

Key Words 【ピリオダイゼーション：periodization、持久力パフォーマンス：endurance performance、同時トレーニング：concurrent training】

持久系競技選手のための 筋力トレーニング：理論から実践まで

Strength Training for Endurance Athletes: Theory to Practice

Caleb D. Bazylar, MA Heather A. Abbott, M.Ed Christopher R. Bellon, MA
Christopher B. Taber, MS Michael H. Stone, PhD

Department of Exercise and Sport Science, East Tennessee State University, Johnson City, Tennessee

要約

このレビューの目的は、持久系競技選手におけるレジスタンストレーニングの有用性を明らかにすること、およびアスリート向けに筋力トレーニングと持久力トレーニングの同時トレーニングを処方するための、科学的根拠に基づいたピリオダイゼーション方策を専門職に提示することの2つである。低強度運動持久力(LIEE)と高強度運動持久力(HIEE)はいずれも、最大努力による高フォース-低速度(HFLV)の筋力トレーニング、および爆発的な低フォース-高速度(LFHV)の筋力トレーニングによって向上することが明らかになっている。筋力トレーニング経験に乏しいアスリートの場合、まずはHFLVの筋力トレーニングを実施して、神経筋系の基礎的な能力を強化することが推奨される。エリート持久系競技選手には、筋力-持久力、基礎筋力、筋力、およびパワーの各段階

からなる連続的な筋力トレーニングを実施することで、LIEEとHIEEのさらなる向上がもたらされる。

序論

持久系競技選手における筋力トレーニングの役割をめぐっては、その有効性と適用を支持する研究成果が25年以上にわたって蓄積されているにもかかわらず、今なおコーチの間で意見が対立している(34,36,46,47,58,64,65,67,71,82)。伝統的に、レジスタンストレーニングと持久力トレーニングは、各種の適応からなる連続体の対極に位置するトレーニング方法とみなされてきた(17,41)。近年のメタ分析においてWilsonら(92)は、持久力トレーニングの頻度と時間の長さは、それが筋肥大、筋力、およびパワーにもたらす変化と反比例の関係にあると報告した。その一方で、筋力トレーニングは持久力パフォーマンスに有益な影響を及ぼすとの研究結果が

ある(46,49,51,65,73)。また先行研究では、筋力トレーニングと持久力トレーニングを同時に実施すると、持久力トレーニングのみを実施する場合に比べて、エリートアスリートの持久力パフォーマンスの向上効果が大きいと報告されている(46,47,58,64,65,82)。なお、筋力トレーニングと持久力トレーニングの干渉効果については本レビューでは扱わないが、先行研究において詳しく論じられている(23,24,44,54,92)。スポーツにおける持久力は、一定の力やパワーの発揮を維持、または反復する能力と定義されている(80)。また持久力トレーニングは、低強度運動持久力(LIEE)と高強度運動持久力(HIEE)に分けられる。LIEEは長時間の持続的運動、すなわち低強度の運動を持続、または反復する能力と定義できる。またHIEEは高強度の運動を持続、または反復する能力と定義でき、2分以下の持続的運動と関連づけられている(80)。競技レベルの持久系選手には、高度な有酸素性パワー($\dot{V}O_2\max$)

とLIEEが必要である(34)。持久系選手にはそのほか、筋力、無酸素性パワー、およびHIEEが求められる(34,36,46,58,68,82)。加えて筋力トレーニングは、幅広い持久系競技のLIEEとHIEEに有益な影響を及ぼし、特にHIEEに対する効果が高いことが明らかになっている(34,46,50,58,82,83)。

筋力は、力を発揮する能力と定義できる(76)。筋力とはスキルであり、0～100%の大きさを表すことが可能である(80)。持久力に関する近年の文献では、最大努力による高フォース-低速度の筋力トレーニング(HFLV)と爆発的な低フォース-高速度の筋力トレーニング(LFHV)という2種類の筋力トレーニングの効果を調査している。一方で、持久力トレーニングとサーキット・レジスタンストレーニングを同時実施した場合の効果を調査した研究もあるが、これは上記2つのトレーニングに比べて効果が低い(49,73,84)。最大筋力は、ひとつの筋または筋群が外的負荷に対して発揮できる力の最大量と定義でき、短縮性の力-速度関係における高フォース-低速度の領域に該当する(15,81)。また、低フォース-高速度で(0～60% 1RM負荷)、全力での動作を意識して実施するトレーニングに対して、先行研究では「爆発的筋力トレーニング」という用語を用いている(59,69)。しかし、爆発的筋力(力の立ち上がり速度[RFD]またはパワー発揮能力とも定義される)(15,81)は、実際には幅広い負荷(0～100% 1RM)を用いて強化できるため(19)、この用語を用いることは誤解を招く。

実際、筋力の小さい被験者においては、HFLVのほうがLFHVトレーニングより幅広い負荷で爆発的筋力(パワー発揮能力)を向上させることが明らかになっている(20)。理由はいく

つかあるが、なかでも幅広い負荷でパワー発揮能力を向上させられる点が、筋力の低い持久系競技選手の持久力パフォーマンスを向上させる上で、HFLVと持久力トレーニングの同時実施がLFHVと持久力トレーニングの同時実施に比べて優れた効果を期待できる根拠になっていると思われる(9,60,73)。以上のことから、先行研究で持久力パフォーマンスへの効果を調査するのに用いられている爆発的筋力トレーニングは、本稿ではLFHVトレーニングと定義される。

トレーニング未経験者およびレクリエーションレベルのトレーニング実践者を対象とした先行研究において、筋力トレーニングと持久力トレーニングの同時トレーニングは、LIEEとHIEE、有酸素性パワー、最大筋力、筋の形態、および身体組成を向上させることが明らかになっている(27,28,32,34,42,47,49,71,85)。また、HFLVとLFHVの筋力トレーニングは、エリート持久系競技選手のパフォーマンスを向上させることも明らかになっている(58,59,61,64,66,72,73)。近年の文献レビューにおいて、Beattieら(10)は26件の研究結果を取り上げ、十分なトレーニングを積んだアスリートにおいて筋力トレーニングが持久力パフォーマンスにもたらす効果を検証した(10)。その結果、筋力トレーニングは動作の効率性、最大酸素摂取量における走速度($v\dot{V}O_{2max}$)、最大酸素摂取量における発揮パワー($w\dot{V}O_{2max}$)、Maximal Anaerobic Running Test (MART)の最大速度(VMART)、およびタイムトライアルのパフォーマンスを向上させることが明らかになり、また、筋力トレーニング経験の乏しい持久系選手においては、HFLVの筋力をLFHVよりも先に向上させるべ

きであることが示唆された。これらの結果を踏まえて、本稿では、中級～エリートレベルの持久系競技選手を対象に、HFLVおよびLFHVの筋力トレーニングがHIEEとLIEEにもたらす効果を調査した研究を主に取り上げる。本レビューの目的は、持久系競技選手におけるレジスタンストレーニングの有用性を明らかにすること、および競技レベルの持久系選手向けに筋力トレーニングと持久力トレーニングの同時トレーニングを処方するための、科学的根拠に基づいたピリオダイゼーション方策を専門職に提示することの2つである。

