

Performance nello sport – gli effetti dell'allenamento intenso

J. Bangsbo

1 Department of Nutrition, Exercise and Sports, Section of Human Physiology, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark

Traduzione non autorizzata di S. Callegaro

SINTESI.

Nella maggior parte degli sport le richieste fisiche sono complesse e bisogna evidenziarne gli elementi specifici per migliorare la prestazione. L'effetto delle diverse tipologie di allenamento deve essere compreso prima della fase di pianificazione: l'obiettivo futuro è di identificare la miglior combinazione dei diversi tipi di allenamento (concurrent training). Nel presente articolo si valuteranno le varie componenti dell'allenamento fisico analizzando gli adattamenti cardiovascolari e muscolari indotti negli atleti.

INTRODUZIONE.

Nella maggior parte degli sport, la prestazione è determinata dalle componenti tecniche, tattiche, fisiologiche e psicologiche dell'atleta.

Le capacità individuali degli atleti sono strettamente correlati alle loro qualità fisiche nelle seguenti categorie:

- la capacità di eseguire esercizi prolungati (resistenza);
- la capacità di effettuare esercizi ad alta intensità per un periodo prolungato;
- la capacità di sprint;
- la capacità di sviluppare un'elevata potenza, ad esempio nell'azione del calciare (Bangsbo,2015)

L'allenamento aerobico può essere suddiviso in tre aree: bassa intensità(65%FCmax), intensità moderata (80%FCmax) ed alta intensità (90%FCmax).

L'allenamento anaerobico viene eseguito con intensità sovra-massimale (Bangsbo,1994) e può essere suddiviso in allenamenti di velocità e di resistenza alla velocità.

Nell'allenamento di velocità, lo scopo è quello di generare rapidamente forza e mantenere un'alta velocità per un breve periodo, inferiore ai 10s e con recuperi abbastanza lunghi. Nel calcio lo scopo è quello di sviluppare la capacità di prevedere le situazioni di gioco in relazione all'avversario.

L'allenamento di resistenza alla velocità può essere di sviluppo o mantenimento: per quanto riguarda lo sviluppo, il fine è di migliorare la capacità di eseguire performance massimali per un tempo relativamente breve; meno di 40s e i recuperi sono almeno 5 volte la durata dell'esercizio. Nel mantenimento aumenta la capacità di sostenere un esercizio ad alta intensità: le esercitazioni si svolgono tra i 10-90s con brevi periodi di riposo (<3 volte l'esercizio) e la fatica si accumula in maniera progressiva.

Entrambi i tipi di allenamento, aerobico e anaerobico, vengono eseguiti in maniera intervallata. L'utilizzo di questa metodologia di lavoro non è nuova nello sport e nella ricerca, poiché già agli inizi del '900, Peter Thompson ha descritto l'interval training in *Athletics Weekly* (Thompson, 2005): ad oggi però, non è stata ancora raggiunta alcuna conclusione definitiva riguardante la combinazione ottimale tra intensità aerobica moderata ed alta intensità. I cambiamenti principali avvengono a livello muscolare: è importante che un atleta effettui movimenti simili a quelli che avvengono in gara.

OBIETTIVI

Valutare come allenamenti aerobici ad alta intensità, di potenza e di resistenza alla velocità, sostituiti o integrati all'allenamento aerobico a moderata intensità, possano portare a cambiamenti fisiologici significativi; indagando anche quale effetto si può avere sul miglioramento della prestazione dopo un periodo di allenamento intensificato. Un ulteriore obiettivo è quello di verificare come diverse tipologie di allenamento si influenzino a vicenda.

