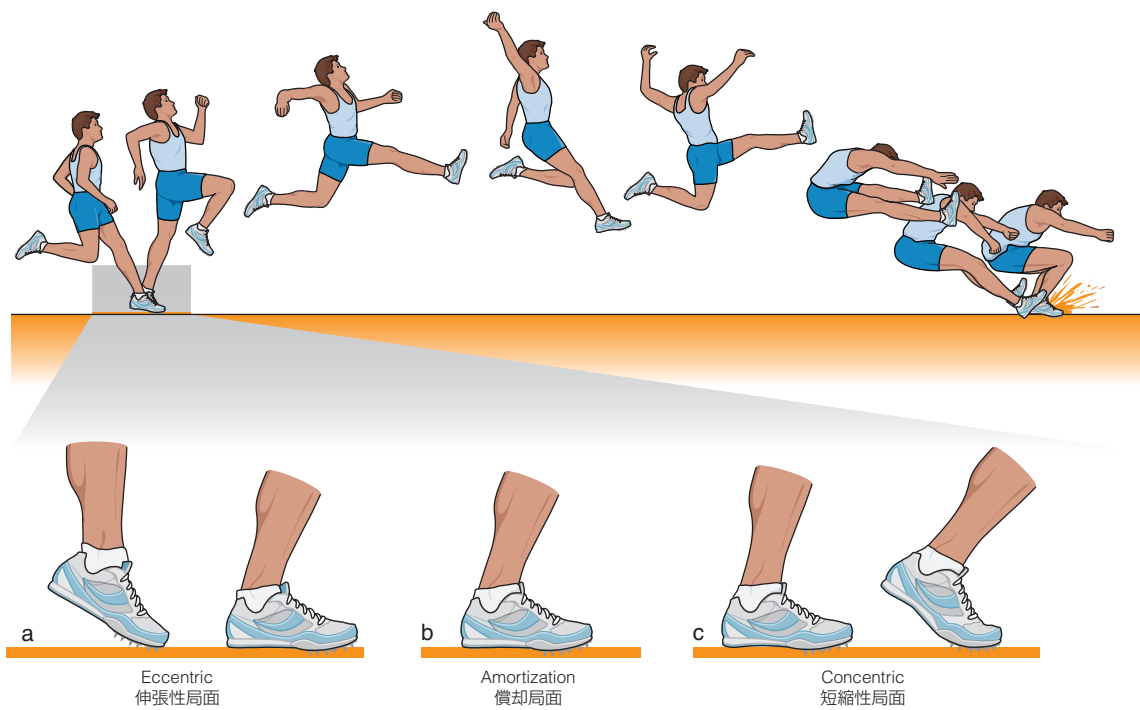


図18.3 走り幅跳びとストレッチーショートニングサイクル。(a) 伸張性局面は接地から始まり、動作が終了するまで続く。(b) 償却局面は伸張性局面から短縮性局面への移行である。(c) 短縮性局面が償却局面に続いて起こり、足が地面を離れるまでの踏み込みの時間全体が含まれる。

が送られる(図18.2参照)。走り幅跳びの例を挙げて伸張性局面を視覚化して説明する。足が接地してから身体の沈み込みの最下点までが伸張性局面となる(図18.3a)。

第Ⅱ局面は**償却**(または移行) **局面**と呼ばれ、伸張性局面と**短縮性局面**の間の時間である。これは、伸張性局面終了から短縮性筋活動の開始までの時間である。伸張性筋活動から短縮性筋活動までには時間的遅延が存在する。これはシナプス結合を介してタイプⅠa求心性神経が脊髄前根の α 運動ニューロンに伝達するまでの時間である(図18.2参照)。その後、 α 運動ニューロンは、主働筋群に信号を伝達する。SSCにおけるこの局面は、発揮パワーの産生をより大きくする上で、おそらく最も重要であり、できるだけ早く収めなければならない。この償却局面が長引けば、伸張性局面で蓄積されたエネルギーは熱として失われ、伸張反射が短縮性局面での筋活動を増幅させることができない(12)。前述した走り幅跳び選手の例で考えると、選手が接地して運動が止まったときに償却局面が開始する。そして、動きが再び始まるとすぐに、償却局面は終了する(図18.3b)。

短縮性局面、すなわち第Ⅲ局面では、伸張性局面と償却局面に対する身体の反応が起こる。この局面において、伸張性局面中に筋腱複合体の直列弾性要素に貯蔵されたエネルギーは、引き続き起こる局面で力を増大させるのに使われるか、そうでなければ熱となって失われる。この蓄えられた弾性エネルギーは、短縮性筋活動を単独で行うことで発揮される力を大きく上回る力に増大させる(13,50)。これに加えて、 α 運動ニューロンが主働筋群を刺激して反射的な短縮性筋活動(すなわち伸張反射)が生じる。こうしたサブシステムの効率性が、プライオメトリックエクササイズの適切なパフォーマンス形成にとって重要な点である。走り幅跳び選手の例で説明すると、上方向への運動が開始するとただちに、償却局面が終了し、SSCの短縮性局面が始まる(図18.3c)。この例では、主働筋の1つが腓腹筋である。足が接地すると、腓腹筋は急激に伸張を強いられる(伸張性局面)。次に、動作の遅延が起こり(償却局面)、その後、短縮性筋活動が起こって足関節を底屈させ、それによって選手は地面を押し蹴ることができる(短縮性局面)。

