
Die Wirkung eines hochintensiven, intervallartigen Trainings auf die Leistungsfähigkeit bei Sprint-Dauerbelastung und auf die Regenerationfähigkeit¹

Maja Frische & Norbert Maassen
Medizinische Hochschule Hannover
BE Sportphysiologie/Sportmedizin

1 Einleitung

In den Ballspielsportarten ist die schnelle Regeneration nach den einzelnen Aktionsphasen (Sprints) wichtig für den Erfolg in einem Spiel. Eine Komponente der Regenerationsfähigkeit ist die Kreatinphosphatresynthese. Schneller Wiederaufbau von Kreatinphosphat (KrP) ist nötig, damit wiederholte Leistungen erbracht werden können. KrP kann aber nur aus Adenosintriphosphat (ATP) resynthetisiert werden. Voraussetzung ist also eine hohe ATP-Syntheserate, d.h. eine hohe oxidative Kapazität. Da bei Belastungen mit hoher Intensität vor allem schnelle Muskelfasern eingesetzt werden (Saltin & Gollnick, 1983, S. 555), muss die oxidative Kapazität dieser Fasern erhöht werden. Das geht natürlich nur, wenn sie auch ins Ausdauertraining mit einbezogen werden. (Dudley, Abraham & Terjung, 1982, S. 844) haben gezeigt, dass die Cytochrome, die als Komponenten der Atmungskette für die aerobe Energiebereitstellung eine wichtige Funktion haben, in den schnellen Fasern nur bei intensiven Trainingsbelastungen anstiegen. Dabei gab es eine klare Beziehung zwischen Trainingintensität und Zunahme der Cytochrome: je intensiver die Belastung, desto stärker war der Anstieg, auch wenn die Belastungszeit deutlich geringer war.

Adaptationen im oxidativen Stoffwechsel nach hochintensiven Sprintbelastungen fanden auch Harmer, McKenna, Sutton, Snow, Ruell, Booth, Thompson, Mackay, Stathis, Crameri, Carey & Eager (2000, S. 1793). Nach einem siebenwöchigen Training mit drei Einheiten pro Woche, bei denen die Gesamtbelastungszeit pro Training maximal 5 min war, errechneten sie aus den intramuskulär gemessenen Metaboliten bei einer erschöpfenden, maximalen Belastung eine geringere anaerobe ATP-Produktion bei höherer Leistung und höherer Gesamtarbeit. Außerdem war trotz der um 25 % verlängerten Arbeitszeit die Sauerstoffschuld nicht verändert. Der Abfall der [ATP] und der [Totalen Adenin Nukleotid] war geringer, wie auch der Anstieg des Inosinmonophosphat (IMP). Auch der Abfall des intramuskulären pH-Wertes war geringer, ohne dass sich die Pufferkapazität

¹ VF 0407/01/76//2004

änderte. Das alles sind Veränderungen, die darauf hinweisen, dass nach hochintensiven Belastungen auch die Erholung im Anschluss an eine intensive Belastung schneller erfolgen könnte. Das hatten McKenna, Schmidt, Hargreaves, Cameron, Skinner & Kjeldsen (1993, S. 173) schon gezeigt. Nach einem ähnlichen Trainingsprogramm waren die Leistung und die Gesamtarbeit in vier, durch eine Pause von vier Minuten voneinander getrennten 30-sekündigen Sprinttests erhöht und der Leistungsabfall in jedem dieser Tests verringert.

Die oben genannten Untersuchungen zeigen, dass auch durch Training mit sehr hohen Intensitäten Veränderungen hervorgerufen werden können, wie sie bei Ausdauertraining stattfinden. Auf jeden Fall laufen diese Veränderungen den Anpassungen eines Ausdauertrainings nicht entgegen oder verhindern diese. Sie können aber nicht das gleiche Ausmaß erreichen, da die Gesamtbelastungszeit oder die Gesamtarbeit (Gesamtenergieumsatz) zu gering ist. Wenn man hohe Intensitäten und großen Gesamtenergieumsatz in einer Trainingseinheit kombiniert, könnte neben der Erholungsfähigkeit auch die Ausdauerleistungsfähigkeit entwickelt werden. Ein solches Training kann aus kurzen, intensiven Belastungen gefolgt von kurzen Pausen oder Phasen mit niedriger Belastung bestehen und sollte dann über 45 min bis zu einer Stunde durchgeführt werden (der Begriff „intervallartiges Training“ wird hier benutzt, da diese Belastungsform mit den gängigen Definitionen des Intervalltrainings nicht abgedeckt ist).