RISULTATI

- Un periodo di allenamento di resistenza alla velocità porta ad una diminuzione ridotta di pH intracellulare (es. meno acidità e lattato accumulato), che porterebbe ad un'insorgenza ritardata della fatica e ad una migliore capacità di lavoro durante l'esercizio intenso (Bangsbo & Juel, 2006).
 - Bangsbo et al. (2009) hanno riscontrato un miglioramento del 23% delle prestazioni dopo allenamenti protratti per 6-9 settimane ad alta intensità aerobica e di resistenza alla velocità, con una riduzione del 30% del volume di allenamento.
 - In esercitazioni >10 minuti (Iaia et al. 2008) hanno evidenziato una riduzione delle distanze in allenamento del 65%, la prestazione è rimasta inalterata variando la tipologia di allenamento da aerobico a quello di resistenza alla velocità.
 - Bangsbo et al. (2009) hanno rilevato che le prestazioni di corsa sono migliorate dopo un periodo di allenamenti ad elevata intensità aerobica e di resistenza alla velocità, in cui l'allenamento totale è stato ridotto del 30%.
 - Quando i giocatori di calcio hanno effettuato una volta alla settimana una sessione di 30 minuti di resistenza alla velocità, per un periodo di 5 settimane, hanno aumentato dell'11% il risultato dello Yo-Yo livello2 (YYIR2) (Gunnarsson et al., 2012b). Un recente studio dove 13 giocatori di calcio professionisti hanno effettuato due sessioni settimanali di sprint composte da 2-3 serie per 6-10 ripetizioni di 5s con 10s di recupero, ha mostrato un miglioramento delle prestazioni nello YYIR1 del 12% (3127 vs 2803 m) (Nyberg et al., 2015).
 - 30 minuti di allenamento aerobico ad alta intensità una volta alla settimana per 12 settimane migliorano il risultato dello YYIR2 del 18%, e portano le prestazioni ad un decremento del 21% nel test di sprint ripetuti in giocatori di calcio d'elite (Jensen et al., 2007)
-
- Hickson (1980), in uno suo studio, ha evidenziato che l'esecuzione di allenamenti di forza e aerobici porta allo stesso miglioramento di forza rispetto ai soggetti a cui è proposto solo l'allenamento di potenza e un miglioramento del VO2max (circa il 20%),

simile a chi fa solo sedute aerobiche. Questo tipo di allenamento combinato ha permesso agli atleti un mantenimento della forza muscolare.

DISCUSSIONE

L'incremento dell'allenamento **aerobico ad alta intensità** ha un **effetto positivo** sulle prestazioni dei calciatori (Jensen et al., 2007; Christensen et al. 2011); anche un **lavoro di resistenza alla velocità** aggiunto al **lavoro aerobico**, produce un miglioramento prestativo (Jones et al.,2011; Christensen et al.,2015; Nyberg et al.,2015).

Effettuare esercitazioni aerobiche ad **alta intensità**, utilizzando sedute settimanali di **resistenza alla velocità** con un **volume di allenamento ridotto** può **migliorare** le prestazioni di **resistenza**.

Un periodo di **allenamento di resistenza alla velocità**, fa **migliorare** la capacità di eseguire in maniera ripetuta alte intensità di lavoro (Dupont et al., 2004; Bravo et al., 2008; Iaia et al. 2008); se è effettuato con un'intensità leggermente superiore al VO2max, si osservano anche miglioramenti del VO2max (Tabata et al.,1996; Laursen et al.,2002; Bravo et al.,2008)

La maggior parte degli studi **che riguardano l'allenamento di resistenza alla velocità con un'intensità >90%**, su atleti d'élite, ha evidenziato che il VO2max non si modifica, suggerendo che brevi sforzi quasi massimali non sono sufficienti per migliorare questo parametro in soggetti allenati.

L'incorporazione di due o più modalità diverse di allenamento in una periodizzazione viene definito come allenamento "concorrente".

Effettuare allenamenti di potenza abbinati ad allenamenti aerobici può compromettere la sintesi proteica muscolare e l'ipertrofia muscolare (Bodine et al., 2001; Aagaard & Andersen, 2010).

In un professionista, non è chiaro quanto l'allenamento aerobico possa avere un impatto negativo sull'ipertrofia muscolare: un punto di svolta per la ricerca, può essere quello di valutare il tempo che intercorre tra le sessioni di allenamento.

CONCLUSIONI

Allenamenti di **resistenza alla velocità** ed allenamenti **aerobici ad alta intensità** sono utili per gli atleti che partecipano a sport di squadra che prevedono attività intense, perché aumentano la capacità dei giocatori di produrre un'alta potenza per un tempo prolungato, e consentono un recupero più veloce dopo le fasi intense di una partita, aumentando così le fasi ad alta intensità durante la competizione.

L'allenamento **intenso** migliora le prestazioni in soggetti allenati, si possono utilizzare **sessioni aerobiche ad alta intensità e di resistenza alla velocità**, specialmente nei periodi in cui il numero degli allenamenti è ridotto.

La maggior parte degli studi indica che l'allenamento **aerobico** può compromettere l'effetto dell'allenamento di forza e l'ipertrofia muscolare.