プライオメトリックエクササイズにおいて、筋腱

組織の伸張の速さはきわめて重要である(35)。非常に速く伸張が起こると筋の動員が増し、SSCの短縮性局面における筋活動も増大する。伸張の速さの重要性は3種類の異なる垂直跳びテスト、すなわち静的なスクワットジャンプ、反動をつけた(カウンタームーブメント)ジャンプ、そして数歩の助走からのジャンプを比較することで説明できる。伸張の(時間あたりの)速さが大きければ大きいほど、これらのテストにおける選手の絶対的なパフォーマンスも高いものになる。すなわち、静的なスクワットジャンプの高さが最も低く、助走からのジャンプが最も高く跳べる。静的なスクワットジャンプでは、スクワット姿勢(股関節と膝関節が 90° の姿勢)をとってからジャンプすることが求められる。このジャンプは弾性エネルギーを用いていないし、伸張反射による相乗効果を引き出すには時間が長すぎる。というのも、本質的に伸張性局面を形成していないからである。反動をつけたジャンプは、急速な伸張性要素(パーシャルスクワット)の直後に急速な短縮性筋活動(ジャンプ)を用いて行う。急速な伸張性局面により、伸張された筋腱ユニットに弾性エネルギーを蓄積(そして利用)し、伸張反射を刺激して、その結果、筋活動を増幅させる(6,29)。助走からのジャンプは、反動をつけたジャンプよりもさらに敏速で、より力強い伸張性局面を利用している。伸張性局面の伸張速度が速くなれば、さらに高く跳べる(4,5,7,25)。

ストレッチーショートニングサイクルは、力学的メカニズムと神経生理学的メカニズムの双方を兼ね備えたもので、プライオメトリックエクササイズの基礎となる。素早い伸張性筋活動は伸張反射を刺激し、弾性エネルギーを蓄積する。このエネルギーが、引き続いて行われる短縮性筋活動で生み出される力をより大きくする。

プログラムデザイン

プライオメトリックエクササイズの運動処方、レジスタンストレーニングや有酸素性運動の処方と同じである。すなわち、適切なプライオメトリックトレーニングのプログラムデザインには、様式、強度、頻度、継続時間、回復、漸増、ウォームアップというすべての事項が含まなければならない。し

かしながら、プライオメトリックエクササイズという枠組みでのプログラムデザインを行う適切なプログラムの要素を明確に示した研究はほとんどない。したがって、プライオメトリックエクササイズの処方には、活用可能な研究や、実践的経験、またレジスタンストレーニングや有酸素性トレーニングのプログラムデザインに用いられている方法に依拠しなければならない。以下のガイドラインは、主にChuの著作(16,18)とNSCAのポジションステートメント(公式声明)(44)に基づくものである。

ニーズ分析

プライオメトリックトレーニングプログラムを適切にデザインするうえで、ストレングス&コンディショニング専門職は競技や競技のポジション、トレーニング状態を評価することによって競技選手のニーズを分析すべきである。競技やポジションごとに、独自の要求がある。いくつかの要求はその競技に特有の動作により、また別の要求はその競技に特徴的なケガの特性やリスクが独自性を作り出している。さらに、選手一人ひとりのトレーニング状況は異なっている。ある選手はトレーニングを行うのが初めてで、プライオメトリックエクササイズに至っては、経験が皆無かもしれないし、また別の選手はケガをしているかもしれない。このような人々はプライオメトリックトレーニングに対して異なるアプローチが必要である。各競技の個別の要求や、その競技におけるポジション、各選手のニーズ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、安全で効果的なプライオメトリックトレーニングのプログラムをより適切にデザインすることができる。

様式

プライオメトリックトレーニングの様式は、エクササイズを実施する身体部位によって分類される。たとえば、シングルレッグホップは下半身のエクササイズであり、ツーハンド・メディシンボール・**スロー**は上半身のエクササイズである。以下、プライオメトリックエクササイズの各様式について述べる。

下半身のプライオメトリックス

下半身のプライオメトリックスは、陸上競技の投

Program Design and Technique for Speed and Agility Training

スピードおよび アジリティトレーニングのための プログラムデザインとテクニック

Brad H. DeWeese, EdD, and Sophia Nimphius, PhD

▶ 本章を終えると

- スプリントや方向転換、アジリティのパフォーマンスを支えるバイオメカニク的な構造について述べることができる。
- 移動様式やテクニックの指導に適切な動作原理を適用することができる。
- 特異的な動作の課題を行うのに必要な能力やスキルを分析することができる。
- スプリントや方向転換、アジリティ能力を効果的にモニターすることができる。
- スピードや方向転換、アジリティを向上させるうえでしっかりした手段および方法を適用することができる。
- 競技パフォーマンス向上を最大限に引き出すためのトレーニングプログラムをデザインし、実施することができる。

著者らは、本章の執筆にあたって多大な貢献をいただいた Steven S. Plisk に感謝の意を表します。また、Matt L. Sams; Chris Bellon, MA, CSCS; Satoshi Mizuguchi, PhD; N. Travis Triplett, PhD, CSCS*D, FNSCA; Jared M. Porter, PhD, Adam Benz, MS, CSCS; Tania Spiteri, MS にも感謝申し上げます。

本章では、スピードや方向転換、アジリティ能力を向上させることについて取り上げる。スピードという用語は、選手が身体的パフォーマンスの1つまたはすべての側面を示す場合に用いられることがしばしばあるが、選手育成においてはバイオメカニクスのような要求が異なる結果として、下支えするさまざまな身体的能力およびスキルが必要となることを理解することが重要である。身体パフォーマンスに関するこれら3つの重要な側面は、以下のように定義することができる。

- スピード——動作速度を高めるために必要なスキルと能力
- 方向転換——動作の方向や速度、様式を急激に変化させるために必要なスキルと能力
- アジリティ——刺激に反応して動作の方向や速度、様式を変化させるために必要な技術と能力

