

Key Words 【有酸素性能力：aerobic capacity、最大酸素摂取量：maximal oxygen uptake、乳酸性作業閾値：lactate threshold、効率（エコノミー）：economy、筋力：strength、パワー：power、プライオメトリックス：plyometrics】

長距離ランナーのための有酸素性能力 トレーニング：伝統からの脱却

Training the Aerobic Capacity of Distance Runners: A Break From Tradition

Anthony Nicholas Turner, MSc, CSCS

London Sport Institute, Middlesex University, London, England

要約

有酸素性能力を決定する因子は3つある。すなわち、(A) 最大酸素摂取量、(B) 乳酸性作業閾値、そして (C) ランニングエコノミーである。有酸素性能力の向上を最適化するためには、どの因子も疎かにするべきではない。最大酸素摂取量と乳酸性作業閾値の適応は同時に起こりうるとみられ、おそらくは、高強度のインターバルトレーニングが最適である。ランニングエコノミーは筋力、パワー、およびプライオメトリックトレーニングが最適であるとみられる。そして、持久力トレーニングに費やす全時間の1/3を、ジムベースのトレーニングに置き換えると最も効果が高くなるであろう。

序論

すでに報告されているように(6,11,14,22)、有酸素性能力は、最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)、乳酸性作業閾値(LT)、ランニングエコノミー(RE)の3つの

因子によって決定され、これらの変数のどれが変化してもパフォーマンスに影響を及ぼす。したがって身体能力の中で有酸素性能力に大きく依存する競技に関しては、それを最も効果的に高める方法と、個々の因子に狙いを定める方法を知っていることが不可欠である。本稿の目的は、関連するトレーニングプロトコル(高強度インターバルトレーニング、筋力およびパワートレーニング、量負荷トレーニング)に関して簡単に論じた後、エビデンスに基づいたガイドラインを提供することにある。

高強度インターバルトレーニングは $\dot{V}O_2\max$ と乳酸性作業閾値を増大させるか？

有酸素性能力を向上させる最も一般的な手法は、中強度での長距離走であると考えられることが多い。しかしこれは、実際には最も効果的な手法ではない可能性がある。例えばHelgerudら(13)は、中程度のトレーニング経験のある55名の男性被験者(平均年齢25歳、週に3回のトレーニング、平

均 $\dot{V}O_2\max$ は58 mL/kg/min)を対象として、 $\dot{V}O_2\max$ の改善において、高強度の持久力トレーニングが、中強度および低強度のトレーニングに比べて有意に効果的であり(表1)、トレーニングの強度と量には互換性がないことを見出した。この結果は、すでに高い $\dot{V}O_2\max$ を有しているアスリートの検証(13)などを行なった、ほかの複数の研究(7,15)と一致している。また、トレーニング強度はトレーニング持続時間の延長によって補われないとする諸研究の結果とも一致している(28,34)。

面白いことに、そしてほかの3つの研究(12,19,22)と同様に、Helgerudら(13)は、 $\% \dot{V}O_2\max$ によって示されるLTにはいかなる変化も見出さなかった(ただしいずれのグループも、LTにおけるランニング速度が平均9.6%有意に向上した)。そこで、 $\dot{V}O_2\max$ が増大することでLTも増大すると考えられると結論付けた。LTは無酸素性代謝の開始を示すため、長時間維持される可能性がある、有酸素性パフォーマンスの重要な構成要素である $\% \dot{V}O_2\max$ を左右すると考えられる。

したがって次のように主張してよいかもしれない。高強度トレーニングは低強度トレーニングよりも大きな $\dot{V}O_2\text{max}$ の増加を促し(5,8,13,17,35)、最大強度付近で行なうインターバルトレーニングが最も効果的である(8)、と。そこで、アスリートが十分な有酸素性持久力トレーニングを経験した後は(従来の持続的な中強度のプロトコルを利用して、58 mL/kg/min を超える $\dot{V}O_2\text{max}$ を達成した後は)、高強度のインターバルトレーニングへと進み、変化をつけるために、表1で例に挙げて説明した15×15と4×4の手法を交互に行なうことを推奨する。著者が知る限りでは、58 mL/kg/minを下回る $\dot{V}O_2\text{max}$ からトレーニングを開始したアスリートにおいて、低～中強度プログラムに比べて、高強度プログラムがより大きく早い向上を引き出すかどうかはまだ明らかではない。