L'atleta d'élite può condurre diversi tipi di allenamento nello stesso periodo (concurrent training), ad esempio un giocatore di calcio durante una settimana, può fare allenamenti aerobici, di velocità, resistenza alla velocità e forza. Bisogna verificare come questi tipi di allenamento si influenzino l'un l'altro, ovvero se l'adattamento ad un tipo di allenamento resta invariato quando si svolgono gli altri tipi di allenamento nello stesso periodo. **La sfida per il futuro è quella di ottenere la combinazione ottimale di diversi tipi di allenamento**, e per questo, sarebbe opportuno che ulteriori ricerche affrontassero questo problema.

Parole chiave: requisiti fisici, massimo assorbimento di ossigeno, enzimi, muscoli, economia di esecuzione.

PERFORMANCE IN SPORTS – WITH SPECIFIC EMPHASIS ON THE EFFECT OF INTENSIFIED TRAINING

J. Bangsbo

1 Department of Nutrition, Exercise and Sports, Section of Human Physiology, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark

Performance in most sports is determined by the athlete's technical, tactical, physiological and psychological/social characteristics. In the present article, the physical aspect will be evaluated with a focus on what limits performance, and how training can be conducted to improve performance.

Specifically how intensified training, i.e., increasing the amount of aerobic high-intensity and speed endurance training, affects physiological adaptations and performance of trained subjects. Periods of speed endurance training do improve performance in events lasting 30 s–4 min, and when combined with aerobic high intensity sessions, also performance during longer events.

Athletes in team sports involving intense exercise actions and endurance aspects, such as soccer and basketball, can also benefit from intensified training. Speed endurance training does reduce energy expenditure and increase expression of muscle Na⁺, K⁺ pump α subunits, which may preserve muscle cell excitability and delay fatigue development during intense exercise. When various types of training are conducted in the same period (concurrent training), as done in a number of sports, one type of training may blunt the effect of other types of training.

It is not, however, clear how various training modalities are affecting each other, and this issue should be addressed in future studies.