試合の中でより速く走る能力は、ほとんどの競技種目で求められる競技特性である。さらに、身体活動中に素早く方向転換する能力によって、相手選手のスピードの効力をそぎ、プレーのフィールドにおける身体的・戦術的な優位性をもたらすことができる。これらのシナリオはすべて選手の「スピード」が関わっているようにみえるが、この認識された「スピード」は、上に列挙した3つの質の1つあるいは3つの組み合わせとなるだろう。スポーツにおいて、ヒトの高速の移動は直線的あるいは多方向に分類される。直線で速いスピードを生み出すことは一般的にスプリントと呼ばれ、多くの陸上競技種目や屋外のランニング種目（訳注：たとえばマラソン競技）のゲームベースの状況では成功のための基礎となる要求である。直線的なスピードはチーム競技においても重要であるが、プレー自体は主に多方向である。結果として、これらの選手の成功は、速く効果的な方向転換を通して常に変化するゲームシナリオ（試合の筋書き）へ反応することに部分的に依存する一方で、**スピード**は加速し最大速度に到達する能力を必要とする。

ほとんどのスポーツの性質上、選手は予め方向転換を行うのを予定したシナリオを持っているが、それらの活動（例：ルート、プレー、予測パターン）の実施を制限するのは選手たちの身体的能力だけで

ある。減速して再加速するときに方向を変え、ときには異なる移動様式も用いる身体的能力は**方向転換**能力だが、**アジリティ**（敏捷性）は方向転換能力に知覚認知能力を組み合わせることを必要とする。このことが、スピードや方向転換、アジリティの間の類似点と相違点を際立たせている。たとえば、加速は方向転換およびアジリティ能力の一部であるが、減速能力といった追加的な側面や、動作様式の違いにより、スピードのためのトレーニングと方向転換およびアジリティのためのトレーニングとの間に違いが生じる。方向転換のための身体能力は、アジリティの構成要因の1つとなるかもしれないが、知覚認知の要素がアジリティの身体的な需要に影響を及ぼす。したがって、本章を読み進める際に、これらの特質には重なり合う部分があるものの、それぞれの身体的パフォーマンスを改善するには異なる身体的・技術的・知覚認知的な発展が求められるということを理解する必要がある。

競技選手がスプリントあるいは方向転換を行うとき、選手のパフォーマンス（遂行）は身体的能力と技術的な習熟の関数として捉えることができる。有酸素的な競技においては、バイオメカニクスの・代謝的な効率がパフォーマンスを下支えしているが、その一方で、効率的に力を適用することにより、スピードや方向転換、アジリティは限定されることになる。単純にいうと、これらの爆発的な動作は選手の筋力と、活動の制約の範囲内でその筋力を用いることの組み合わせの産物である。**筋力**はしばしば選手の力を生み出す能力と関連しているが、高いレベルの最大筋力がスポーツやスプリント、方向転換、アジリティにおいて求められる特性である一方で、アジリティ種目には最大筋力を生み出し発現することを妨げる期間があるということを理解するのが重要である。

スプリントの中で、力を適用することによって、競技選手は加速し、高速度を得ることができ、その速度を維持しようとする。方向転換能力は、加速に関連する力の適用と、スプリントにおける速度の獲得に加えて、減速させるための力の有効利用と、異なる方向への再加速が必要となる。さらに、アジリティのパフォーマンスは方向転換だけでなく、（ディフェンダーやボールなどの）刺激に反応して方向転換するという働きもあると考えられる（4）。この

ような理由により、ストレングス&コンディショニング専門職は、トラックとフィールドの両方でスピードや方向転換、アジリティを促進に貢献する身体的特性の発達に関わるトレーニングを選択することになると認識すべきである。

▶ スピードは、加速し最大速度へ到達する能力を必要とし、アジリティパフォーマンスは知覚認知能力と減速後に再加速する能力の組み合わせを必要とする。

スピードとアジリティのメカニクス

動作のテクニックを実施するために、力を適用しなければならない——力は質量と加速度の積である。多くの競技における身体活動中、力を生み出すための時間は限られており、力を生み出すために利用できる時間に対して相対的な力を表すうえで2つの変数がある。

- **RDF（力の立ち上がり速度）**——最小限の時間で最大の力を生み出すことであり、爆発的な筋力の指標として一般的に使用される。（3）。

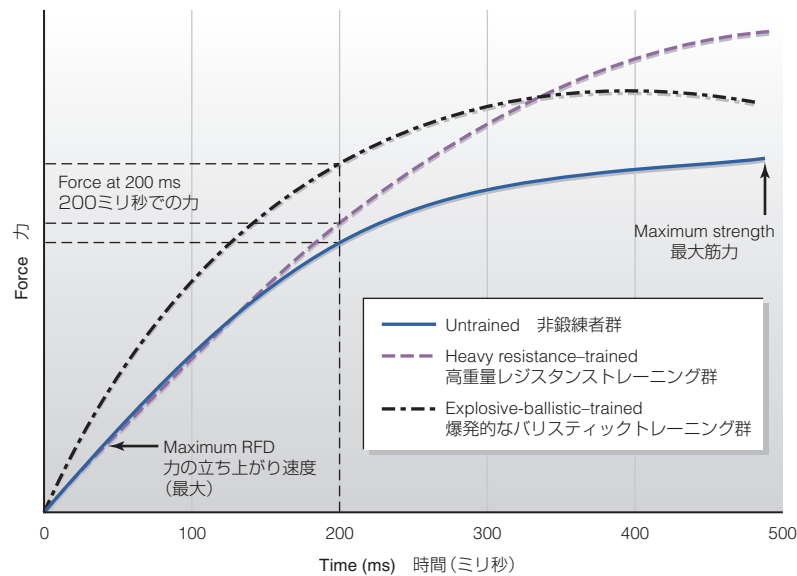


図 19.1 時間、最大筋力、力の立ち上がり速度（RFD）の関数としての力。トレーニングを積んでいない人（青色の実線）、高重量レジスタンストレーニング群（紫色の破線）、爆発的なバリスティックトレーニング群（黒色の一点鎖線）の0.2秒間の力を示している。力積は生み出された力と、生み出すのに要した時間の積であり（力-時間曲線下面積として表される）、RFDを改善することによって増加する。機能的な動作が行われたとき、力は非常に短い時間（0.1～0.2秒）に加えられ、絶対的な最大の力発揮には0.6～0.8秒かかる。Häkkinen and Komi, 1985 (46). より許可を得て転載。