Wenn das so wäre, ergäbe sich folgendes: hochintensives intervallartiges Training könnte effektiv eingesetzt werden um gleichzeitig die Ausdauerleistungsfähigkeit, die Regenerationsfähigkeit und den Fettstoffwechsel zu verbessern. Auch die Sprintfähigkeit wird nicht reduziert sondern eher noch verbessert. Das wäre eine wichtige trainingsmethodische Erkenntnis, z.B. für den Freizeit- und Leistungssport, wo oft hochintensive Belastungen mit kurzen Pausen wechseln (Handball, Basketball, Fußball, Wasserball, etc.). Die Ergebnisse ließen sich aber auch auf Ausdauersportler übertragen.

Bei Ausdauersportlern ist die Wirkung eines Sprinttrainings auf die Dauerleistungsfähigkeit von Stepto, Hawley, Dennis & Hopkins (1999, S. 736) untersucht worden. In der Studie ist der Einfluss eines Trainings mit 30-sekündigen Belastungen auf die Dauerleistungsfähigkeit bei Hochtrainierten (Radrennfahrern) überprüft worden. Zwölf solcher Belastungen wurden innerhalb einer Stunde bei 175 % der Maximalleistung aus einem Stufentest durchgeführt, die Gesamtbelastungszeit war also wie bei Harmer 5 min (s.o.). Sechs solcher Einheiten wurden innerhalb von drei Wochen zusätzlich zum normalen Training durchgeführt. Die Dauerleistungsfähigkeit in einem simulierten Zeitfahren über 40 km war danach signifikant erhöht. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass durch dieses hochintensive Training Faktoren der „Ermüdungswiderstandsfähigkeit“ ausgebildet

werden, die mit anderem Training nicht verbessert werden. Außerdem könnte eventuell die „echte“ Ausdauerleistungsfähigkeit nicht verbessert sein, da sie nur in Dauertests überprüft werden kann (Maassen, Schneider, Caspers & Busse, 1992, S. 511).

2 Methodik

Die gesunden, männlichen Probanden (Nichtraucher) waren zwischen 18 und 35 Jahre alt und kamen aus den Ball- und Ausdauersportarten. Sie wurden so auf zwei Gruppen verteilt (bisher: Versuchsgruppe(I); n=8, Kontrollgruppe(K); n=9; geplant mind. n=10 pro Gruppe), dass die mittlere relative Leistung in beiden Gruppen gleich war.

Zeitlicher Ablauf

Übersicht

- | | |
|--------------|--|
| 1. Woche: | Vor- und Eingangstests
Montag: Stufentest (Vortest), Dienstag: Wingate-Test, Donnerstag: Dauertest (Eingangstests). |
| 2.-4. Woche: | Intervalltraining oder Kontrolltraining (3x die Woche) |
| 5. Woche: | Ausgangstests
wie erste Woche, ohne Stufentest |

Training

Das Training erstreckt sich über drei Wochen. Die Probanden trainieren dreimal die Woche auf dem Fahrradergometer. Es wird hier zwischen einem Dauertraining (Kontrollgruppe) und einem intervallartigen Training (Versuchsgruppe) unterschieden.

Kontrollgruppe: Die zehn Personen aus der Kontrollgruppe (K) führen ein niedriges bis mittelintensives, kontinuierliches Ausdauertraining durch. Die Versuchspersonen trainieren dabei bei 50% der Maximalleistung aus dem Stufentest (siehe unten „Vortest“) für eine Stunde pro Tag.

Versuchsgruppe: Die Versuchsgruppe absolviert ein intervallartiges Training (I). Hier wird - nach einem zehnminütigen Aufwärmen bei 50 % der Maximalleistung – mit 100 % der Maximalleistung – 10 Watt und 10 Watt für jeweils 30 sec für 45 min trainiert. Danach schließt sich eine Nachphase für 5 min bei 50 % an.