References

1. Aagaard P, Andersen JL. Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20: 39–47.
2. Aagaard P, Andersen JL, Bennekou M, Larsson B, Olesen JL, Crameri 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* 2011; 21: 298–307.
3. Apr_o W, Wang L, Pont_en M, Blomstrand E, Sahlin K. Resistance exercise induced mTORC1 signalling is not impaired by subsequent endurance exercise in human skeletal muscle. *Am J Physiol* 2013; 305: E22–E32.
4. Astrand I, Astrand PO, Christensen EH, Hedman R. Intermittent muscular work. *Acta Physiol Scand* 1960; 48: 448–453.
5. Bangsbo J. The physiology of soccer– with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand Suppl* 1994; 619: 1–155.
6. Bangsbo J, Graham TE, Johansen L, Saltin B. Lactate and H⁺ effluxes from human skeletal muscles during intense, dynamic exercise. *J Physiol* 1993; 462(115): 133.
7. Bangsbo J, Gunnarsson TP, Wendell J, Nybo L, Thomassen M. Reduced volume and increased training intensity elevate muscle Na⁺-K⁺ pump alpha2-subunit expression as well as short- and long-term work capacity in humans. *J Appl Physiol* 2009; 107: 1771–1780.
8. Bangsbo J, Juel C. Counterpoint: lactic acid accumulation is a disadvantage during muscle activity. *J Appl Physiol* 2006; 4: 1412–1413.
9. Bangsbo J, Madsen K, Kiens B, Richter EA. Effect of muscle acidity on muscle metabolism and fatigue during intense exercise in man. *J Physiol* 1996; 495: 587–596.
10. Bell GJ, Syrotuik D, Martin TP, Burnham R, Quinney HA. Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol* 2000; 81: 418–427.
11. Berger NJ, Tolfrey K, Williams AG, Jones AM. Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 2006; 38: 504–512. Bickham DC, Bentley DJ, Le Rossignol PF, Cameron-Smith D. The effects of short-term sprint training on MCT expression in moderately endurance-trained runners. *Eur J Appl Physiol* 2006; 96: 636–643.
12. Bodine SC, Stitt TN, Gonzalez M, Kline WO, Stover GL, Bauerlein R, Zlotchenko E, Scrimgeour A, Lawrence JC, Glass DJ, Yancopoulos GD. Akt/mTOR pathway is a crucial regulator of skeletal muscle hypertrophy and can prevent muscle atrophy in vivo. *Nat Cell Biol* 2001; 11: 1014–1029.
13. Bolster DR, Crozier SJ, Kimball SR, Jefferson LS. AMP-activated protein kinase suppresses protein synthesis in rat skeletal muscle through downregulated mammalian target of rapamycin (mTOR) signaling. *J Biol Chem* 2002; 277: 23977–23980.
14. Boss O, Hagen T, Lowell BB. Uncoupling proteins 2 and 3: potential regulators of mitochondrial energy metabolism. *Diabetes* 2000; 49: 143–156.
15. Bravo DF, Impellizzeri FM, Rampinini E, Castagna C, Bishop D, Wisloff U. Sprint vs. interval training in football. *Int J Sports Med* 2008; 29: 668–674.
16. Burgomaster KA, Cermak NM, Phillips SM, Benton CR, Bonen A, Gibala MJ. Divergent response of metabolite transport proteins in human skeletal muscle after sprint interval training and detraining. *Am J Physiol* 2007; 292: R1970–R1976.
17. Burgomaster KA, Hughes SC, Heigenhauser GJ, Bradwell SN, Gibala MJ. Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *J Appl Physiol* 2005; 98: 1985–1990.
18. Calbet JA, Jensen-Urstad M, van Hall G, Holmberg HC, Rosdahl H, Saltin B. Maximal muscular vascular conductances during whole body upright exercise in humans. *J Physiol* 2004; 558: 319–331.
19. Christensen PM, Gunnarsson TP, Thomassen M, Wilkerson DP, Nielsen JJ, Bangsbo J. Unchanged content of oxidative enzymes in fasttwitch muscle fibers and VO₂ kinetics after intensified training in trained cyclists. *Physiol Rep* 2015; 3: e12428.
20. Christensen EH, Hedman R, Saltin B. Intermittent and continuous running. (A further contribution to the physiology of intermittent work.). *Acta Physiol Scand* 1960; 50: 269–286.
21. Christensen PM, Krstrup P, Gunnarsson TP, Kiilerich K, Nybo L, Bangsbo J. VO₂ kinetics and performance in soccer players after intense training and inactivity. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43: 1716–1724.
22. Clausen T. The sodium pump keeps us going. *Ann N Y Acad Sci* 2003; 986: 595–602.
23. Coffey VG, Hawley JA. The molecular bases of training adaptation. *Sports Med* 2007; 37: 737–763.
24. Coffey VG, Jemiolo B, Edge J, Garnham AP, Trappe SW, Hawley JA. Effect of consecutive repeated sprint and resistance exercise bouts on acute adaptive responses in human skeletal muscle. *Am J Physiol* 2009; 297: R1441–R1451.
25. Costill DL, Coyle EF, Fink WF, Lesmes GR, Witzmann FA. Adaptations in skeletal muscle following strength training. *J Appl Physiol* 1979; 46: 96–99.
26. Coyle EF. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability. *Exerc Sport Sci Rev* 1995; 23: 25–63.
27. Daniels JT, Yarbrough RA, Foster C. Changes in VO₂max and running performance with training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1978; 39: 249–254.
28. Daussin FN, Zoll J, Dufour SP, Ponsot E, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, Mettauer B, Piquard F, Geny B, Richard R. Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *Am J Physiol* 2008; 295: R264–R272.
29. Donges CE, Burd NA, Duffield R, Smith GC, West DW, Short MJ, Mackenzie R, Plank LD, Shepherd PR, Phillips SM, Edge JA. Concurrent resistance and aerobic exercise stimulates both myofibrillar and mitochondrial protein synthesis in sedentary middle-aged men. *J Appl Physiol* 2012; 112: 1992–2001.
30. Dupont G, Akakpo K, Berthoin S. The effect of in-season, high-intensity interval training in soccer players. *J Strength Cond Res* 2004; 18: 584–589.
31. Edge J, Bishop D, Goodman C. The effects of training intensity on muscle buffer capacity in females. *Eur J Appl Physiol* 2006; 96: 97–105.
32. Esfarjani F, Laursen PB. Manipulating high-intensity interval training: effects on VO₂max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *J Sci Med Sport* 2007; 10: 27–35.