- **力積**——生み出された力と、生み出すのに要した時間の積であり、力-時間曲線下面積として表される。力積-モーメント関係により、力積は物体のモーメントの変化の程度を決定づける。

スプリント、方向転換、アジリティの物理学

力とは、2つの物理学的な物体の相互作用を表す。力はベクトル量、つまり大きさと方向を持つ量である。伝統的に、力は物体がお互いに押す、または引くことにより、2つの物体が同じ空間を占めることが避けられるというように表現されてきた。この質量の動きが、物体の速度を変化させ、**加速**を引き起こす。

ストレングス&コンディショニング専門職の間では、**速度**とスピードという言葉は交換可能のように用いられることがしばしばある。スプリントとアジリティのパフォーマンスについて適切に議論するうえで、これらの用語は区別する必要がある。スピードはスカラー量であり、その物体がどのくらい速く動くかのみを表す。スピードはどのくらいの距離を進むかの割合（レート）である。力と同じように、速度はベクトル量である。速度は、その物体がどのくらい速く動くかと、その動く方向の両方を表す。

簡潔に表現すると、速度は方向を伴うスピードである。

加速とは、その物体の速度がある時間の中で変化する割合のことである。いったん力が物理的な物体に働くと、その質量は方向を変え、占めていた空間を離れる。物体の加速は、速度を変化させる外力が働き続ける限り続く。実践的な状況においては、高速度から低速度へと変化することを表す際に、**減速を負の加速**へと置き換えられる。

RFD（力の立ち上がり速度）

スポーツの文脈においては、力を素早く生み出す能力は最大の力を生み出すよりも望ましい特質であるということはほぼ間違いないだろう（89）。高いレベルで最大の力を生み出す能力は、ジャンプ高やその他競技の中で用いられる尺度を用いてパフォーマンスが改善することが示されているが、ほとんど

の試合でのシナリオは、時間的な枠組み（タイムフレーム）の中で最大の力を発揮できるようなことは起こらない（19）（訳注：実際の試合場面では、最大の力を出すような時間的な余裕はほとんどないだろう）。具体的には、最大の収縮力を生み出すのには少なくとも300msという時間がかかるが、多くのスポーツ活動において用いられる時間は0～200msにとどまる（図19.1を参照）（1）。このような理由で、スポーツの状況においては、動作のタイミングに制限があり、爆発的能力の測定にはRFDがより有用である（5）。RFDは力の変化を時間の変化で除したものとして表される（89）。

ある質量を加速させる能力は、外力が適用された結果として起こる速度の変化に依存する。したがって、実務的な見地から、より高い加速能力に到達したい選手はより大きなレート（時間に対する速さ）で力を適用させるべきである。

力積

物体の位置を変化させるとき、速度の変化を生み出すために力が加えられる必要がある。力を生み出すことを通じてスピードを高めようとする選手が、一瞬で力を加えるということは起こらない。実際に、力が加えられるのは、スプリントにおける立脚局面（図19.2）あるいは方向転換におけるプラント局面（足の接地局面）である。立脚局面あるいはプラント局面の時間の長さを**接地時間**と呼ぶ。地面に対して力が加えられた時間と、加えられた力の大きさを乗じたもの（積）を力積と呼び、グラフにすると力-時間曲線下面積として表される。力積の変化は、選手のモーメントの変化を意味するので、そのことが選手の加速あるいは減速の能力となる。

図19.2は、加速局面（図19.7：後述）と最大速度局面（図19.8）を比較したときの垂直および水平の力の大きさの違いを示しており、これはそれぞれの局面における股関節の最大伸展時に力を生み出すために用いられる2つの姿勢の違いを反映している。さらに、これらの2つの概略図は、力積の概念について示しており（力-時間曲線下面積を示す）、制動局面においては負の水平力が、また推進局面においては正の水平力が示されている。これら2つの局面の力積は、垂直の点線で示されている。最大速度局面中、非対称的に力が生み出されており、RFD

が非常に高いことで、加速局面と比較して接地時間がより短いということがわかる。

モーメントは、物体の質量と動きの速度との関係として定義される。スプリントの間、選手の身体の質量は一定である。したがって、同じタイムフレームでより大きな力積に到達するには、より大きな力を生み出せばよい。この力積の増加は、選手が方向転換の前に加速するか、あるいは再加速、はたまた減速しようとするかによって、モーメントの増加または減少が決まる。言い換えると、力積の変化はモーメントの変化であり、物体の動きに変化を引き起こす。

人の移動において、個々のステップ（一歩ずつ）という時間の中で生み出される力の大きさは、それがうまくいくかどうかにとって重要である。これらの力の変化により、選手のモーメントの増加または減少が可能となる。この理由により、トレーニングはRFDに加えて力積（力-時間曲線下面積）に注目すべきである。