筋力トレーニングが持久力パフォーマンスにもたらす効果とそのメカニズム

HFLV筋力トレーニングと持久力トレーニングの同時トレーニング

筋力トレーニングと持久力トレーニングの同時トレーニングがHIEEにもたらす効果を調査した最も初期の研究において、Hicksonら(34)は、中程度にトレーニングを積んでいる($\dot{V}O_{2max}=60\text{ ml/kg/min}$)ランナーと自転車競技選手に、10週間の持久力およびHFLV筋力トレーニング(>80% 1RM)を実施した。その結果、最大仕事率で(4～8分)疲労困憊に至るまで実施するトレッドミルでのランニング(13%)およびエルゴメータでの自転車運動(11%)、そして80% $\dot{V}O_{2max}$ で疲労困憊に至るまで実施する自転車運動(20%)のパフォーマンスがそれぞれ向上した(33)。加えて、筋の横断面積や大腿部周囲径に有意な変化がなかったにもかかわらず、脚部の1RM筋力は平均30%上昇し、それが主に神経系の適応によるものであることが示唆された。

より最近の研究において、Aagaardら(2)は、高度にトレーニングを積んでいるナショナルチーム所属の自転車競技選手($\dot{V}O_2\text{max} = 71 \sim 75 \text{ ml/kg/min}$)に、HFLV筋力トレーニング(主に5~6RM負荷)を16週間、定期的な持久力トレーニングと並行して実施させた。その結果、筋力/持久力トレーニング群は、45分間の自転車テストにおける平均パワー(8%)と総走行距離が増大したのに対し、持久力トレーニングのみの群には変化がみられなかった。そのほか、筋力/持久力トレーニング群には、膝関節伸展筋群の最大随意等尺性筋収縮(MVIC)(12%)、RFDのピーク(20%)、5分間の全力で行なう自転車運動の平均パワー(3~4%)、および45分間のタイムトライアルの平均パワー(8%)の向上がみられたが、筋の横断面積、毛細血管化、および $\dot{V}O_2\text{max}$ に変化はなかった(2)。筋力/持久力トレーニング群のほうが優れたLIEEパフォーマンスを示したのは、外側広筋の筋線維タイプが、タイプII_xからタイプII_aに変化したことによる可能性がある。また、筋力トレーニングによるMVICの増大が、相対的な外的負荷を低下させ、一定の力を発揮するのに必要な運動単位の数が減少した結果、HIEEとLIEEが向上した可能性がある(13)。加えてRFDの向上により、望ましい動作の実施に必要な短縮性力発揮のピークに達する時間が短縮され、その結果、伸張性局面の時間が長くなって筋血流が増大し、毛細血管の平均通過時間が延長したこともLIEEのパフォーマンス向上に寄与した(1,86)。

筋力トレーニングは、筋腱複合体のスティフネスを高めることが報告されている(21,43,51,87)。その結果、伸張性筋活動時に直列および並列弾性

要素に弾性エネルギーを蓄える能力が向上し、ひいては短縮性筋力が増大する。このことは、HFLV筋力トレーニングと持久力トレーニングを一定期間実施すると、ランニングエコノミー(35,51,81)、自転車運動の効率性(8,12,66,83)、およびクロスカントリースキーの効率性(35,36,58)が向上する理由のひとつと考えられている。ただし、すべての研究で筋力トレーニングによる動作の効率性の向上が観察されているわけではなく(2,9,14,45,46,64)、その原因として、トレーニング変数(トレーニング様式、量-負荷、頻度、継続時間など)や被験者のトレーニングステータスの違いが考えられる。例えば、エリート選手はすでに高度な効率性を有するため、筋力トレーニングによって動作の効率性のさらなる向上が生じない可能性がある(64)。

高負荷の筋力トレーニングのほうがパフォーマンスの向上効果が高い理由として、筋腱複合体のスティフネス、高閾値の運動単位の動員、および弾性エネルギーを蓄積し放出する能力を向上させる効果がより高く、その結果、力-速度関係と力-パワー関係が右上方にシフトすることが考えられる(58)。しかしだからといって、LFHV筋力トレーニングが持久系選手に不要ということにはならない。LFHVは一般的に負荷は軽いものの、動作の効率性、およびLIEEとHIEEパフォーマンスの向上に関連づけられるRFDに顕著な向上をもたらすためである(59,72,85,88)。

また、筋腱複合体のスティフネスの増大は、自転車運動よりも伸張-短縮サイクルの貢献度が高いランニングにもたらす効果が大きい(69)。それに対し、筋力トレーニングが自転車運動の効率性とパフォーマンスにもた

らす効果は、長時間の自転車テストの終盤においてより顕著にみられる。Rønnestadら(66)は、HFLV筋力トレーニングと持久力トレーニング(3×4~10RM、週2回を12週間)を実施した結果、持久力トレーニングのみを実施した場合に比べて、185分間の自転車テストの最後の60分間における自転車運動の効率性がより向上したと報告している(66)。また筋力トレーニング群のほうが、最後の1時間における心拍数と血中乳酸濃度が低かった。さらに、185分間のテストの最後の5分間ではスプリントを実施させたが、ここでも筋力トレーニング群では平均パワーが向上したのに対し、持久力トレーニングのみの群では向上しなかった。この「予備の無酸素性能力」が発揮されたのは、タイプI線維の収縮力が向上したことで、より効率性の低いタイプII線維が活性化するタイミングが後ろにずれ、最後のスプリントまで利用が控えられていたためである可能性があると考えられる(69)。そのほか、「予備の無酸素性能力」がテスト終盤のスプリントパフォーマンスで発揮された理由として、筋内に貯蔵されている基質が節約されていたことによる可能性もある。Gorehamら(25)は、12週間のHFLV筋力トレーニングと持久力トレーニング(3×6~8RM、週3回を12週間)を実施した結果、持久力トレーニングのみを実施した場合に比べて、72% $\dot{V}O_2\text{max}$ の自転車運動を30分間実施した後の筋のクレアチンリン酸(PCr)とグリコーゲンの含有量が高く、乳酸濃度が低かったと報告している(25)。

また先行研究では、>70% 1RMの負荷で筋力トレーニングを実施した持久系選手は、それ以下の負荷で筋力トレーニングを実施した持久系選手に比べて、動作の効率性と持久力パフォー

マンスの変化の程度が大きかったことが明らかになっている(36,48,73)。Sedanoら(73)は、スペインの全国レベルのランナー($\dot{V}O_2\text{max} = > 65 \text{ ml/kg/min}$)を対象に、12週間の高負荷筋力トレーニング(>70% 1RM)を実施させたところ、より低負荷の筋力トレーニング群(<40% 1RM)、およびコントロール群(サーキットトレーニング)に比べて、ランニングエコノミー、カウンタームーブメントジャンプ(CMJ)の跳躍高、 $v\dot{V}O_2\text{max}$ 、および3kmタイムトライアルのパフォーマンスがより大きく変化したと報告している

(73)。同様にGuglielmoら(26)は、地区および全国レベルの中・長距離選手($\dot{V}O_2\text{max} = \text{約} 61.9 \text{ ml/kg/min}$)を対象に、ランニングと高負荷筋力トレーニング(6RM負荷で3~5セット)の同時トレーニングをわずか4週間実施させただけで、ランニングと低負荷筋力トレーニング(12RM負荷で3~5セット)の同時トレーニングに比べて、ランニングエコノミー、1RM筋力、およびCMJの跳躍高がより大きく変化したと報告している(26)。一方で、HFLV筋力トレーニングが自転車運動の効率性にもたらす効果については研究結果が

一貫しないが、それでもLIEEとHIEEのパフォーマンスには向上がみられる(2,64,65,83)。さらに、HFLV筋力トレーニングの効果は、持久力運動の高強度局面に最も顕著に表れることを示唆する先行研究がある一方で(9,49,66)、それとは逆の結果を示した研究もある(23,45)(表1)。