筋力およびパワートレーニングはランニングエコノミーを増加させるか？

筋力の向上は、有酸素性持久的パフォーマンスを向上させる可能性がある。筋力の向上によって接地時の負

荷局面中に適用される相対的な力(% max)が減少し(23,26)、それによって、同じ力発揮に対する代謝要求が減少して、付加的な仕事に利用できる予備の運動単位が生じるからである(26)。さらに筋力の向上は、パワーと力の立ち上がり速度(RFD)の向上を伴うことが多いため(1)、血流量が増加して(26)、筋の酸素供給と基質/代謝産物の交換が向上する可能性がある(20)。これは力発揮/作業量に動員される運動単位が減少し(26)、そしてRFDの増加によって筋収縮の時間が減少するという事実によって説明されるであろう。ひいては、酸化と基質交換が発生する筋の弛緩時間を増加させることになる。

したがって、ここで述べたような適応が筋力およびパワートレーニングによって発生するのであれば、筋力およびパワートレーニングは、REに対して最も大きな影響を及ぼすと仮定することは理にかなっている。実際これは、Storenら(27)の研究によって裏付けられていると考えてよいかもしれない。Storenらは、十分なトレーニング経験を積んだ長距離ランナーを対象として、8週間にわたって高重量の筋力トレーニングを実施した。その結果、最

大有酸素性速度での疲労までの時間が72秒延長、すなわち21.3%向上した。しかし体重、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 、LTでの速度、% $\dot{V}O_2\text{max}$ によって示されるLTには全く変化が認められなかった。したがってStorenらの研究結果は、筋力トレーニングの処方によってREの5%もの向上が得られたと結論付けた。

ストレングス&コンディショニング(以下S&C)コーチは、有酸素性刺激の増大になると考えて、レジスタンストレーニングにおいてセットやエクササイズ間の休息を短縮する一般的な戦略に対して用心するべきである。それどころか(16,25)、休息時間が短すぎると(30秒以下)負荷が抑制され、そのため筋力、パワー、RFDの向上が損なわれる(26)。さらにそれらの向上を左右する根本的な適応のひとつが、糖分解と酸化能力が高く、疲労耐性が比較的高いタイプIIa線維の数(およびサイズ)の増加(それに伴うタイプIIxの割合の低下)である。そのため高負荷(最大挙上重量(1RM)の85%以上)が必要とされる。

トレーニングの量負荷とエクササイズ処方の詳細に関しては、Turner(30)を参照してほしい。それに基づい

表1 有酸素性能力向上のためにHelgerudら(13)によって利用されたトレーニングシステム

トレーニング群	プロトコル	トレーニング強度	トレーニング前の $\dot{V}O_2\text{max}$ (mL/kg/min)	トレーニング後の $\dot{V}O_2\text{max}$ (mL/kg/min)
低速での長距離走	70% HRmaxで45分間の持続走	低	55.8±6.6	56.8±6.3
乳酸性作業閾値走	LT(85% HRmax)で24.25分間の持続走	中	59.6±7.6	60.8±7.1
15×15インターバル走(15×15)	90~95% HRmaxで15秒間のインターバル走を47レップ、レップ間に70% HRmaxに相当するウォームアップ速度で15秒間の積極的休息	高	60.5±5.4	64.4±4.4, 5.5% 増加*
4×4分インターバル走(4×4分)	90~95% HRmaxで4×4分のインターバル走、その間に70% HRmaxに相当する速度で3分間の積極的休息	高	55.5±7.4	60.4±7.3, 7.3% 増加*

* トレーニングの前後で有意差が認められた(p<0.001)。 HRmax=最大心拍数

て、表2に、期分けされたプログラムに組み込むことが可能なレジスタンストレーニングセッションの例を挙げた。基本的には、S&Cにおける現代のアプローチを反映したものであり、競技パフォーマンスを向上させるためには、パワー(およびRFD)トレーニングを行わなければならないと考えている(ほとんどの運動スキルは力と時間に依存するため)。そのため量負荷は、レップの量よりも質を強調する方法を採用する(すなわち低レップ、長い休息)。そして関連エクササイズは爆発的性質のものであり、高いパワー発揮と高いRFDを可能にする。また、最大筋力とこれらの変数との間には基本的な関係が存在する(すなわち筋力の獲得がパワーとRFDの両者を向上させる)と考えるため、全トレーニング期を通じて筋力の向上と維持を図る。

