
Belastung im alpinen Rennlauf. Analyse, Simulation und Training

J. Mester (Projektleiter)¹, U. Hartmann¹, P. Spitzenpfeil¹,
F. Seifriz¹, J. Schwarzer¹,
D. Leyk², U. Hoffmann², H. Wackerhage², M. Smerecnik²,
B. van Bergen³, E. Friedrichs³,
H. Schnauber⁴, C. Treier⁴,
W. Vogel⁵, W. Maier⁵

¹Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Trainings- und Bewegungslehre

²Deutsche Sporthochschule Köln, Physiologisches Institut

³Fachhochschule Köln, Labor für Messtechnik, Abt. Gummersbach

⁴Ruhr-Universität Bochum, Institut für Arbeitswissenschaft

⁵Deutscher Skiverband

1 Problem

Ziel des vorliegenden Projekts war es, die Belastung im alpinen Skirennlauf zu untersuchen. Bei diesen Überlegungen ist zunächst zu berücksichtigen, dass sich der alpine Rennlauf durch Belastungen in der Wettkampfperiode auszeichnet, die in nur wenigen anderen Sportarten erreicht werden. Für das Zustandekommen dieser Belastungen sind neben der eigentlichen Wettkampfsituation äußere hohe Belastungen durch die umfangreichen Reisen verantwortlich. Das führt dazu, dass „normale“ Periodisierungen zwischen Vorbereitungsphase und Wettkampfphase sowie innerhalb der Wettkampfphase, z.B. durch gezielte Variation von Umfang und Intensität, nicht möglich sind. Durch dieses Projekt sollten u.a. Trainingsmittel und -methoden entwickelt werden, die ein effektiveres Training in der Vorbereitungsperiode ermöglichen.

Bei der Bestimmung der Belastung wurde in diesem Projekt vorwiegend die auf den Rennläufer einwirkenden hohen und hochfrequenten Bodenreaktionskräfte eingegangen. Eine erste Dämpfung findet im Bereich der Kniegelenke, dann der Hüfte und danach des Oberkörpers statt. Die Muskulatur als Hauptdämpfungselement muss sowohl von der Seite der Kontraktilitätsparameter („Schnellkraft/Reaktivkraft“) wie auch von der Seite der energiebereitstellenden Mechanismen („Ausdauer“) auf derartige Vorgänge vorbereitet sein. Die hohen energetischen Anforderungen im alpinen Rennlauf führen zu lokalen Laktatkonzentrationen in der Kniegelenkstreckmuskulatur von mehr als 35 mmol/kg Muskel. Differenzierte Trainingsmethoden für eine gemeinsame „Ansteuerung“ von Kontraktilitätsparametern und solchen der energiebereitstellenden Mechanismen sind bislang nicht bekannt.

2 Methoden

Um den komplexen Fragestellungen gerecht zu werden, waren die vier o.g. Forschergruppen an dem Projekt beteiligt, das folgende Forschungsgebiete beinhaltete:

Forschungsgebiet „Messung der vertikalen Bodenreaktionskräfte“

Die Bodenreaktionskräfte stellen eine wesentliche Grundlage zur Analyse der auf den Rennläufer einwirkenden äußeren Kräfte dar. In Felduntersuchungen wurden deshalb weiterentwickelte Methoden zur Messung der vertikalen Bodenreaktionskräfte im Skirennlauf eingesetzt. Mit Hilfe der an der Fachhochschule Köln, Abt. Gummersbach, neu entwickelten Messbindung wurden die in z-Richtung auftretenden Bodenreaktionskräfte zwischen Ski und Bindung gemessen. Ziel war es, durch die extrem flache Bauweise (\square 5 mm) eine Montage direkt zwischen der Bindung und dem Ski zu ermöglichen. Dadurch sollte eine Beeinträchtigung der Fahreigenschaften des Skis vermieden werden und die Verwendung des eigenen Materials für jeden Läufer möglich werden. Diese Voraussetzungen sind notwendig, um aussagekräftige Untersuchungen der Bodenreaktionskräfte während eines individuellen Schwungverlaufs im alpinen Skilauf zu machen. Die Vibrationsmessungen mit der Ski-Nationalmannschaft hatten zum Ziel, Aufschluss über die auftretenden Vibrationen unter renntypischen Bedingungen zu erhalten.