Die mechanische Gesamtarbeit ist in beiden Trainingseinheiten vergleichbar, da beide Gruppen im Mittel die gleiche Maximalleistung haben und die mittlere Intensität bei 50 % der Maximalleistung liegt. Eine Intensitätsanpassung an evtl. Leistungsverbesserungen

wird nicht durchgeführt, da dann die Vergleichbarkeit der beiden Gruppen in Bezug auf den Gesamtenergieumsatz nicht mehr gegeben sein kann.

Das Training soll zusätzlich zum normalen Trainingsprogramm der Probanden durchgeführt werden.

Untersuchungen

Stufentest (Vortest)

Der Stufentest dient zur Feststellung der Leistungsfähigkeit und zur Festlegung der Trainingsintensitäten. 30 min nach Ende des Stufentests wird der Test, der am folgenden Tag durchgeführt wird (doppelter Wingate-Test), „geübt“.

Eingangstests

Doppelter Wingate-Test:

Es werden zwei Wingate-Tests - von je 30 sec und im Abstand von einer Minute - auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Dabei wird bei einer eingestellten Bremskraft von 0,8 x Körpergewicht [Nm] eine maximale Trittfrequenz erreicht und gehalten. Der erste Test dient zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit bei hochintensiver Belastung und zur Quantifizierung der Ermüdung bei einmaliger Belastung. Das Verhältnis der Leistung vom ersten zum zweiten Test ist ein Maß für die Regenerationsfähigkeit, während das Absinken der Leistung im zweiten Test ein weiteres Maß für die Ermüdung ist.

Aus den spirometrischen Daten wird die Sauerstoffschuld bestimmt. Weiterhin werden durch die zusätzlich gemessenen Metabolite im Blut Hinweise auf die Substratbeteiligung an der Abtragung der Sauerstoffschuld gewonnen.

Ablauf: Die Versuchsperson beginnt mit einer Aufwärmphase von 10 min bei 50% der Maximalleistung aus dem Stufentest. Es folgt eine Minute Pause und darauf der erste Wingate-Test. Nach dem ersten Test folgt wieder eine Minute Pause mit dem anschließenden zweiten Wingate-Test. Es folgt eine Nachphase von 30 min. Der Proband legt sich hierbei auf eine Liege. Messgrößen waren Leistung, Trittfrequenz, Atemparameter, Herzfrequenz, Laktat aus dem arterialisierten Blut.

Dauertest:

In diesem Test wird die Wirkung des unterschiedlichen Trainings auf die Dauerleistungsfähigkeit direkt gemessen. Durch die Spirometrie und die Messung der Metabolite werden Informationen zur Energiebereitstellung gesammelt. Diese Informationen werden über die weitere Messung in der Nachphase ergänzt.

Ablauf: Die Versuchsperson sitzt die ersten Minuten (ohne zu arbeiten) auf dem Ergometer bis sich stabile Atemgrößen und eine stabile Herzfrequenz eingestellt haben. Danach beginnt der Proband die ersten zwei Minuten, ohne Bremskraft zu arbeiten. Die Trittfrequenz beträgt auch hier 80-90 U/min. Es wird dann die Leistung auf 30% der Maximalleistung aus dem Stufentest erhöht. Nach sechs Minuten folgt eine Erhöhung auf 80% der Maximalleistung. Es wird nun bis zur subjektiven Erschöpfung gearbeitet. Das Kriterium ist das Unterschreiten einer Trittfrequenz von 60 U/min. Anschließend folgt eine zehnmütige Ruhephase. Messgrößen waren Atemparameter, Herzfrequenz, Laktat.

Nach dem Dauertest wird das Blutvolumen mit der CO-Methode (Schmidt, Böning, Maassen & Schneider, 1994, S. 27) gemessen. Die direkt gemessene Größe ist dabei die Gesamthämoglobinmenge [Hb]. Mit der Hb und Hämatokrit (Hkt) lässt sich auch das Gesamterthrozytenvolumen und das Plasmavolumen errechnen.