ここでは、パワーについては力と速度から導き出されるものであるため、議論しなかった。パワーは、本質的には、最大の爆発的パフォーマンスを示す力学的構成概念ではないと考えられる（32）。実際のところ、パワーの値は専門職に対してパフォーマンスへの示唆を完全に有用な方法で与えるものではない。なぜなら、パワーの値は力によって得られたのか、あるいは速度によって得られたのかが不明確だからである。力やRFD、力積が直接的な尺度であることを理解していれば、さらなる洞察を得ようとする際に、より複雑な手続きで導き出された値などが、とくに必要となることはない。

スピードのための現場への活用

自らの身体をトラックあるいはフィールドの中で占めていた位置から移動（変位）させるためには、競技選手は重力の作用を克服して力を効率的に生み出し、速度に正の変化をつくり出さなければならない。短距離のスプリントにおいて、到達しうる最高速度まで加速するには努力を必要とし、それは生理学的要因によって大きく決定される。これらの力あるいは努力は、最大随意収縮に必要な時間より短いことがしばしばである時間的制約の中で素早く生み出される。この理由のため、スプリントで成功する

ためには、RFDがより重要な要因となるかもしれない。さらに、スプリントの成功は短時間で力を生み出せるかどうかにか大きく依存するため、力積は下支えする重要な要因となる。

方向転換とアジリティのための現場への活用

ある時間内に制動力を生み出す力は**制動力積**と呼ばれ、加速においてのみ要求されるのではないため、方向転換あるいはアジリティを行う際にも考慮されるべきである。効果的・効率的にモーメントを変えるために必要となる力積の大きさは、方向転換に必要な物理的要求を直接的に反映したものとなる。たとえば、必要となる方向転換の角度が大きいほど、あるいは方向転換する際の進入速度がより速くなるほど、モーメントを変えるのに必要となる力積は大きくなる。したがって、物理学的にそのような活動を行うことは、物理的に見ればより厳しくなる。さらに、アジリティの知覚認知の側面によって時間的制約が課せられ、刺激に反応してうまく方向を転換するために必要となる力（および力積）を生み出すことを可能とする時間が制限されることによって、身体への物理学的需要は影響を受ける。

スピードのための神経生理学的な基礎

スプリントやアジリティ、方向転換はすべてスポーツの状況で生起する力動的な力の生産が表現されたものである。ストレングス&コンディショニング専門職は、これら競争に有利な特質を高めるのを手助けするよう依頼されることがしばしばあるため、これら力の尺度が動作中にどのように生み出されるかについての概要を知っておく必要がある。

神経系

神経筋の機能は、中枢神経系（CNS）と筋の活動との相互作用が最終的に、筋収縮のレート（時間あたりの速度）と筋力に影響を及ぼすため、スプリントのパフォーマンスの良し悪しに関わるきわめて重要なものである。ストレングストレーニングやプライオメトリックトレーニング、スプリントトレーニングの組み合わせにより、神経筋系に適応が起こり、

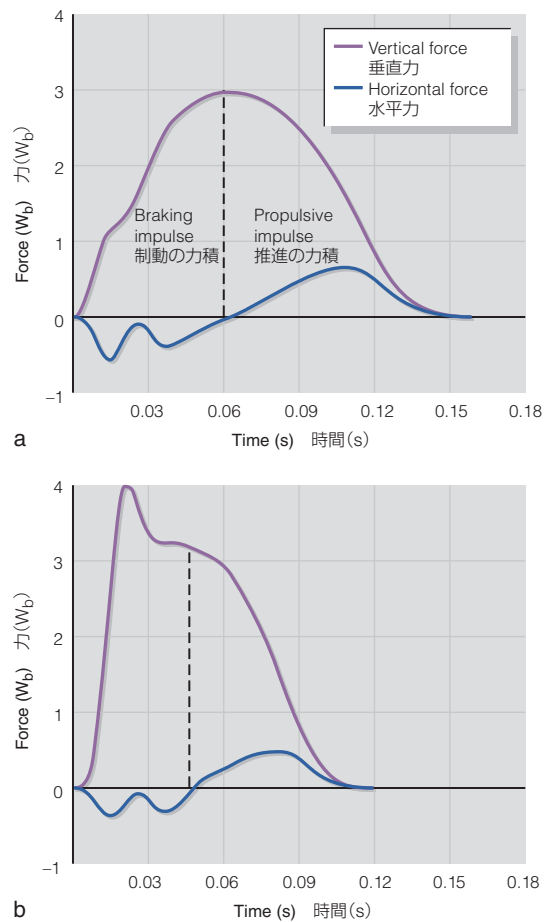


図19.2 (a) 加速局面における、また (b) 最大速度局面におけるスプリント時の地面反力と力積。Wb = 体重。

Program Design and Technique for Aerobic Endurance Training

有酸素性持久カトレーニングのための プログラムデザインとテクニック

Benjamin H. Reuter, PhD, and J. Jay Dawes, PhD

▶ 本章を終えると

- 有酸素性持久力パフォーマンスに関係する要因について論じることができる。
- 有酸素性持久カトレーニングの様式を選択することができる。
- トレーニング状況や競技シーズン、回復に必要な条件などに基づいて有酸素性持久カトレーニングの頻度を設定することができる。
- 有酸素性持久カトレーニングの時間を設定するとともにトレーニング強度との関係を理解することができる。
- 有酸素性持久力運動の強度を設定し、その強度をモニターするさまざまな方法を理解することができる。
- さまざまなタイプの有酸素性持久カトレーニングプログラムについて述べることができる。
- 競技シーズンに基づいたさまざまなプログラムデザイン変数を適用することができる。
- 有酸素性持久カトレーニングプログラムをデザインする際、クロストレーニングやディトレーニング、テーパリング、補強的なレジスタンストレーニング、高地トレーニングの問題に対処することができる。