LFHV筋力トレーニングと持久力トレーニングの同時トレーニング

LFHV筋力トレーニングもまた、HIEEとLIEEパフォーマンスに向上をもたらすとの報告があるが(59,74,85)、

表1 HFLV筋力トレーニングと持久力トレーニングの同時トレーニングがHIEEとLIEEにもたらす効果

研究	被験者	$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min)	筋力トレーニング	HIEE	LIEE
HFLV ST					
Størenら(82)	十分にトレーニングを積んだ男女ランナー17名	59.9	4×4RM、週3回を8週間		MASにおけるTEが21.3%延長
Jacksonら(39)	競技経験半年以上の男女自転車競技選手23名	52	4×4RM、週3回を10週間	$v\dot{V}O_2\text{max}$ はNS	30km TTはNS
Levinら(45)	競技経験1年以上の男性自転車競技選手14名	62.8	4×5RM、週3回を6週間(HFLV)	ラスト1kmのスプリントのPPはコントロール群>ST群	30km TTはNS
Rønnestadら(66)	十分にトレーニングを積んだ男女自転車競技選手20名	66.4	4~10RM、週2回を12週間	Wmaxが4.2%向上	185分TTの最後の5分間のMPが7%向上
Rønnestadら(64)	全国レベルの男女自転車競技選手20名	66.4	4~10RM、週2回を12週間	ウィングテストのPPが9.4%向上、Wmaxが4.3%向上	40分TTのMPが6%向上
Rønnestadら(65)	全国レベルの男女自転車競技選手12名	66.3	4~10RM、週2回を25週間	Wmaxが8%向上、ウィングテストのPPが向上	
Rønnestadら(68)	全国/国際レベルの男性クロスカントリースキー選手17名	66.2	3~5×4~8RM、4~5×3~5RM、週2回を12週間		7.5kmローラースキーTTはNS
Rønnestadら(67)	全国/国際レベルの男性自転車競技選手16名	75.5	4~10RM、週2回を10週間、週1回を15週間	Wmaxが3%向上、ペダリングがピークトルクに達するまでの時間が短縮	40分TTのMPが6.5%向上
Sundeら(83)	競技レベルの男女自転車競技選手13名	61.1	4×4RM、週3回を8週間		MAPにおけるTEが17.2%延長
Aagaardら(2)	国際レベルの男性自転車競技選手14名	72.5	3×12RM、3×10RM、3×8RM、2~3×6RM、週2~3回を16週間		45分TTが8%向上
Hoffら(36)	週8.8時間のトレーニングを積んでいる女性クロスカントリースキー選手15名	55.3	3×6RM(ブルダウン)、週3回を9週間		WmaxにおけるTEが137%延長

表1 HFLV筋力トレーニングと持久力トレーニングの同時トレーニングがHIEEとLIEEにもたらす効果(つづき)

研究	被験者	$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min)	筋力トレーニング	HIEE	LIEE
Hoffら (35)	十分にトレーニングを積んだ男性クロスカントリースキー選手19名	69.4	3×6RM(プルダウン)、週45分を8週間		$\dot{V}O_2\text{max}$ におけるTEが56%延長
Østeråsら (58)	十分にトレーニングを積んだ競技経験5年以上の男性クロスカントリースキー選手19名	61.2	3×6RM(プルダウン)、週45分を9週間		$\dot{V}O_2\text{max}$ におけるTEが61%延長
Losnegardら (46)	全国レベルの男女クロスカントリースキー選手19名	64.7	3×6 ~ 10RM、3×5 ~ 8RM、4×8RM、3×4 ~ 6RM、週1~2回を12週間	ローラースキーのスプリントの20m、40m、60m、80m、および100mにおける速度はNS	1.1kmダブルポーリングTTが7%向上、5分間ダブルポーリングのW/kgが向上
Milletら (51)	エリート/国際レベルのトライアスロン選手15名	68.7	3×5RM、4×5RM、5×5RM、週2回を14週間	$\dot{V}O_2\text{max}$ が2.6%向上	
Hauswirthら (31)	地区/全国レベルの男性トライアスロン選手14名	69.2	3~5×3~5RM、週3回を5週間		2時間自転車テストのラスト1時間におけるFCCを維持
Sedanoら (73)	全国レベルの男性ランナー18名	69.5	レッグエクササイズを70%1RMで3×7、週2回を12週間(HFLV群)	$\dot{V}O_2\text{max}$ が向上(ES:0.87)	3km TTはHFLV群 > LFHV群 > コントロール群(P < 0.05)
Guglielmoら (26)	地区/全国レベルの男性ランナー16名	61.9	3~4×6RM、週2回を4週間(HFLV群)	vOBLAが6.7%向上	
Barnesら (7)	大学男女クロスカントリーランニング選手42名	63.8	2~4×6~15RM、4×5~10RM、4×4~8RM、2×3~6RM、週2回を7/10週間(HFLV群)	5ジャンプテストにおけるPFが10%向上、 $\dot{V}O_2\text{max}$ が1.6%向上	5kmの平均タイムは男性では<コントロール群、女性では>コントロール群

ES=エフェクトサイズ、FCC=自転車運動における任意の回転数、HFLV=高フォース-低速度、HIEE=高強度運動持久力、LFHV=低フォース-高速度、LIEE=低強度運動持久力、MAP=最大有酸素性パワー、MAS=最大有酸素性スピード、ME=動作の効率性、MP=平均パワー、NS=有意差なし、OBLA=血中乳酸蓄積開始点、PF=ピークフォース、PP=ピークパワー、ST=筋力トレーニング、TE=疲労困憊に至るまでの時間、TT=タイムトライアルのパフォーマンス、V_{max}=Maximal Anaerobic Running Testの最大速度、 $\dot{V}O_2\text{max}$ =最大酸素摂取量、W_{max}= $\dot{V}O_2\text{max}$ におけるピークパワー。

研究結果は一貫していない(7,45,60) (表2)。Paavolainenら(59)は、男性クロスカントリーランニング選手($\dot{V}O_2\text{max}$ = 約64.4ml/kg/min)を対象に、LFHV筋力トレーニング(<40% 1RM)を実施させたところ、5km走のタイム、ランニングエコノミー、VMART、20mスプリントのスピード、および5ジャンプテストの距離が向上したが、持久力トレーニングのみの群ではこれらの測定値に変化はなかったと報告している(59)。なお、このLFHV筋力トレーニングは、各種のプライオメトリックエクササイズと

ショートスプリント(20~100m)で構成されており、このことは、筋力トレーニングセッションに用いられたバーベルの絶対的負荷は比較的軽かったとしても、筋骨格系に加えられた力は選手たちがそれまで慣れていた力をはるかに上回るものであったことを示唆している。

また、持久系選手においては体重の増加が関心事となるため、LFHV筋力トレーニングがもたらす利点のひとつとして考えられるのが、HFLV筋力トレーニングに比べて筋肥大の程度が抑えられ(28,70)、それでもなお筋力を向

上させられることである。加えて、筋力と持久力の同時トレーニングにおいては、筋の横断面積(CSA)、最大筋力、およびパワー発揮能力の向上効果が、持久力トレーニングの様式、頻度、および継続時間によって様々な程度に減殺され、向上効果が低下または完全に抑制される場合がある(2,14,34,42)。またRønnestadら(64)は、十分なトレーニングを積んだ自転車競技選手に、高負荷筋力トレーニング(週2回、3×4~10RM)と持久力トレーニングを実施させたところ、ピークパワーと自転車タイムトライアルのパフォーマンス