Forschungsgebiet „Simulation von Ganzkörper-Vibrationsbelastungen auf einem Schwingungsprüfstand“

Hochfrequente Stoßbelastungen stellen im Vergleich der Sportarten untereinander eine vergleichsweise ungewöhnliche Belastungskomponente dar. Um die Auswirkungen präzise untersuchen zu können, waren Laborstudien erforderlich. In Einzelfallstudien wurden unterschiedliche Belastungsspektren erzeugt. Dafür stand der Schwingungsprüfstand der Ruhr-Universität Bochum am Institut für Arbeitswissenschaft zur Verfügung. Dieses Gerät ermöglicht vertikale Schwingungen mit maximalen Amplituden von \square 120 mm und Frequenzen von bis zu 200 Hz. Die Grundkonstruktion besteht aus einer Hydraulikpumpe, einem Hydraulikzylinder (beides Fa. Schenck, Darmstadt, Deutschland) und einem Kolben mit Standplattform (600 x 700 mm). Die Steuerung erfolgt durch eine elektronische Regelungseinheit über PC und ermöglicht eine nahezu beliebige Kombination der Parameter Frequenz und Amplitude. Für die skispezifischen Untersuchungen wurde eine Vorrichtung zur Befestigung von Alpinski an der Plattform angebracht, die das Testen in der skispezifischen Situation (im Skischuh) ermöglicht. Außerdem konnte durch diese Vorrichtung ein Messsystem aus dem Skilauf verwendet werden, das mit Hilfe einer Messplatte zwischen Ski und Bindung das Messen von vertikalen Bodenreaktionskräften ermöglicht (MESTER 1988).

Forschungsgebiet „³¹P-MRS des muskulären Energiestoffwechsels während simulierter Skibelastungen“

Das komplexe Stoffwechselgeschehen auf der Ebene der Arbeitsmuskulatur ist bei Messungen unter Feldbedingungen nicht zugänglich. Deshalb sollten Messungen von physiologischen Parametern mit komplexen Modellen der Stoffwechselsimulation verbunden werden. Im Deutschen Forschungszentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln-Porz steht ein Bruker 4.7 T Magnet (Bruker Biospec 47/40) zur Verfügung, mit dem Parameter des Energiestoffwechsels im M.gastrocnemius und in Teilen des M.soleus untersucht werden können. Mit der zur Verfügung stehenden 5-cm-Oberflächenspule können der M.gastrocnemius und ein Teil des M.soleus untersucht werden. Mit Hilfe eines Elektromotors, der stufenlos regelbar ist (Leistung bis 1,1 kW) wird eine Welle angetrieben, die in das Innere des Magnetraumes führt, wo die NMR-Messungen stattfinden. Über eine Exzentrerscheibe werden Vibrationen in den Seilzug eingeleitet, der durch ein Ergometerpedal gespannt wird, gegen das der Proband arbeitet. Die so erzeugten Kräfte – Tretkraft des Probanden und Vibrationskraft – werden über einen Kraftaufnehmer erfasst und über eine analoge Leitung außerhalb des Magnetraumes durch ein Datenerfassungssystem digital gespeichert. Gleichzeitig wird dem Probanden die mittlere Tretkraft angezeigt.

3 Ergebnisse

3.1 Energetische Belastung

Es wurden Ganzkörpervibrationsbelastungen auf dem Hydropulser von jeweils 30 sec Dauer mit einer Pause von jeweils 1 min durchgeführt. Um eine gleichbleibende Beschleunigung (RMS 20 m/sec²) (SCHWARZER et al. 2000) zu erzielen, wurde bei ansteigender Frequenz (2,5-20 Hz) die Amplitude (125-4 mm) entsprechend reduziert. Bei dieser Belastungsform sind kaum ansteigende Laktatwerte zu verzeichnen (max. 1,1 mmol/l). Ebenso bewegt sich die Herzfrequenz unter 108 S/min und sinkt sogar gegen Ende der Gesamtbelastung auf 95 S/min ab. Erst mit ansteigender Beschleunigung (bis zu RMS 110 m/sec²) durch Erhöhung von Frequenz und/oder Amplitude zeigt sich auch eine höhere energetische Belastung in maximalen Laktatwerten von 3,8 mmol/l und maximalen Herzfrequenzwerten um 155 S/min. In weiteren Studien mit 90 sec Belastung und Beschleunigungen zwischen RMS 20 und 35 m/sec² werden Höchstwerte der Sauerstoffaufnahme von 1900 ml O₂/min gemessen. All diese Werte zeigen, dass Vibrationsbelastungen dieser Art (max. RMS 150 m/sec²) ohne Zusatzlast und kurzer Dauer nur eine geringe allgemeine energetische Belastung hervorrufen. Im oberen Belastungsbereich zeigen die Laktatwerte von 3,8 mmol/l allerdings, dass hier bereits die allgemein anaerobe

Energiebereitstellung einzusetzen beginnt. Die Studien mit lokaler Vibrationsbelastung der Wadenmuskulatur zeigen deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Kontraktionskraft und der überlagerten Vibrationsfrequenz. Die Unterschiede in den PCr-Minima können den angeregten Vibrationen zugeordnet werden.