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

有酸素性トレーニングプログラムをデザインすることは、無酸素性エクササイズの場合に多くの点で類似している。本章では有酸素性持久力トレーニングに用いられる基本原理や、安全で効果的なプログラムをデザインするうえでの段階的アプローチについて解説する。

正しい原理がトレーニングに適用されなければ、有酸素性持久力のパフォーマンス向上は望めない。トレーニングによって起こる適応の基本的なメカニズムはまだ完全に解明されていないが、適応を起こすためには身体のさまざまなシステム（系）に運動刺激（例：特異性、過負荷）が加えられる必要がある。生理学的なシステムは、トレーニングセッションの際に関連しない場合、あるいは運動によるストレスを十分に受けない場合には、トレーニングプログラムに対する適応を起こさない（47,48）。

トレーニングの特異性とは、トレーニングプログラムに応じて生理学的なシステムの明確な適応が起こることを指す。生理学的なシステムにおけるトレーニング効果が生じるのは、トレーニング中に用いられ負荷が加えられたシステムに限定される（48,73）。したがって、生理学的なシステムに関与し、ストレスが加わるようにトレーニングプログラムがデザインされなければ、そのシステムにはごく限られた適応しか起こらないこともあれば、あるいは全く適応が起こらないこともあり得る。有酸素性持久力パフォーマンスを向上させるには、呼吸器系や心臓血管系、筋骨格系の機能を向上させるトレーニングプログラムをデザインしなければならない。

また、トレーニングによる適応を起こすためには、その時点で慣れているレベルよりも高いレベルで生理学的システムを機能させなければならない（72）。過負荷が継続してかけられると、身体の生理学的システムはその運動ストレスに適応する。この生理学的システムの適応が起こるのは、組織に過負荷が加えられなくなるまでである（訳注：組織に過負荷が加えられる限り適応が続く）。このことは、より大きな過負荷を用いることが必要になることを意味する。身体のさまざまなシステムに過負荷を加えるために最も頻繁に操作される変数は、運動の頻度や時間、強度である。

競走競技、自転車、水泳などの有酸素性持久力競技は、選手が決められた距離をどれだけ短い時間で

進むことができるかを競う。こうした競技で優れたパフォーマンスを発揮するには、選手が試合時に最高の身体的コンディションである必要がある。選手はこのパフォーマンスレベルに到達するまで、トレーニングによって得られる生理学的適応を最大にするために、十分な知識を持ってハードなトレーニングを重ねる必要がある。実際に、有酸素性持久力競技選手が試合で最高レベルのパフォーマンスを発揮するためには、身体的コンディションが非常に重要であることが示されている（15,24,54,77,82）。多くの有酸素性持久力競技の選手において、その競技の有名選手や、競技で成功を収めた選手の練習内容を自らのトレーニングに取り込んだり応用したりするという傾向がある。この戦略が効果的な場合もあるかもしれないが、ほとんどの有酸素性持久力競技選手には、正しいトレーニング原理に関する実用的で優れた知識や、選手自身の身体的な限界やニーズに基づいて各々のトレーニングを処方したほうがよいだろう。

有酸素性持久力競技選手向けとして数多くのタイプのトレーニングプログラムデザインが存在する。これらのトレーニングプログラムは運動の様式、頻度、継続時間、強度が異なる。成功した有酸素性持久力競技選手に共通するのは、その選手の強みを伸ばし、弱みを改善するようにデザインされたトレーニングプログラムを実施していることである。本章の目的は、有酸素性持久力のトレーニングとコンディショニングの科学的原理に関して優れた実践的知識をストレングス&コンディショニング専門職に提供することである。本章ではとくに、パフォーマンスに関係する要因や、有酸素性持久力トレーニングのプログラムデザイン変数、多様なタイプのプログラムについて示す。さらに、競技シーズンごとのトレーニングや、有酸素性持久力トレーニングに関係する問題についても論じる。有酸素性持久系競技と考えられるあらゆる競技のトレーニングに関する情報を述べると膨大な量になるため、ここでは競走競技や自転車競技、競泳に関する例を挙げながら、有酸素性持久力トレーニングに関する基本的な話題のみを示す。

有酸素性持久力パフォーマンスに関係する要因

有酸素性持久力トレーニングのプログラムをデザインする際には、有酸素性持久力のパフォーマンスに影響を及ぼすとともに重要な役割を果たすさまざまな要因について理解することが重要である。それにより、逆効果となる適応や疲労、オーバーワーク、オーバートレーニングを引き起こすおそれのある不要なトレーニングを最小限に抑え、適切なトレーニングプログラムを作成することができる。

最大有酸素性能力

有酸素性持久力種目において、競技時間が長くなるほど、総エネルギー需要に占める有酸素性代謝の割合も大きくなる。そのため有酸素性持久力競技で勝つためには、高い**最大有酸素性能力（ $\dot{V}O_2\text{max}$ ）**が必要である（59）。有酸素性持久力種目では、 $\dot{V}O_2\text{max}$ とパフォーマンスの間に高い相関がみられる（1,19, 32,59,60）。したがって、有酸素性持久力トレーニングのプログラムは、 $\dot{V}O_2\text{max}$ を向上させるようにデザインする。パフォーマンスの向上には高い $\dot{V}O_2\text{max}$ が重要であるが、ほかにも同等以上に重要な要因がある。たとえば、高い乳酸性作業閾値、優れた運動の経済性、エネルギー源として脂肪を用いる際の効率が高い、タイプ I 筋線維の割合が高いことなどが挙げられる。