表2 LFHV筋力トレーニングと持久力トレーニングの同時トレーニングがHIEEとLIEEにもたらす効果

研究	被験者	$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min)	筋力トレーニング	HIEE	LIEE
LFHV ST					
Paavolainenら (59)	エリート男性クロスカンントリーランニング選手 18名	67.7	ジャンプ(片脚、両脚、ドロップ、ハードル)、ショートスプリント(20~100m)、0~40% 1RMで5~20レップ/セットを9週間	20mスプリントの速度が3.4%向上、 V_{mart} が向上 ($P < 0.05$)	5km TTが5.1%向上
Spurrsら (74)	トレーニングを積んだ男性ランナー 17名	57.6	プライオメトリックドリル、接地回数を60から180へ漸進、週2回を6週間		3km TTが2.7%向上
Mikkolaら (48)	高校男女ランナー 25名	62.1	ショートスプリント(30~150m)、2~3×6~10、週3回を8週間	$\dot{V}O_2\text{max}$ は1.2%の向上でNS、 V_{mart} は3%向上	
Berrymanら (12)	地区レベルの標準的男性ランナー 28名	56.9	ドロップジャンプとコンセントリックスクワットジャンプ、週1回を8週間	$\dot{V}O_2\text{max}$ が向上 (ES:0.43)	3km TTが向上 (ES:0.37)
Bastiaansら (9)	競技レベルの男性自転車競技選手 14名(6年以上)		2~4×30のスクワット、レッグプレス/プル、ステップアップ、体幹エクササイズ、週3回を9週間	W_{max} が4.7%向上	60分TTが7.9%向上
Mikkolaら (50)	全国レベルの男性クロスカンリースキー選手 19名	66.5	ダブルポールのスプリント(10×10秒)、レッグエクササイズ(3×6~10のスプリント、ジャンプ、ポゴ)、週3回を8週間	2kmボーリングの速度はNS、30mダブルボーリングは1.4%向上	
Guglielmoら (26)	地区/全国レベルの男性ランナー 16名	61.9	3~4×12RM、週2回を4週間	$\dot{V}O_2\text{max}$ が1%向上	
Sedanoら (73)	全国レベルの男性ランナー 18名	69.5	レッグエクササイズ、40% 1RMで3×20、週2回を12週間	$\dot{V}O_2\text{max}$ が向上 (ES:0.61)	3km TTがわずかに向上 ($P < 0.05$)

ES=エフェクトサイズ、FCC=自転車運動における任意の回転数、HFLV=高フォース-低速度、HIEE=高強度運動持久力、LFHV=低フォース-高速度、LIEE=低強度運動持久力、MAP=最大有酸素性パワー、MAS=最大有酸素性スピード、ME=動作の効率性、MP=平均パワー、NS=有意差なし、OBLA=血中乳酸蓄積開始点、PF=ピークフォース、PP=ピークパワー、ST=筋力トレーニング、TE=疲労困憊に至るまでの時間、TT=タイムトライアルのパフォーマンス、 V_{mart} =Maximal Anaerobic Running Testの最大速度、 $\dot{V}O_2\text{max}$ =最大酸素摂取量、 W_{max} = $\dot{V}O_2\text{max}$ におけるピークパワー。

が向上し、大腿四頭筋のCSAの増大がこれに関連づけられたが、一方で体重の目立った変化はなかったと報告している(64)。このことから、持久系選手においては体重だけを気にするより、体重当たりの筋力の変化に関心を向けるべきである。さらに、典型的な外胚葉型の持久系選手は筋力トレーニングを実施してもあまり大きな筋肥大は生じないため(89)、「非機能的な」筋肥大はパフォーマンスに悪影響を及ぼしうるとしても(3,86,91)、課題特異的な筋肥大は持久力パフォーマンスの向上に重要な役割を果たす可能性がある。

またLFHV筋力トレーニングは、HFLV筋力トレーニングがHIEEおよ

びLIEEパフォーマンスにもたらす効果が相加効果を提供する可能性が示唆されている(85)。Taipaleら(85)は、長距離選手を3つの群(LFHV、HFLV、複合)に分けてこの仮説を検証したところ、各群間で筋力(1RM)、パワー(CMJの跳躍高)、および持久力パフォーマンスの測定値に差はみられなかったと報告している(85)。トレーニング刺激が実施されてからパフォーマンスに効果が表れるまでには時間差があることを考えると(90)、筋力、パワー、および持久力をすべて同時に強化するより、連続的に配列して強化するほうが適切と考えられる(15,81)。

トレーニング理論

トレーニング過程

あらゆるトレーニングプログラムの主な目的は、傷害リスクを低減し、パフォーマンスを最適化することである(81)。しかし、トレーニングプログラムの作成に入る前に、コーチと選手は、トレーニングが選手の能力向上を促進するいくつかの要素を組み合わせた包括的プロセスであることを理解しなくてはならない。図1に、パフォーマンスに影響を及ぼす要素の一部を示した。またそのようなことから、スポーツコーチ、ストレングス&コンディショニング(以下S&C)スタッフ、およびスポーツ医学専門職は、それぞれの

専門分野において重要な役割を果たし、選手の能力向上に寄与するのである。さらには、選手の日常生活における外的なストレス要因を管理することも、パフォーマンスを最適化するためには重要である。しかし、このような目的を達成するためには、トレーニング過程の全体にわたってトレーニング変数を連続的に配列しなくてはならない(79)。伝統的に、トレーニング過程はマクロサイクル、メゾサイクル、およびミクロサイクルという3つの基本単位からなる(79)。マクロサイクルは長期のトレーニングサイクルであり、通常は12ヶ月のトレーニング期間がこれに分類され、いくつかのメゾサイクルで構成される。メゾサイクルは中期のトレーニングサイクルであり、マクロサイクルにおける個々の体力特性の強化を重点的に行なう。さらにこのメゾサイクルは、ミクロサイクルという短期のトレーニングサイクルで構成される(79)。そして、マクロサイクル内の各トレーニング段階を構成するのに用いられるツールが、「年間トレーニング計画」である(15)。

具体的に言うと、年間トレーニング計画とは、様々なトレーニング段階の計画と実施にあたって、コーチと選手が指針とする長期トレーニングのテンプレートである(15)。この年間トレーニング計画は、一般的準備、試合、ピーキング、および積極的休養といったトレーニング段階に分けられる(図2)。個々の段階の詳細については、Bompa & Haff(15)の文献を参照してほしい。

ピリオダイゼーション

傷害リスクを低減し、パフォーマンスを最大限に向上させるために、S&C専門職は疲労を抑え、各種の技術特性と体力特性(筋力、スピード、持久

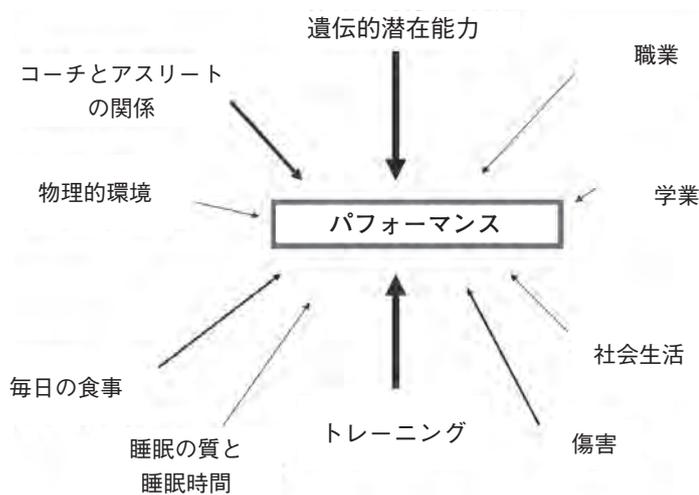


図1 競技パフォーマンスに影響を及ぼす諸因子。Stoneら(81)より改変。
以下より許可を得て転載:M.H. Stone、M. Stone、W.A. Sandsによる「Principles and Practice of Strength Training」(Champaign, IL: Human Kinetics: 203, 2007)