REが筋腱スティフネスに大きく影響されることはよく知られている(22,32,33)。そしてS&C分野においては、この「スティフネス(硬さ)」を向上させるにはプライオメトリックスが最も適していることは広く認められている。この詳細に関してはTurner&Jeffreys(31)を参照してほしい。それに基づいて、表3で、レジスタンストレーニングプログラムに段階的かつ論理的に(すなわちアスリートがそれ以前のドリルを習得したのちに)付加されるべき、漸進的プライオメトリックドリルを挙げた。これらのドリルは基本的には、アスリートが高い着地衝撃に対応することを助け、筋のコンプライアンス(柔らかさ)を左右するゴルジ腱紡錘を徐々に抑制して、推進力とREの向上を助ける。さらにこれらのドリルは、ランニング中の短い収縮

時間と接地時間を模倣することによってRFDを向上させる。

トレーニングの量負荷: 多すぎるのは良いことか?

注意する必要があるのは、すでに存在する有酸素性トレーニングスケジュールに対して、筋力、パワー、プライオメトリックトレーニングを単純に追加するべきではないことである。例えばBastiaansら(3)およびPaavolainenら(21)は、有酸素性持久的トレーニングの全時間の37%を筋力トレーニングに置き換えた。このプロトコルは、高いパワー発揮を維持する能力を高めはしないまでも、少なくとも短時間は維持することを可能にし、結果的に有酸素性持久的パフォーマンスの向上に寄与した(1時間のタイムトライアルに基づく)(26)。つまりこれらの研究は、

表2 Turner(30)に基づく筋力セッションの2つの例とパワーセッションの2つの例

筋力セッション1	筋力セッション2	パワーセッション1	パワーセッション2
スクワットスナッチ (様々な負荷で4×2)*	スクワットクリーンと スプリットジャーク (様々な負荷で4×2)*	スクワット (3RM ~ 4RMで3×3)*	フロントスクワット (3RM ~ 4RMで3×3)*
ダンベルチェストプレス (4RMで4×4)	ベントオーバーロウ (4RMで4×4)	ハングパワースナッチ→ハングパワース プリットスナッチ (様々な負荷で5×3)	ハングパワークリーン (様々な負荷で5×3)
バックスクワット (4RMで4×4)	フロントスクワット (4RMで4×4)	スティフレッグデッドリフトかノルディック (4RMで4×4)	スプリットジャーク (様々な負荷で5×3)
ノルディック (4RMで4×4)	スティフレッグデッドリフト (4RMで4×4)		

*テクニックおよび筋力/パワーを向上/維持するために用いられる。
→:~へと漸進する。()内は、ある負荷強度によるセット数×レップ数を示す。

表3 Turner & Jeffreys(31)に基づいた、レジスタンストレーニングプログラムのインターバルにおいて、あるいはプライオメトリックスを基本とする個別セッションの一部として利用可能なプライオメトリックドリルの例

プライオメトリックス(SSC)とキャリアオーバードリル
下半身のSSC(1×3)
アンクリング(1レップは4m以上)→ボックスへのジャンプ(徐々に高さを上げる)→ドロップランド(徐々に高さを上げる)→ドロップジャンプ(徐々に高さを上げる)→連続ジャンプ(ドロップジャンプ後に3台のハードルを飛び越えるなど)→ラテラルジャンプ→シングルレッグで上記エクササイズのバリエーション

SSC=伸張-短縮サイクル。 →:~へと漸進する。()内はセット数×レップ数を示す。

筋力トレーニングを単純に追加するのではなく、有酸素性持久的トレーニングの一部をそれに置き換えたものである。多量のトレーニングが大きなトレーニング負荷を生み出して、コルチゾールに対するテストステロンの割合を低下させ(4,9,10)、ひいては、筋力と有酸素性持久力の獲得を損なうことはすでに示されている(26)。つまり、ここで取り上げた諸研究は、筋力トレーニングと有酸素性トレーニングの併用は競技能力の向上を損なうとみなす通念への反証でもある。この通念は筋力およびパワー系アスリートに関してはあてはまるかもしれないが、有酸素系アスリートに関してはあてはまらないといえるであろう。