Ausgangstests

Nach Ablauf der Trainingsperiode – in der fünften Woche – werden die Messungen mit einer Ausnahme in der gleichen Reihenfolge durchgeführt: Das Blutvolumen wird unmittelbar nach der letzten Trainingseinheit bestimmt, sodass unterschiedliche Mengen an Blut, die während der Eingangs- bzw. Ausgangstests entnommen werden, die Messung nicht beeinflussen.

3 Ergebnisse

Bei den jeweiligen Aufwärmintensitäten (30 und 50% der Maximalleistung) sind die Herzfrequenz, der RQ und die Laktatkonzentration nach beiden Trainingsformen tendenziell niedriger.

Die Arbeitszeit bei der Dauerbelastung bei 80% der Maximalleistung aus dem Stufentest war mit $13,45 + 4,2$ (K) und $14,99 + 4,0$ min (I) vor den Trainingsmaßnahmen nicht signifikant unterschiedlich. Die Verlängerung der Arbeitszeit durch die unterschiedlichen Trainingsformen war 16,3 % bei K und 44,5 % bei I. Die Unterschiede waren mit $p < 0,05$ signifikant. Nach 5 min bei 80 % waren Laktatkonzentration, Herzfrequenz und RQ tendenziell nach beiden Trainingsformen niedriger.

Bei Belastungsende war die Herzfrequenz nicht unterschiedlich. Nach dem Dauertraining nahm die Laktatkonzentration bei Belastungsende von ca. 13 auf 12 mmol/l ab ($p < 0,02$). Nach dem intervallartigen Training veränderte sich die Laktatkonzentration bei Abbruch nicht. Der RQ am Ende der Belastung sank bei I und K. Nach K war die Veränderung gerade (noch) nicht signifikant.

Die Leistung im ersten Wingate-Test stieg bei beiden Trainingsformen an. Der Anstieg bei I (+4,6%) ist vergleichbar mit dem Anstieg von K (+4,1 %).

Im zweiten Wingate-Test ergibt sich eine signifikant ($p < 0,05$) größere Verbesserung (+9 %) in der Leistung bei I gegenüber K (+5,7 %). In diesem Test waren nach I auch die Sauerstoffaufnahme (um ca. 10 %, $p < 0,05$) wie auch die Ventilation (um ca. 12 % $p < 0,01$) signifikant erhöht. Die Herzfrequenz am Ende des zweiten Wingate-Test war nicht durch die Trainingsformen beeinflusst.

Die Laktatkonzentrationen bei den Wingate-Tests wurden durch keine der Trainingsmethoden beeinflusst. Sie waren zu keinem Zeitpunkt der Belastung und der Erholung signifikant unterschiedlich.

Die Blutvolumina nahmen in beiden Gruppen um ca. 400 ml (ca. 7 %) zu.

4 Diskussion

In dieser Studie wurden zwei unterschiedliche Trainingsformen in ihrer Wirkung auf die Dauerleistungs-, Sprint- und Regenerationsfähigkeit untersucht. Obwohl bei beiden Formen die gleiche mittlere Arbeit erbracht wurde, erwies sich die intervallartige Trainingsform als überlegen. Dauerleistungs- und Regenerationsfähigkeit waren stärker verbessert als bei der Dauerethode.

Grundsätzlich sind die Anpassungen durch beide Trainingsmethoden ähnlich. Sie sind allerdings bei I größer. Die Vergrößerung des Blutvolumens (Schmidt, Böning, Maassen & Schneider, 1994, S. 27), die Absenkung des RQ und die tendenziell niedrigere Herzfrequenz lassen auf eine Zunahme der VO_{2max} unter beiden Bedingungen schließen. Da die Dauerleistungszeit bei einer gegebenen Belastung im wesentlichen von der relativen Intensität bezogen auf die VO_{2max} abhängt (Maassen, Schneider, Caspers & Busse, 1992, S. 511), könnte man vermuten, dass diese durch I stärker erhöht wird. Das würde auch mit den Befunden von (Dudley, Abraham & Terjung, 1982, S. 844) übereinstimmen, der eine stärkere Erhöhung der Cytochrome in den Mitochondrien bei intensivem Training gefunden hat. Die Trainingsintensitäten waren allerdings in der vorliegenden Untersuchung noch höher. Es waren Intensitäten und Belastungsdauern bei denen nach landläufiger Meinung der anaerobe Stoffwechsel besonders aktiv sein soll. Das gilt jedoch nur für einmalige Belastungen. Bei wiederholter, intensiver Belastung findet man einen hohen Anteil an oxidativer Energiebereitstellung. Sogar der Fettstoffwechsel steigt bei solchen Belastungen fast ähnlich stark an wie bei Dauerbelastungen (Essen, Hagenfeldt & Kaijser, 1977, S. 489; Stockmeier, 2003). Eine vermehrte Energiebereitstellung durch den oxidativen Stoffwechsel spielt auch bei den Verbesserungen in den Wingate-Tests eine