力など)を年間トレーニング計画の決まった時期に強化することで「個々のパフォーマンス目標の達成可能性を高める」べく、トレーニング適応を論理的に配列する(79)。このように生理学的適応を時系列で操作するプロセスを、ピリオダイゼーションという。この用語をめぐっては様々な定義が提案されているが、ピリオダイゼーションの最新の定義は「仕事量の様々なサイクルやステージによって定義されるトレーニング段階を連続的に配列することで、選手の準備状態を戦略的に操作すること」というものである(22)。さらに、トレーニング刺激を適切に配列すれば、個々のトレーニング段階は次のトレーニング段階の効果を「増強」すなわち一層高めることになる(15,79,81)。この概念は各段階の増強効果と呼ばれ、持久力関連のパフォーマンス特性を強化する上で不可欠である。

持久系競技におけるパワーの重要性

大きなパワー発揮と高いRFDの獲得は、ほとんどの競技の成功にとって非

常に重要であり(76)、競技パフォーマンスのレベルを分ける要素となりうる(5,6,29)。最大パワーとRFDは従来、持久系競技においては重要性が低い体力特性とみなされている。しかし、これは誤りであり、長距離レース全体で発揮される平均パワーと、最後のスプリントにおける最大パワーは、試合の結果を決定づけるきわめて重要な要素であることを示唆する研究データがある(56,58,80)。

パワーの強化における筋力の重要性

パワーは「仕事率」と定義され(40)、定量的には、 $\text{パワー} = \text{力} \times \text{速度}$ と表される(55)。したがって、選手が発揮パワーを増やすには、発揮する力を増やすか、骨格筋の短縮速度を高めるかのいずれかである。ただし、骨格筋の短縮速度は、ATPによる解離を通じて究極的にクロスブリッジの形成速度を決定するミオシンATPアーゼの活動に制限される(57)。したがって、パワーの向上には最大筋力が非常に重要な役割を果たすことになる(76)。要するに、

力の発揮能力を高めることは、パワー発揮を高める機会をもたらすのである。

持久系競技選手のための トレーニング配列

各トレーニング段階の順序と期間

筋力とパワーの強化方法として最初にStoneら(78)が提唱したのは、筋力-持久力、基礎筋力、筋力、およびパワーという4つのトレーニング段階を連続させるというものである(78)。以後、この筋力とパワーの強化モデルは、先述した各段階の増強効果の概念と併せて、その効果を裏付けるデータを蓄積しており(30,52,93)、ブロックピリオダイゼーション(38)、または結合した連続体システム(90)とも呼ばれている。なお、期間の長さはひとつのトレーニング段階を4週間として、最初の3週間は負荷を漸増し、最後の1週間は負荷を軽減した無負荷の週として回復へと移るとというのが従来推奨されているやり方である(15,63,81)。ただし、各段階の長さは、トレーニングの相対的強度、トレーニング量、シーズンの各時期、選手のニーズ、その他の外部要因によって変動する。個々のトレーニング段階をどのような長さにするにせよ、専門職が忘れてはならないのは、トレーニング効果の減衰すなわち低下は、トレーニング期間の長さに比例して進行するとみられることである(81,94)。したがって、トレーニング段階を適度な長さで適切に配列することが、それまでの段階で強化した体力特性をさらに向上させ、減衰しにくくする方法となる。加えて、新たなトレーニング段階ではまた別の体力特性を強化して選手の準備度をさらに高め、直前のトレーニング段階で蓄積した疲労を解消することができる(81)。

また、これらの変数を操作するためのモデルは複数あるが、先述した配列による筋力とパワーの向上に適しているのは伝統的なモデルである(79,81)。年間トレーニング計画の一般的準備段階においては、多量の筋力トレーニングを処方して、作業容量の向上と除脂肪体重の増加を図る(15)。体重の増加に対する懸念もあるが、多くの持久系選手にとって、一般的準備段階は年間計画の中で筋肥大をわずかでも達成できる数少ない機会である。ここで筋肥大を達成することが、後に続くトレーニング段階において最大筋力とパワーの向上効果を一層高めることにつながる。一般的準備段階を終え、マクロサイクルにおける専門的準備段階、および試合段階へ進むと、重点的に強化する体力特性がそれぞれ筋力とパワーになるため、筋力トレーニングは量を漸減して強度を漸増する(38)。そして競技シーズンの最後となる試合(選手権大会など)の直前には、ピーキングまたはテーパリング段階と呼ばれる「トレーニング負荷を低減する期間を状況に応じた長さで設け、日々のトレーニングで蓄積した生理学的、心理学的ストレスの緩和とパフォーマンスの最適化」を図る(53)。ピーキング段階を終えたと、選手はオフシーズンに移行し、その間は積極的休養として強度も量も軽く、回復を目的とするレクリエーション活動を実施する(81)。

トレーニングの量と強度

望ましい生理学的反応を促進するためには、各トレーニング段階に適したトレーニングの量と強度を選択することが非常に重要である。筋力トレーニングの経験に乏しい持久系選手には、伝統的なモデルが適している(79,81)。持久系選手は、まずHFLV筋力トレー

ニングによって神経筋系の基礎的能力を獲得し、ある程度の筋力を備えてからLFHV筋力トレーニングを導入する(10)。この手法を裏付ける研究データがあり、十分なトレーニングを積んだ選手において、LFHVは力-速度関係の高速の領域にさらなる変化をもたらすために必要であることが示唆されている(30,77)。したがって、HFLVとLFHVの筋力トレーニングは、適切な時期に適切な配列で処方される限り、いずれも持久系選手のS&Cプログラムにとって重要な構成要素である(図2)。

ただし、エリートレベルでは、ほとんどの持久系選手が1回の競技シーズン中に複数の重要な試合に出場するため、多くの場合、ピーキング段階がひとつしかない伝統的モデルは実用に適さない。したがって、トレーニングの量と強度を操作して特定の生理学的適応をもたらすタイミングを、そのような試合スケジュールに一致させなくてはならない(80)。伝統的モデルと異なり、選手がピーキング段階を終えて、そのシーズンの重要な試合に出場した後も、さらなる計画を立て、その後の大きな試合に向けて選手の準備を整える必要がある(80,81)。例えば、次の大きな試合までに十分な時間がある場合は、筋力トレーニングの量を増やして筋力を再構築していくとよい(63,79)。反対に、時間があまりない場合は、筋力トレーニングの増量を慎重に行なって、次の試合までに過度の疲労が蓄積しないようにする(63,80,81)。

持久系競技選手のための

エクササイズ選択

個々のトレーニング段階に処方するエクササイズを選択するにあたって、専門職と選手はトレーニング効果の転

移を考慮しなくてはならない。すなわち、あるエクササイズを実施することで、パフォーマンスにどの程度の適応が生じるかということである(11,81)。そのため、動作パターンや運動力学的パラメータ(ピークフォース、RFD、加速度など)が競技パフォーマンスと類似したエクササイズを選択すれば、パフォーマンスへの転移効果は増大する(11)。一部の持久系競技の動作、例えばランニングなどの動作は、クローズドキネティックチェーンとオープンキネティックチェーンの両方の局面を有するが、クローズドキネティックチェーンエクササイズは、オープンチェーンの動作に比べて求められる筋間コーディネーションのレベルが高く(76)、パフォーマンスの向上効果が大きいことが示唆されているため(62,75)、クローズドキネティックチェーンエクササイズを優先的に処方すべきである。その主な例は、伝統的なスクワットやウエイトリフティング動作である。さらにスクワットの筋力は、比較的高い速度と発揮パワー、およびRFDを要するスポーツ動作と強く相関している(6,18)。またウエイトリフティングエクササイズとそのバリエーションも、そのような動作にトレーニング効果が転移しやすいことが明らかになっている(4,16,37)。これらのエクササイズは実際の競技において、対戦相手を追い抜く局面や、動作の効率性の向上、平均パワーの増大、およびレースの最後の100mで行なうスプリントに役立つ(56,58,80)。これらのエクササイズが筋力とパワーの向上に果たす重要な役割と、それがHIEEおよびLIEEにもたらす効果を考えると、スクワットとウエイトリフティング動作は持久系選手の年間トレーニングの中心的要素とすべきである。