十分にトレーニングを積んだ持久的競技選手にとって、 $\dot{V}O_2\text{max}$ の改善は、とくに優れた有酸素的能力をすでに有している場合は、パフォーマンスに貢献する程度はわずかかもしれない。結果として、有酸素的能力をわずかに改善させようとするより、試合中や練習中により高い速度を維持する能力はパフォーマンスに大きな影響を及ぼす。これらの理由により、多くの競技選手が高強度インターバルトレーニング（HIIT）を用いる。この問題については理解が十分に進んでいないが、HIITは、ピークパワー出力や換気閾値、水素イオン緩衝能、エネルギー源としての脂肪利用の改善を通して、トレーニングを積んだ選手のパフォーマンスに貢献する可能性がある（55）。

乳酸性作業閾値

有酸素性持久系種目において、同様の $\dot{V}O_2\text{max}$ である選手たちの中で最も優れているのは、筋や血中に多量の乳酸を蓄積することなく、 $\dot{V}O_2\text{max}$ に対して最も高いパーセンテージで（訳注：運動強度が最も高い状態で）有酸素性エネルギーの生産を継続できる選手である（54）。この現象を示す用語は多くあるが、文献において最も広く用いられている用語は**乳酸性作業閾値**（LT：Lactate Threshold）である。乳酸性作業閾値とは、ある特定の血中乳酸濃度が観察される、もしくは血中乳酸濃度が安静時の値を超えて増加し始める動作スピードもしくは $\% \dot{V}O_2\text{max}$ である（82）。いくつかの研究では、有酸素性持久力の指標として乳酸性作業閾値が $\dot{V}O_2\text{max}$ よりも優れていることが示されている（21,22）。**最大乳酸定常状態**という用語も、有酸素性持久力トレーニングに関する文献において頻繁に使われる。最大乳酸定常状態とは、体内での乳酸産生と乳酸除去が等しく保たれる最大の運動強度であると定義される（4）。最大乳酸定常状態は、 $\dot{V}O_2\text{max}$ や乳酸性作業閾値より有酸素性持久力パフォーマンスを示す指標として優れていると考える人は多い（4,34）。これらの情報から、有酸素性持久力選手は乳酸性作業閾値あるいは最大乳酸定常状態を向上させるべきであるということが明らかである。そのためには、トレーニング効果を最大にするうえで筋および血中の乳酸レベルを上げた状態でトレーニングを行う必要がある。

運動の経済性

ある運動速度におけるエネルギーコストの指標を**運動の経済性**と呼ぶ。運動の経済性が高い選手は、一定の運動速度（例：ランニングスピード）を維持するうえでエネルギーの消費がより少ない。複数の研究で、運動の経済性は競走種目で優れたパフォーマンス

有酸素性トレーニングプログラムにおけるデザイン変数

ステップ 1：運動様式
ステップ 2：トレーニング頻度
ステップ 3：トレーニング強度
ステップ 4：運動の継続時間
ステップ 5：運動の漸進

マンスを発揮するための重要な要因であり (14,31)、優秀な選手は一般の選手と比べてストライド長がやや短く、ストライド頻度が高いことが示唆されている (12)。自転車競技では、運動の経済性は体格や走行速度、空気力学的姿勢によって影響を受ける (22,61,78)。体重および走行速度の増加や、非効率的な姿勢は空気抵抗を高め、結果的として運動の経済性は低下する。一流の競泳選手はそうでない選手に比べて運動の経済性が高いことがすでに示されており (81)、ある泳速度において消費される酸素が少ない。水泳中の運動の経済性に対する最大の効果は、泳ぎのテクニックがより効率的になったときに観察される。ストロークが改善されると、ある泳速度に対するエネルギー需要は減少する (80)。このように、運動の経済性を改善するトレーニングは有酸素性持久力競技の選手にとって非常に重要である。

運動の経済性の向上は最大有酸素性能力 ($\dot{V}O_2\text{max}$) と乳酸性作業閾値 (LT) に影響を及ぼす。

有酸素性持久力トレーニングのプログラムデザイン

有酸素性持久力トレーニングのプログラムの効果を挙げるためには、それぞれの選手に特異的な運動処方が必要である。これには、主となる 4 つのプログラムデザイン変数を操作することが求められる。それを囲み記事にステップ 1～5 で示した。残念なことに、コーチや選手は、その競技で最近成功しているコーチや選手の練習やトレーニングプログラムが用いられることがしばしばある。このような練習ではそれぞれの選手の強みや弱みが十分に考慮されておらず、効果的でない方向に導いたり、有害なトレーニングプログラムになったりする可能性すらある。正しいトレーニングプログラムをつくる最適な方法は、有酸素性持久力のパフォーマンスに関係する要因を評価し、その情報に基づいて個々の選手に合ったプログラムを作成することである。たとえば、運動の経済性の低い選手には、その向上に重点を置いたトレーニングを行わせる。あるいはテクニックに焦点を当て、休息時間を長くとり形式でインターバルトレーニングを実施することなどが考えられる。逆に、乳酸性作業閾値を高くする必要のある選手は、

より強度の高いトレーニングを行うことを考えるかもしれない。

女子選手向けのトレーニングプログラムは、男性向けと異なるものにする必要はない。トレーニングプログラムへの反応は男女で同じであることが示されている (10,60,67)。性差と運動への影響については第 7 章で解説している。

ステップ 1：運動様式

運動**様式**とは、自転車、ランニング、水泳など選手が実施する特異的な活動を指す。有酸素性持久力のパフォーマンスを向上させるトレーニングでは、競技の動作パターンにできるだけ近い運動を選択する。これにより、体内の特異的な生理学的システムに効果的にプラスの適応を起こすことができる。たとえば、有酸素性持久力トレーニングによって、特異的な筋線維の動員や、これらの筋線維内のエネルギー供給系の適応が刺激される。トレーニングにおいて適切な運動様式を選択することで、競技中に使われる生理学的システムを改善するうえで確実に刺激されるようにする。トレーニング様式が競技特異的であるほど、パフォーマンスの向上が大きくなる。複数の有酸素性持久力競技を行っている選手や、有酸素性持久力を全般的に高めるプログラムを求める人には、クロストレーニングや複数の有酸素性持久力運動が有効な場合もある (35)。