結論

有酸素性能力を決定する因子は3つある。すなわち(A) $\dot{V}O_2\max$ 、(B)LT、そして(C)REである。有酸素性能力の向上を最適化するためには、それぞれの因子に狙いを定める必要がある。 $\dot{V}O_2\max$ とLTは同時に適応させることが可能であり、高強度のインターバルトレーニングによって最も適切に訓練されるとみられる。REはトレーニング歴(18)、タイプI線維の割合(24,29)、形態測定値(2)によって正の影響を受けるが、その向上は、高強度の複合エクササイズ(例えば85%1RM以上のスクワットとデッドリフト)や高パワー/速度のリフト(爆発的エクササイズ)を強調したレジスタンストレーニングによって負の影響を受けることがある。そのため伸張-短縮のメカニズムを

向上させるドリル(すなわちプライオメトリックス)によって補強し、ストライドの推進力とREの付加的向上を促すべきである。◆

※「References」は誌面の都合によりウェブサイトのみに掲載いたします。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 33, Number 2, pages 39-42.

著者紹介

Anthony Nicholas Turner: ストレngth & コンディショニングコーチであり、ロンドンにあるMiddlesex UniversityのLondon Sport Instituteのストレngth & コンディショニング部門で理学修士課程のプログラムリーダーを務める。

HFJ2014 NSCAジャパン主催セミナーのご案内

民間フィットネスクラブ関係者、公共施設関係者、企業の福利厚生担当者、学校・病院関係者、福祉関係者およびその他一般など、多数の来場が見込まれるフィットネス業界最大の展示会、『ヘルス&フィットネスジャパン(HFJ)2014』が、6月17日(火)～19日(木)の3日間、東京ビッグサイトを会場に開催されます。

NSCAジャパンは下記要項にて、主催セミナーを開催いたします。ご希望の方は、HFJ実行委員会事務局までお申し込みください(右記問い合わせ先参照)。

【開催日程】

2014年6月18日(水)

【会場】

東京国際展示場『東京ビッグサイト』
(東京都江東区有明3-11-1)

【時間帯、講師名、演題】

- ① 10:00～11:30 清野 隼 [講演]
スポーツ現場における栄養サポートの必要性と求められる資質・能力
- ② 13:00～14:30 阿部良仁 [実技]
スクワットの基本動作の理解と指導バリエーション

- ③ 15:00～16:30 澤野 博 [講演]
わかっているようでわかってない?! “スタミナ”って何? 今こそ基本から学びましょう

※②は日本健康運動指導士会との共同開催です。

【講師肩書き】

- ① 清野 隼 CSCS, NSCA-CPT, 管理栄養士(ウイダートレーニングラボ)
- ② 阿部良仁 CSCS*D, 認定検定員, NSCAジャパン事務局長
- ③ 澤野 博 CSCS, 南関東AAD(ユニット代表)

【受講料】

- 1講座につき4,100円
※当日参加5,100円(空席がある場合のみ)

【CEU】

- 1講座につき0.15CEU(カテゴリー A)

【受付期間】

- 4月下旬より受付開始予定(下記URLよりご確認ください)

【申し込み、問い合わせ】

ヘルス&フィットネスジャパン実行委員会事務局
TEL:045-316-5387 FAX:045-290-1222
E-mail:tfc@touzin.co.jp HP:<http://www.hfj.jp/>