現場への応用

持久系選手の同時トレーニングを考察した先行研究において、最大筋力は持久力の諸要素に関連しており、LIEEよりもHIEEにおいてその関連性が強い可能性が示唆されている。またHFLV筋力トレーニングは、ピークフォースとRFDを向上させることでHIEEとLIEEに向上効果をもたらす。一方のLFHV筋力トレーニングも、HIEEとLIEEパフォーマンスを向上させるとの報告があるが、研究結果は一貫していない。筋力トレーニングが持久力パフォーマンスや関連指標にもたらす変化を検証した研究の結果から、比較的筋力の低い持久系選手においては、HFLV筋力トレーニングと持久力トレーニングの同時トレーニングのほうが、LFHV筋力トレーニングと持久力トレーニングの組み合わせに比べて優れた効果が得られると考えられる。また、ある程度の筋力トレーニングを積んでいる持久系選手には、トレーニングを連続的に配列する手法(ブロックピリオダイゼーションなど)を適用するほうが、筋力、パワー、持久力を同時に強化するよりも適切と考えられる。

また先行研究には、トレーニングプロトコルのデザインと実施に関して限界が存在する。異なる筋力トレーニング様式を比較した一部の研究は、筋力および持久力トレーニングの量が実験条件間で異なるのを調整していない。そのほか、筋力トレーニングを組み込む代わりに持久力トレーニングの量を減らしていないという問題もあり、これを調整している研究はわずかである。競技の現場において量の調整を怠れば、疲労を十分に管理できず、オーバートレーニング症候群のリスクが高まるおそれがある。持久力トレーニン

グと筋力トレーニングの変数を慎重に操作した年間トレーニング計画を実施し、トレーニング量を適切に管理することが、傷害リスクを低減しつつ競技パフォーマンスを最大限に高める効果をもたらす。なお今後の研究では、モニタリングプログラムによって、トレーニング変数の操作タイミングをマクロサイクル全体にわたって見極める手法の効果と、それが持久力パフォーマンスにもたらす効果について検証する必要がある。◆

謝辞

本稿執筆にあたって、訂正および編集上の助言を提供してくれたJacob Goodin氏に謝意を表す。

※「References」は誌面の都合によりウェブサイトのみの掲載いたします。参照ご希望の方は、

<http://www.nscjapan.or.jp>

から会員専用ページにログインしてご覧ください。

From *Strength and Conditioning Journal*
Volume 37, Number 2, pages 1-12.

著者紹介



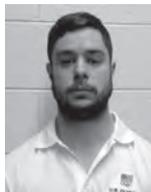
Caleb D. Bazzyler:
East Tennessee State Universityのエクササイズおよびスポーツ科学部とスポーツ科学およびコーチ教育センター・オブ・エクセレンス(COE)で博士号を取得中。



Heather A. Abbott:
East Tennessee State Universityのエクササイズおよびスポーツ科学部とスポーツ科学およびコーチ教育センター・オブ・エクセレンス(COE)で博士号を取得中。



Christopher R. Bellon:
East Tennessee State Universityのエクササイズおよびスポーツ科学部とスポーツ科学およびコーチ教育センター・オブ・エクセレンス(COE)で博士号を取得中。



Christopher B. Taber:
East Tennessee State Universityのエクササイズおよびスポーツ科学部とスポーツ科学およびコーチ教育センター・オブ・エクセレンス(COE)で博士号を取得中。

Michael H. Stone:
East Tennessee State Universityのスポーツ科学およびコーチ教育センター・オブ・エクセレンス(COE) / エクササイズおよびスポーツ科学部で研究所責任者と博士課程コーディネーターを務める。

NSCAジャパン主催セミナー

日程	講習会名		内容	講師	CEU
	時間、定員	開催地			
3/11 (日)	南関東地域ディレクターセミナー		チームスポーツで抑えておくべきプログラムの勘どころと指導の実践	弘田雄士 CSCS, 鍼師, きゅう師	0.5 (A)
	10:00 ~ 16:00 定員30名	NSCAジャパンHuman Performance Center (千葉県流山市前平井85)			
3/18 (日)	甲信越地域ディレクターセミナー		腰部障害に対する評価とコンディショニング～腰部骨盤帯・呼吸運動・姿勢統合的コンディショニング～	嶋田 進 NSCA-CPT, レベルアッププログラムI認定, 日本協公認AT, 鍼灸師	0.6 (A)
	9:30 ~ 16:30 定員25名	アップルスポーツカレッジ コンディショニングセンター (新潟県新潟市中央区長潟2-2-8)			
3/21 (水祝)	東海地域ディレクターセミナー 兼 島田市総合スポーツセンター愛好者と指導者のためのトレーニング講習会		特徴的なクライアントに対するスポーツ栄養のアプローチ～ストレングス、エンデュランス～ 特徴的なクライアントに対するスポーツ栄養のアプローチ～女性、高齢者、成長期～	清野 隼 MS, CSCS, NSCA-CPT, 管理栄養士	0.4 (A)
	12:30 ~ 16:45 定員30名	島田市総合スポーツセンターローズアリーナ 1F 研修室 (静岡県島田市野田1689)			
3/24 (土)	レベル I 検定種目・練習セミナー		レベル I 検定合格を目指す方のために、実技の練習セミナーとして実施します。	又吉孝昭 CSCS,*D, NSCA-CPT,*D, 認定検定員	0.25 (A)
	13:00 ~ 15:30 定員10名	聖カタリナ大学記念体育館およびヘルスプロモーションセンター「Salute」 (愛媛県松山市北条660)			
4/9 (月)	関西地域ディレクターセミナー		ケトルベルのベーシックエクササイズ	藤田賀史 CSCS, レベルアッププログラムII認定	0.15 (A)
	18:30 ~ 20:00 定員20名	大阪商業大学総合体育館 B1ウエイトリフティング部 (大阪府東大阪市御厨栄町4-1-10)			
受講料 (税込)	【3/11南関東】 NSCA会員:5,400円 一般:6,480円 【3/18甲信越】 NSCA会員:6,480円 一般:7,776円 【3/21東海】 NSCA会員:4,320円 一般:5,184円 【3/24レベルI練習】 NSCA会員:2,700円 一般:3,240円 【4/9関西】 NSCA会員:1,620円 一般:1,994円				

◆レベルアッププログラムについては、ウェブサイトをご参照ください。

※2ヵ月前より受付を開始します。参加ご希望の方は、ウェブサイトからお申し込みください。ウェブサイトをご覧になれない方は、事務局までお電話ください(TEL:04-7197-2064)。

※内容等は予告なく変更となる場合があります。最新の情報はウェブサイトをご確認ください。セミナーは定員に達している場合がございます。

※開催1週間前を過ぎますと、キャンセルチャージとして受講料の100%を申し受けます。開催1週間前までにご入金がない場合、受付をキャンセルとさせていただきます場合がございますのでご了承ください。