ステップ 2：トレーニング頻度

トレーニング**頻度**とは、1 日または 1 週間に行うトレーニングセッションの数を意味する。トレーニングセッションの頻度は、運動の強度および継続時間や、選手のトレーニング状況、競技のシーズンの間の相互作用によって決まる。運動強度が高く、長時間続く場合は、セッションからの回復を十分に促すためにトレーニング頻度を低くする必要があるかもしれない。選手のトレーニング状況もトレーニング頻度に影響を及ぼす。たとえば、トレーニングを積んでいない選手は、トレーニングを積んだ選手に比べて、トレーニングの初期において回復に多くの日数を要する。競技シーズンもトレーニング頻度に影響する。たとえば、オフシーズンのトレーニングプログラムでは週に 5 日だが、プレシーズンでは毎日になる場合もあるだろう (トライアスロン選手で

は 1 日に複数回行われる場合すらある)。また、得られた生理学的機能やパフォーマンスのレベルを維持するためのトレーニング頻度は、そのレベルに到達しようとするときに比べて低くてよいだろう (77)。トレーニング頻度が高すぎると傷害や疾患、オーバートレーニングのリスクを高める恐れがあるため、適切なトレーニング頻度は有酸素性持久力競技選手にとって重要である。多くの研究で、トレーニング頻度が週 5 回を上回るとスポーツ傷害の発生率は高くなるとされている (49,69) が、これらの研究では健康な若者および競技選手だけではなく、幅広い年齢の身体的に活動的な人々が被験者となっている。一方でトレーニングが少なすぎると、体内のさまざまな機能にプラスの適応は起こらない。研究では、 $\dot{V}O_2\text{max}$ の向上には週 2 回を上回るトレーニング頻度が必要であることが示されている (38,83)。多くのコーチは、持久的選手のうち何人かとしてはパフォーマンス向上のために 1 日に複数のトレーニングセッションが必要かもしれないと認識している。Hansen ら (43) によって行われた研究では、7 名のトレーニング未経験の男性において、疲労困憊までの時間や安静時筋グリコーゲン濃度、クエン酸合成活性は 10 週間にわたって 1 日おきに 1 日 2 回のトレーニングを行った群のほうが、毎日 1 回のトレーニングを行った群よりも増加したことが示されている。グリコーゲン涸渇状態でトレーニングしたことにより、トレーニング適応に関連する遺伝子の転写および転写率が高まったことを介してグリコーゲン再合成が向上したと推測されている。しかしながら、グリコーゲン濃度が低いことにより選手がトレーニングできる時間が短くなってしまい、またオーバートレーニングのリスクも増加するため、この研究者らは、コーチや実践者が練習の計画を立てる際にこれらの結果を必ずしも用いる必要はないと警告している。このことは、選手にかかるトレーニング負荷の効果をモニターすることがなぜ重要であるかについての理由の 1 つである。

一連のトレーニングセッションから最大の効果を得るためには、個々のトレーニングセッションから**回復**することが不可欠である。運動のパフォーマンスは、きついトレーニングセッション後の休息で向上することが示されている (2)。十分な休息や水分補給、エネルギー源の再貯蔵が、回復中の選手にと

って重要である。高強度もしくは長時間にわたるトレーニング後の数日間は、リラックスし、激しい身体活動避けることがとくに重要である。運動後に十分な水分を摂取することは、トレーニングで失われた水分を補給するうえで重要である。トレーニング時間がとくに長かったり、強度が高かったりした場合は、枯渇している可能性が高い筋や肝臓の貯蔵グリコーゲンを補充するために、運動後の炭水化物の摂取が重要である。このトピックに関するさらに詳細な情報については、第 10 章「パフォーマンスを最大化するための栄養戦略」で得られるだろう。

ステップ 3：トレーニング強度

トレーニングに対する体内の適応を引き起こす主な要因は、トレーニングの強度と継続時間の相互作用である。一般に、運動**強度**が高くなると運動の継続時間は短くなる。身体の適応は、トレーニング強度すなわちトレーニングセッションに傾ける努力の程度に特異的である。高強度の有酸素性運動は心臓血管系および呼吸器系の機能を向上させ、それによって活動している筋への酸素運搬能を向上させる (72)。運動強度を上げることは、筋線維の動員に影響を及ぼすことによって、骨格筋の適応にも影響を与える可能性がある (28)。運動強度が上がるにつれて、パワーの必要性が高まることに合わせてタイプ II 線維の動員がより大きくなる。このトレーニング刺激によってこれらの線維の有酸素性能力が高まり、それによって有酸素性パフォーマンス全体が向上する可能性が高いと考えられる。

各トレーニングセッション、そして最終的なトレーニングプログラム全体の成果を挙げるためには、運動強度の調節が重要である。運動強度が低すぎると、身体のシステムに**過負荷**が与えられず、望ましい生理学的適応が引き出せない。一方、運動強度が高すぎると、疲労をもたらし、所期の目的を達しないうちにトレーニングセッションを終わる結果となってしまう (70)。どちらの場合も、トレーニングセッションの質は低く、非効率的である。

トレーニング強度を調節する最も正確な方法として、運動中の酸素摂取量の $\dot{V}O_2\text{max}$ に対するパーセンテージの算出、血中乳酸濃度の定期的測定による乳酸性作業閾値との関係の算出があげられる。 $\dot{V}O_2\text{max}$ 測定を実施できない場合は、運動処方にお