33. Ewart HS, Klip A. Hormonal regulation of the Na(+)-K(+) ATPase: mechanisms underlying rapid and sustained changes in pump activity. *Am J Physiol* 1995; 269: C295–C311.
34. Fyfe JJ, Bishop DJ, Stepto NK. Interference between concurrent resistance and endurance exercise: molecular bases and the role of individual training variables. *Sports Med* 2014; 44: 743–762.
35. Gong DW, He Y, Karas M, Reitman M. Uncoupling protein-3 is a mediator of thermogenesis regulated by thyroid hormone, beta3-adrenergic agonists, and leptin. *J Biol Chem* 1997; 272: 24129–24132.
36. Gunnarsson TP, Bangsbo J. The 10-20-30 training concept improves performance and health profile in moderately trained runners. *J Appl Physiol* 2012a; 113: 16–24.
37. Gunnarsson TP, Christensen PM, Holse K, Christiansen D, Bangsbo J. Effect of additional speed endurance training on performance and muscle adaptations. *Med Sci Sports Exerc* 2012b; 44: 1942–1948.
38. Gunnarsson TP, Christensen PM, Thomassen M, Nielsen LR, Bangsbo J. Effect of intensified training on muscle ion kinetics, fatigue development, and repeated shortterm performance in endurance-trained cyclists. *Am J Physiol* 2013; 305: R811–R821.
39. H€akkinen K, Alen M, Kraemer WJ, Gorostiaga E, Izquierdo M, Rusko H, Mikkola J, H€akkinen 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* 2003; 89: 42–52.
40. Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, Simonsen T, Helgesen C, Hjorth N, Bach R, Hoff J. Aerobic highintensity intervals improve VO2max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: 665–671.
41. Hellsten-Westling Y, Norman B, Balsom PD, Sjødin B. Decreased resting levels of adenine nucleotides in human skeletal muscle after highintensity training. *J Appl Physiol* 1993; 74: 2523–2528.
42. Hickson RC. Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1980; 45: 255–263.
43. Hoff J, Gran A, Helgerud J. Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports* 2002; 12: 288–295.
44. Hoff J, Helgerud J, Wisloff U. Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31: 870–877.
45. Hunter SK, Joyner MJ, Jones AM. The two-hour marathon: what’s the equivalent for women? *J Appl Physiol* 2015; 118: 1321–1323.
46. Iaia FM, Hellsten Y, Nielsen JJ, Fernstrom M, Sahlin K, Bangsbo J. Four weeks of speed endurance training reduces energy expenditure during exercise and maintains muscle oxidative capacity despite a reduction in training volume. *J Appl Physiol* 2009; 106: 73–80.
47. Iaia FM, Perez-Gomez J, Thomassen M, Nordborg NB, Hellsten Y, Bangsbo J. Relationship between performance at different exercise intensities and skeletal muscle characteristics. *J Appl Physiol* 2011; 110: 1555–1563.
48. Iaia FM, Thomassen M, Kolding H, Gunnarsson T, Wendell J, Rostgaard T, Nordborg N, Krstrup P, Nybo L, Hellsten Y, Bangsbo J. Reduced volume but increased training intensity elevates muscle Na⁺-K⁺ pump α1-subunit and NHE1 expression as well as short-term work capacity in humans. *Am J Physiol* 2008; 294: R966–R974.
49. Inoki K, Kim J, Guan KL. AMPK and mTOR in cellular energy homeostasis and drug targets. *Annu Rev Pharmacol Toxicol* 2012; 52: 381–400.
50. Jensen JM, Bredsgaard-Randers M, Krstrup P, Bangsbo J. Intermittent high intensity drills improve inseasonal performance of elite soccer players. In: Reilly T, and Feza Korkusuz, eds. *Science and Soccer VI*. London: Routledge, 2007: 296–301.
51. Jones AM. A five year physiological case study of an Olympic runner. *Br J Sports Med* 1998; 32: 39–43.
52. Jones AM. The physiology of the world record holder for the women’s marathon. *Int J Sports Sci Coaching* 2006; 1: 101–116.
53. Jones AM, Grassi B, Christensen PM, Krstrup P, Bangsbo J, Poole DC. Slow component of VO2 kinetics: mechanistic bases and practical applications. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43: 2046–2062.
54. Joyner MJ, Coyle EF. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J Physiol* 2008; 586: 35–44.
55. Juel C. Lactate-proton cotransport in skeletal muscle. *Physiol Rev* 1997; 77: 321–358.
56. Juel C, Klarskov C, Nielsen JJ, Krstrup P, Mohr M, Bangsbo J. Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H⁺ release from human skeletal muscle. *Am J Physiol* 2004; 286: E245–E251.
57. Kimball SR. Interaction between the AMP-activated protein kinase and mTOR signaling pathways. *Med Sci Sports Exerc* 2006; 38: 1958–1964.
58. 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* 1995; 78: 976–989.
59. Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, Jenkins DG. Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34: 1801–1807.
60. Lundberg TR, Fernandez-Gonzalo R, Gustafsson T, Tesch PA. Aerobic exercise alters skeletal muscle molecular responses to resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44: 1680–1688.
61. McCarthy JP, Pozniak MA, Agre JC. Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34: 511–519.
62. McKenna M, Bangsbo J, Renaud J. Muscle K⁺, Na⁺, Cl⁻ disturbances and Na⁺, K⁺ -pump inactivation: implications for muscle fatigue. *J Appl Physiol* 2008; 104: 288–295.
63. Mohr M, Krstrup P, Nielsen JJ, Nybo L, Rasmussen MK, Juel C, Bangsbo J. Effect of two different intense training regimens on skeletal muscle ion transport proteins and fatigue development. *Am J Physiol* 2007; 292: R1594–R1602.
64. Nyberg M, Matteo F, Gunnarsson TP, Lund A, Rømer T, Piil P, Bangsbo J. Repeated-sprint training improves O2 uptake kinetics and performance in highly trained football players: role of fiber type specific adaptations in skeletal muscle. *Malmö: ECSS*, 2015.
65. 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* 1999; 86: 1527–1533.