持久系競技選手のための筋力トレーニング：理論から実践まで
Strength Training for Endurance Athletes: Theory to Practice

References

1. Aagaard P, Andersen JL. Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports* 20(Suppl 2): 39–47, 2010.
2. Aagaard P, Andersen JL, Bennekou M, Larsson B, Olesen JL, Cramer R, Magnusson SP, Kjaer M. Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scand J Med Sci Sports* 21: 298–307, 2011.
3. Abe T, Kojima K, Kearns CF, Yohena H, Fukuda J. Whole body muscle hypertrophy from resistance training: Distribution and total mass. *Br J Sports Med* 37: 543–545, 2003.
4. Arabatzi F, Kellis E, Saez-Saez De Villarreal E. Vertical jump biomechanics after plyometric, weight lifting, and combined (weight lifting + plyometric) training. *J Strength Cond Res* 24: 2440–2448, 2010.
5. Baker D. Comparison of upper-body strength and power between professional and college-aged rugby league players. *J Strength Cond Res* 15: 30–35, 2001.
6. Baker D, Nance S. The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. *J Strength Cond Res* 13: 230–235, 1999.
7. Barnes KR, Hopkins WG, McGuigan MR, Northuis ME, Kilding AE. Effects of resistance training on running economy and cross-country performance. *Med Sci Sports Exerc* 45: 2322–2331, 2013.
8. Barrett-O'Keefe Z, Helgerud J, Wagner PD, Richardson RS. Maximal strength training and increased work efficiency: Contribution from the trained muscle bed. *J Appl Physiol* (1985) 113: 1846–1851, 2012.
9. Bastiaans JJ, van Diemen AB, Veneberg T, Jeukendrup AE. The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 86: 79–84, 2001.
10. Beattie K, Kenny IC, Lyons M, Carson BP. The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Med* 44: 845–865, 2014.
11. Behm DG. Neuromuscular implications and applications of resistance training. *J Strength Cond Res* 9: 264–274, 1995.
12. Berryman N, Maurel D, Bosquet L. Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. *J Strength Cond Res* 24: 1818–1825, 2010.
13. Bieuzen F, Lepers R, Vercruyssen F, Hausswirth C, Brisswalter J. Muscle activation during cycling at different cadences: Effect of maximal strength capacity. *J Electromyogr Kinesiol* 17: 731–738, 2007.
14. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT, McEniery M, Carey MF. The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Med Sci Sports Exerc* 31: 886–891, 1999.
15. Bompa T, Haff G. *Periodization: Theory and Methodology of Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2009.
16. Channell BT, Barfield JP. Effect of Olympic and traditional resistance training on vertical jump improvement in high school boys. *J Strength Cond Res* 22: 1522–1527, 2008.

17. Coffey VG, Hawley JA. The molecular bases of training adaptation. *Sports Med* 37: 737–763, 2007.
18. Comfort P, Bullock N, Pearson SJ. A comparison of maximal squat strength and 5-, 10-, and 20-meter sprint times, in athletes and recreationally trained men. *J Strength Cond Res* 26: 937–940, 2012.
19. Cormie P, McCaulley GO, McBride JM. Power versus strength-power jump squat training: Influence on the load-power relationship. *Med Sci Sports Exerc* 39: 996–1003, 2007.
20. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Med Sci Sports Exerc* 42: 1566–1581, 2010.
21. Craib MW, Mitchell VA, Fields KB, Cooper TR, Hopewell R, Morgan DW. The association between flexibility and running economy in sub-elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 28: 737–743, 1996.
22. DeWeese BH, Gray HS, Sams ML, Scruggs SK, Serrano AJ. Revising the definition of periodization: Merging historical principles with modern concern. In: *Olympic Coach*. Colorado Springs, CO: United States Olympic Committee, 2013. pp. 5–19.
23. Docherty D, Sporer B. A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. *Sports Med* 30: 385–394, 2000.
24. Fyfe JJ, Bishop DJ, Stepto NK. Interference between concurrent resistance and endurance exercise: Molecular bases and the role of individual training variables. *Sports Med* 44: 743–762, 2014.
25. Goreham C, Green HJ, Ball-Burnett M, Ranney D. High-resistance training and muscle metabolism during prolonged exercise. *Am J Physiol* 276: 489–496, 1999.
26. Guglielmo LG, Greco CC, Denadai BS. Effects of strength training on running economy. *Int J Sports Med* 30: 27–32, 2009.
27. Hakkinen K, Alen M, Kraemer WJ, Gorostiaga E, Izquierdo M, Rusko H, Mikkola J, Hakkinen A, Valkeinen H, Kaarakainen E, Romu S, Erola V, Ahtiainen J, Paavolainen L. Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol* 89: 42–52, 2003.
28. Hakkinen K, Komi PV, Alen M. Effect of explosive type strength training on isometric force- and relaxation-time, electromyographic and muscle fibre characteristics of leg extensor muscles. *Acta Physiol Scand* 125: 587–600, 1985.
29. Hansen KT, Cronin JB, Pickering SL, Douglas L. Do force-time and power-time measures in a loaded jump squat differentiate between speed performance and playing level in elite and elite junior rugby union players? *J Strength Cond Res* 25: 2382–2391, 2011.
30. Harris GR, Stone MH, O'Bryant HS, Proulx CM, Johnson RL. Short-term performance effects of high power, high force, or combined weight training methods. *J Strength Cond Res* 14: 14–20, 2000.
31. Hausswirth C, Argentin S, Bieuzen F, Le Meur Y, Couturier A, Brisswalter J. Endurance and strength training effects on physiological and muscular parameters during prolonged cycling. *J Electromyogr Kinesiol* 20: 330–339, 2010.
32. Hennessy LC, Watson AW. The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *J Strength Cond Res* 8: 12–19, 1994.
33. Hickson RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 45: 255–263, 1980.
34. Hickson RC, Dvorak BA, Gorostiaga EM, Kurowski TT, Foster C. Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol* (1985) 65: 2285–9220, 1988.

35. Hoff J, Gran A, Helgerud J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports* 12: 288–295, 2002.
36. Hoff J, Helgerud J, Wisløff U. Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc* 31: 870–877, 1999.
37. Hori N, Newton RU, Andrews WA, Kawamori N, McGuigan MR, Nosaka K. Does performance of hang power clean differentiate performance of jumping, sprinting, and changing of direction? *J Strength Cond Res* 22: 412–418, 2008.
38. Issurin VB. New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Med* 40: 189–206, 2010.
39. Jackson NP, Hickey MS, Reiser RF. High resistance/low repetition vs. low resistance/high repetition training: effects on performance of trained cyclists. *J Strength Cond Res* 21: 289–295, 2007.
40. Knudson DV. Correcting the use of the term “power” in the strength and conditioning literature. *J Strength Cond Res* 23: 1902–1908, 2009.
41. Knuttgen HG. Strength training and aerobic exercise: Comparison and contrast. *J Strength Cond Res* 21: 973–978, 2007.
42. Kraemer WJ, Patton JF, Gordon SE, Harman EA, Deschenes MR, Reynolds K, Newton RU, Triplett NT, Dziados JE. Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* (1985) 78: 976–989, 1995.
43. Kubo K, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of resistance and stretching training programmes on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *J Physiol* 538: 219–226, 2002.
44. Leveritt M, Abernethy PJ, Barry BK, Logan PA. Concurrent strength and endurance training. A review. *Sports Med* 28: 413–427, 1999.
45. Levin GT, McGuigan MR, Laursen PB. Effect of concurrent resistance and endurance training on physiologic and performance parameters of well-trained endurance cyclists. *J Strength Cond Res* 23: 2280–2286, 2009.
46. Losnegard T, Mikkelsen K, Rønnestad BR, Hallén J, Rud B, Raastad T. The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross country skiers. *Scand J Med Sci Sports* 21: 389–401, 2011.
47. McCarthy JP, Pozniak MA, Agre JC. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 34: 511–519, 2002.
48. Mikkola J, Rusko H, Nummela A, Pollari T, Hakkinen K. Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *Int J Sports Med* 28: 602–611, 2007.
49. Mikkola J, Vesterinen V, Taipale R, Capostagno B, Hakkinen K, Nummela A. Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *J Sports Sci* 29: 1359–1371, 2011.
50. Mikkola JS, Rusko HK, Nummela AT, Paavolainen LM, Hakkinen K. Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *J Strength Cond Res* 21: 613–620, 2007.
51. Millet GP, Jaouen B, Borrani F, Candau R. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 34: 1351–1359, 2002.
52. Minetti AE. On the mechanical power of joint extensions as affected by the change in muscle force (or