wesentliche Rolle. Da die Laktatkonzentration in den Wingate-Tests nicht unterschiedlich ist, liegt es nahe, dass der Laktat-Stoffwechsel nicht unterschiedlich durch die beiden Trainingsmethoden beeinflusst wurde. Die Verbesserungen in den Wingate-Tests laufen parallel zur Erhöhung der Sauerstoffaufnahme während der Belastungen. Die Veränderungen sind auch hier bei I größer. Die starke Erhöhung der Sauerstoffaufnahme im zweiten Test nach I zeigt, dass für die höhere Leistung nach einer vorangegangenen maximalen Belastung die oxidative Energiebereitstellung ausschlaggebend ist.

Da Ausdauer- und Sprintleistung sowie die Regenerationsfähigkeit mit I besser trainiert werden, scheinen Trainingsformen wie I effektiver als Training für Sportsportarten zu sein. Sie sind aber auch sinnvoll für Ausdauersportarten. Das intervallartige Training wurde von den Probanden problemlos toleriert. Ein Radrennfahrer mit einem Trainingsumfang von 16 Stunden pro Woche hat durch die drei Stunden zusätzlich mit I seine Arbeitszeit bei 80% um 34% verbessert. Auch er hat diese Zusatzbelastung gut toleriert.

5 Literaturverzeichnis:

- Dudley, G.A., Abraham, W.M. & Terjung, R.L. (1982). Influence of exercise intensity and duration on biochemical adaptations in skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 53, 4, 844-850.
- Essen, B., Hagenfeldt, L. & Kaijser, L. (1977). Utilization of blood-borne and intramuscular substrates during continuous and intermittent exercise in man. *J Physiol*, 265, 2, 489-506.
- Harmer, A.R., McKenna, M.J., Sutton, J.R., Snow, R.J., Ruell, P.A., Booth, J., Thompson, M.W., Mackay, N.A., Stathis, C.G., Crameri, R.M., Carey, M.F. & Eager, D.M. (2000). Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *J Appl Physiol*, 89, 5, 1793-1803.
- Maassen, N., Schneider, G., Caspers, A. & Busse, M.W. (1992). Dauerleistungsfähigkeit und Laktatleistungskurve bei Ausdauertrainierten und Untrainierten nach Glykogenbeladung. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 43, Sonderheft, 511-520.
- McKenna, M.J., Schmidt, T.A., Hargreaves, M., Cameron, L., Skinner, S.L. & Kjeldsen, K. (1993). Sprint training increases human skeletal muscle Na⁽⁺⁾-K⁽⁺⁾-ATPase concentration and improves K⁺ regulation. *J Appl Physiol*, 75, 1, 173-180.
- Saltin, B. & Gollnick, P. D. (1983). Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In Handbook of Physiology. *Skeletal Muscle*, 10, 555-631.
- Schmidt, W., Böning, D., Maassen, N. & Schneider, G. (1994). Die Bedeutung des Blutvolumens für den Ausdauersportler. Physiologische und unphysiologische Aspekte. *Leistungssport*, 24, 5, 27-36.
- Steputo, N.K., Hawley, J.A., Dennis, S.C. & Hopkins, W.G. (1999). Effects of different interval-training programs on cycling time-trial performance. *Med.Sci Sports Exerc.*, 31, 5, 736-741.

Stockmeier, Jan (2003). *Spirometrische Untersuchungen der Energiebereitstellung bei Intervall- und Dauerbelastungen mit gleichem Gesamtenergieverbrauch*. Hannover: Universität Hannover.