65. Parra J, Cadefau JA, Rodas G, Amigo N, Cusso R. The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiol Scand* 2000; 169: 157–165.
66. Pilegaard H, Domino K, Noland T, Juel C, Hellsten Y, Halestrap AP, Bangsbo J. Effect of high-intensity exercise training on lactate/H⁺ transport capacity in human skeletal muscle. *Am J Physiol* 1999; 276: E255–E261.
67. Roberts AD, Billeter R, Howald H. Anaerobic muscle enzyme changes after interval training. *Int J Sports Med* 1982; 3: 18–21.
68. Rodas G, Ventura JL, Cadefau JA, Cusso R, Parra J. A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *Eur J Appl Physiol* 2000; 82: 480–486.
69. Ross A, Leveritt M. Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. *Sports Med* 2001; 31: 1063–1082.
70. Saltin B. Metabolic fundamentals in exercise. *Med Sci Sports* 1973; 5: 137–146.
71. Saltin B, Larsen H, Terrados N, Bangsbo J, Bak T, Kim CK, Svendenhag J, Rolf CJ. Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scand J Med Sci Sports* 1995; 5: 209–221.
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* 2006; 20: 947–954.
73. Sejersted OM, Sjøgaard G. Dynamics and consequences of potassium shifts in skeletal muscle and heart during exercise. *Physiol Rev* 2000; 80: 1411–1481.
74. Skovgaard C, Christensen PM, Larsen S, Andersen TR, Thomassen M, Bangsbo J. Concurrent speed endurance and resistance training improves performance, running economy, and muscle NHE1 in moderately trained runners. *J Appl Physiol* 2014; 117: 1097–1110.
75. Stepto NK, Hawley JA, Dennis SC, Hopkins WG. Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 1999; 31:736–741.
76. Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, Yamamoto K. Effects of moderate intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO₂max. *Med Sci Sports Exerc* 1996; 28: 1327–1330.
77. Thomassen M, Rose AJ, Jensen TE, Maarbjerg SJ, Bune L, Leitges M, Richter EA, Bangsbo J, Nordborg NB. Protein kinase Ca activity is important for contraction-induced FXD1 phosphorylation in skeletal muscle. *Am J Physiol* 2011; 301: R1808–R1814.
78. Thompson P. Break through the speed barrier with the “new interval training”. *Athletics Weekly* 2005; 59: 62–63.
79. Turner AM, Owings M, Schwane JA. Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *J Strength Cond Res* 2003; 17: 60–67.
80. Vissing K, McGee S, Farup J, Kjølhede T, Vendelbo M, Jessen N. Differentiated mTOR but not AMPK signaling after strength vs endurance exercise in training accustomed individuals. *Scand J Med Sci Sports* 2013; 23: 355–366.
81. Wang L, Mascher H, Psilander N, Blomstrand E, Sahlin K. Resistance exercise enhances the molecular signaling of mitochondrial biogenesis induced by endurance exercise in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 2011; 111: 1335–1344.