※申し込み、問い合わせ先はNSCAジャパン事務局ではありません。

長距離ランナーのための有酸素性能力トレーニング：伝統からの脱却

Training the Aerobic Capacity of Distance Runners: A Break From Tradition

References

1. Aagaard P, Simonsen E, Andersen J, Magnusson P, and Dyrepoulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 98: 1318-1326, 2002.
2. Bailey S and Pate R. Feasibility of improving running economy. *Sport Med* 12: 228-236, 1991.
3. Bastiaans J, Vandiemann A, Venberg T, and Jeukendrup A. 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.
4. Busso T, Häkkinen K, Pakarinen A, Carasso C, Lacour J, Komi P, and Kauhanen H. A systems model of training responses and its relationship to hormonal responses in the elite weightlifter. *Eur J Appl Physiol* 61: 48-54, 1990.
5. Esfarjani F and Laursen P. Manipulating high-intensity interval training: Effects on $\dot{V}O_2\text{max}$, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sport* 10: 27-35, 2007.
6. Esteve-Lanano J, Rhea M, Fleck S, and Lucia A. Running-specific, periodised strength training attenuates loss of stride length during intense endurance running. *J Strength Cond Res* 22: 1176-1183, 2008.
7. Franch J, Madsen K, Djurhuus M, and Pedersen P. Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sport Exerc* 30: 1250-1256, 1998.
8. Gormley S, Swain D, High R, Spina R, Dowling E, and Kotipalli U. Effect of intensity of aerobic training on $\dot{V}O_2\text{max}$. *Med Sci Sport Exerc* 40: 1336-1343, 2008.
9. Häkkinen K. Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. *J Sport Med* 29: 9-26, 1989.
10. Häkkinen K, Pakarinen A, Alen M, and Komi P. Serum hormones during prolonged training of neuromuscular performance. *Eur J Appl Physiol* 53: 287-293, 1985.
11. Helgerud J. Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performances level in marathons. *Eur J Appl Physiol* 68: 155-161, 1994.
12. Helgerud J, Engen L, Wisloff U, and Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sport Exerc* 33: 1925-1931, 2001.
13. Helgerud J, Hoydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, and Bjerkaas M. Aerobic high-intensity intervals improve $\dot{V}O_2\text{max}$ more than moderate training. *Med Sci Sport Exerc* 39: 665-671, 2007.
14. Hoff J, Gran A, and Helgerud J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sport* 12: 288-295, 2002.
15. Knuttgens H, Nordensjo L, Ollander B, and Saltin B. Physical conditioning through interval training with young male adults. *Med Sci Sport Exerc* 5: 220-226, 1973.
16. Kulling F, Hardison B, Jacobson B, and Edwards S. Changes in muscular endurance from different rest periods between sets in a resistance training program. *Med Sci Sport Exerc* (Supplement abstract 437)

- 31: S116, 1999.
17. MacDougall J, Hicks A, MacDonald J, McKelvie R, Green H, and Smith K. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol* 84: 2138-2142, 1998.
 18. Mayhew J. Oxygen cost and energy expenditure of running in trained runners. *Br J Sport Med* 11: 116-121, 1977.
 19. McMillan K, Helgerud J, Macdonald R, and Hoff J. Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sport Med* 39: 273-277, 2005.
 20. Osteras H, Helgerud J, and 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.
 21. Paavolainen L, Häkkinen I, Hamalainen A, Nummela A, and Rusko H. Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol* 86: 1527-1533, 1999.
 22. Pate R and Kiuska A. Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sport Med* 1: 87-98, 1984.
 23. Ploutz L, Tesch P, Biro R, and Dudley G. Effect of resistance training on muscle use during exercise. *J Appl Physiol* 76: 1675-1681, 1994.
 24. Pollock M. The quantification of endurance training programs. *Exerc Sport Sci Rev* 1: 155-188, 1973.
 25. Robinson J, Penland C, Stone M, Johnson R, Warren B, and Lewis D. Effects of different weight training exercise-rest intervals on strength, power and high intensity endurance. *J Strength Cond Res* 9: 216-221, 1995.
 26. Stone M, Stone M, Sands W, Pierce K, Newton R, and Haff G. Maximum strength and strength training—A relationship to endurance? *Strength Cond J* 28: 44-53, 2006.
 27. Storen O, Helgerud J, Stoa E, and Hoff J. Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med Sci Sport Exerc* 40: 1087-1092, 2008.
 28. Thomas T, Adeniran S, and Etheridge G. Effects of different running programs on $\dot{V} \cdot O_2$ max, percent fat, and plasma lipids. *Can J Sport Sci* 9: 55-62, 1984.
 29. Trappe S, Harber M, Creer A, Gallagher P, Slivka D, Minchev K, and Whitsett D. Single muscle fiber adaptations with marathon training. *J Appl Physiol* 101: 721-727, 2006.
 30. Turner A. Training for power: Principles and practice. *Prof Strength Cond* 14: 20-32, 2009.
 31. Turner A and Jeffreys I. The stretch-shortening cycle: Proposed mechanisms and methods for enhancement. *Strength Cond J* 32: 87-99, 2010.
 32. Verkoshansky YU. Perspectives in the development of speed-strength preparation in the development of jumper. *Track Field* 11-12, 1966.
 33. Voigt M, Bojsen-Moller F, Simonsen EB, and Dyhre-Poulsen P. The influence of tendon Young's modulus, dimensions and instantaneous moment arms on the efficiency of human movement. *J Biomech* 28: 281-291, 1995.
 34. Wenger H and Bell J. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise in altering cardio respiratory fitness. *Sport Med* 3: 346-356, 1986.
 35. Wisloff U, Stoylen A, and Loennechen J. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients. *Circulation* 115: 3086-3094, 2007.

From *Strength and Conditioning Journal*:

Volume 33, Number 2, pages 39-42.