- cross-sectional area), ceteris paribus. *Eur J Appl Physiol* 86: 363–369, 2002.
53. Mujika I, Padilla S. Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Med Sci Sports Exerc* 35: 1182–1187, 2003.
54. Nader GA. Concurrent strength and endurance training: From molecules to man. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1965–1970, 2006.
55. Newton RU, Kraemer WJ. Developing explosive muscular power: Implications for a mixed methods training strategy. *Strength Cond J* 16: 20–31, 1994.
56. Noakes TD. Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: A contemporary perspective. *Med Sci Sports Exerc* 20: 319–330, 1988.
57. Nyitrai M, Rossi R, Adamek N, Pellegrino MA, Bottinelli R, Geeves MA. What limits the velocity of fast-skeletal muscle contraction in mammals? *J Mol Biol* 355: 432–442, 2006.
58. Østerås H, Helgerud J, Hoff J. Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *Eur J Appl Physiol* 88: 255–263, 2002.
59. Paavolainen L, Hakkinen K, Hamalainen I, Nummela A, Rusko H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol* (1985) 86: 1527–1533, 1999.
60. Paavolainen L, Hakkinen K, Rusko H. Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. *Eur J Appl Physiol Occup Phys* 62: 251–255, 1991.
61. Paavolainen LM, Nummela AT, Rusko HK. Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. *Med Sci Sports Exerc* 31: 124–130, 1999.
62. Palmitier RA, An KN, Scott SG, Chao EY. Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sport Med* 11: 402–413, 1991.
63. Plisk SS, Stone MH. Periodization strategies. *Strength Cond J* 25: 19–37, 2003.
64. Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol* 108: 965–975, 2010a.
65. Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. In-season strength maintenance training increases well-trained cyclists' performance. *Eur J Appl Physiol* 110: 1269–1282, 2010b.
66. Rønnestad BR, Hansen EA, Raastad T. Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scand J Med Sci Sports* 21: 250–259, 2011.
67. Rønnestad BR, Hansen J, Hollan I, Ellefsen S. Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scand J Med Sci Sports* 25: 89–98, 2015.
68. Rønnestad BR, Kojedal O, Losnegard T, Kvamme B, Raastad T. Effect of heavy strength training on muscle thickness, strength, jump performance, and endurance performance in well-trained Nordic Combined athletes. *Eur J Appl Physiol* 112: 2341–2352, 2012.
69. Rønnestad BR, Mujika I. Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scand J Med Sci Sports* 24: 603–612, 2013.
70. Sale DG. Neural adaptations to strength training. In: *Strength and Power in Sport*. Komi P, ed. Oxford, UK: Blackwell, 1992. pp. 249–265.
71. Sale DG, Jacobs I, MacDougall JD, Garner S. Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 22: 348–356, 1990.
72. Saunders PU, Telford RD, Pyne DB, Peltola EM, Cunningham RB, Gore CJ, Hawley JA. Short-term

- plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *J Strength Cond Res* 20: 947–954, 2006.
73. Sedano S, Marín PJ, Cuadrado G, Redondo JC. Concurrent training in elite male runners: The influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *J Strength Cond Res* 27: 2433–2443, 2013.
74. Spurr RW, Murphy AJ, Watsford ML. The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol* 89: 1–7, 2003.
75. Steindler A. *Kinesiology of the Human under Normal and Pathological Conditions*. Springfield, IL: Charles C Thomas, 1973.
76. Stone MH, Moir G, Glaister M, Sanders R. How much strength is necessary? *Phys Ther* 3: 88–96, 2002.
77. Stone MH, O'Bryant H. *Weight Training: A Scientific Approach*. Minneapolis, MN: Burgess Publishing, 1987.
78. Stone MH, O'Bryant H, Garhammer J. A hypothetical model for strength training. *J Sports Med Phys Fitness* 21: 342–351, 1981.
79. Stone MH, O'Bryant HS, Schilling BK, Johnson RL. Periodization: Effects of manipulating volume and intensity. Part I. *Strength Cond J* 21: 56–62, 1999.
80. Stone MH, Sands WA, Pierce KC, Newton RU, Haff G, Carlock J. Maximum strength and strength training- a relationship to endurance? *Strength Cond J* 28: 44–53, 2006.
81. Stone MH, Stone M, Sands WA. *Principles and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2007.
82. Støren O, Helgerud J, Støa EM, Hoff J. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 40: 1087–1092, 2008.
83. Sunde A, Støren O, Bjerkaas M, Larsen MH, Hoff J, Helgerud J. Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *J Strength Cond Res* 24: 2157–2165, 2010.
84. Taipale RS, Mikkola J, Nummela A, Vesterinen V, Capostagno B, Walker S, Gitonga D, Kraemer WJ, Hakkinen K. Strength training in endurance runners. *Int J Sports Med* 31: 468–476, 2010.
85. Taipale RS, Mikkola J, Vesterinen V, Nummela A, Hakkinen K. Neuromuscular adaptations during combined strength and endurance training in endurance runners: Maximal versus explosive strength training or a mix of both. *Eur J Appl Physiol* 113: 325–335, 2013.
86. Tanaka H, Swensen T. Impact of resistance training on endurance performance. A new form of cross-training? *Sports Med* 25: 191–200, 1998.
87. Trehearn TL, Buresh RJ. Sit-and-reach flexibility and running economy of men and women collegiate distance runners. *J Strength Cond Res* 23: 158–162, 2009.
88. Turner AM, Owings M, Schwane JA. Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *J Strength Cond Res* 17: 60–67, 2003.
89. Van Etten LM, Verstappen FT, Wetererp KR. Effect of body build on weight-training induced adaptations in body composition and muscular strength. *Med Sci Sports Exerc* 26: 515–521, 1994.
90. Verkhoshansky U. The long-lasting training effect of strength exercises. *Soviet Sports Rev* 20: 1–3, 1985.
91. Wakahara T, Fukutani A, Kawakami Y, Yanai T. Nonuniform muscle hypertrophy: Its relation to muscle activation in training session. *Med Sci Sports Exerc* 45: 2158–2165, 2013.
92. Wilson JM, Marin PJ, Rhea MR, Wilson SM, Loenneke JP, Anderson JC. Concurrent training: A meta-

analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *J Strength Cond Res* 26: 2293–2307, 2012.

93. Zamparo P, Minetti AE, di Prampero PE. Interplay among the changes of muscle strength, cross-sectional area and maximal explosive power: Theory and facts. *Eur J Appl Physiol* 88: 193–202, 2002.

94. Zatsiorsky VM. *Science and Practice of Strength Training*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1995.