3.2 Mechanische und muskuläre Belastung

Die Ergebnisse zeigen, dass das Verhalten des menschlichen Körpers bei Vibrationsbelastungen sehr komplex ist und stark von den einzelnen Parametern der Schwingung (Frequenz, Amplitude) abhängt. Beispielsweise lassen die EMG-Daten vermuten, dass die Aktivität der Muskulatur bei sehr niedrigen Beschleunigungen bewusst und synchron zur Anregung der Plattform gesteuert wird. Bei höheren Beschleunigungen kommt es jedoch immer mehr zu einer dauerhaften, vermutlich über den TVR ausgelösten, tonischen Kontraktion. Die Erhöhung des Tonus der an der Dämpfungsbewegung beteiligten Muskulatur bewirkt eine Steigerung der Muskel- bzw. Gelenkstiffness, die im Idealfall zu einer optimalen biologischen Dämpfung der Schwingungen führt. Bei einer weiteren Steigerung der Belastung (Beschleunigung) kommt es zu einer Überlastung der biologischen Dämpfung und somit zu einer Phasenverschiebung der einzelnen Körpersegmente zueinander. Für den Bereich des Krafttrainings könnten sich diese dauerhaft einwirkenden Stoßbelastungen durch die Phasenverschiebung in Verbindung mit der unter Spannung stehenden Muskulatur als wirksam erweisen. Allerdings scheint, wie auch in anderen Untersuchungen erwähnt, die Intensität der Kontraktion durch die Vibrationsbelastung alleine nicht ausreichend für eine Kraftanpassung zu sein. Aus diesem Grund ist die Verwendung einer Zusatzlast, wie in der Literatur (BOSCO et al. 1999a; BOSCO 1999b; ISSURIN et al. 1989; ISSURIN et al. 1994; ISSURIN et al. 1999; WEBER 1997) angesprochen, ratsam.

4 Diskussion

Untersuchungen zur Belastungssituation im alpinen Rennlauf wie im Freizeitskilauf haben bereits in den 60er Jahren die hohen Anforderungen an spezifische Kraftfähigkeiten in Verbindung mit Mechanismen der Energiebereitstellung herausgestellt. Bei der Analyse der biomechanischen Messungen wurde jedoch meist die Signalform der Kraft vernachlässigt. In den eigenen Untersuchungen wurden die Grenzbereiche der Belastbarkeit bei Schwingungsbelastungen herausgefunden und Erfahrungen zu den Belastungsnormativen Frequenz, Amplitude und Zusatzgewicht untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass das biologische System geringe Beschleunigungen durch gut koordinierte, aktive Muskelan- und -entspannung problemlos dämpfen kann. Bei einer Erhöhung der Beschleunigung kommt es zu einer dauerhaften, vermutlich über den toni-

schen Vibrationsreflex ausgelöst, tonischen Kontraktion. Bei weiterer Steigerung erfolgt eine Überforderung der Dämpfung einhergehend mit vermehrt exzentrischen Belastungen der angespannten Muskulatur. Für den Bereich des Krafttrainings könnten sich diese dauerhaft einwirkenden Stoßbelastungen in Verbindung mit der unter Spannung stehenden Muskulatur als wirksam erweisen. Es erfolgte die Konstruktion eines Vibrationstrainingsgerätes für die alpine Nationalmannschaft, mit Hilfe dessen die Anpassungen von Vibrationskrafttraining auf Kraft- und Dämpfungsverhalten untersucht wurden. Wesentliches Fazit für die Anwendung in der Praxis des alpinen Trainings ist die hohe individuelle Reaktion auf vibratorische Reize. Hierbei ist die richtige Wahl von Frequenz, Amplitude und Zusatzgewicht entscheidend. Aus den Erfahrungen der vorliegenden Studien und den Angaben aus der Literatur scheinen folgende Angaben sinnvoll: Als Zusatzgewicht sollte ein Bereich zwischen 70 und 80% gewählt werden, da bei niedrigerem Gewicht die Vorspannung der Muskulatur zu gering scheint, um optimale Anpassungen zu erzielen. Von Belastungen über 90% ist aus Gründen der Verletzungsprophylaxe abzusehen, da die Muskelspannungen durch die Reflexstimulation (TVR) zu hoch werden könnten. Die positiven Anpassungen, vor allem im Bereich der Reaktivkraft, deuten die hohe Relevanz eines solchen Trainings im Rahmen des alpinen Skirennlaufs an. Vibrationstraining kommt der realen Belastung im alpinen Rennlauf sehr nahe und kann deshalb als sinnvolle Ergänzung im Hochleistungsbereich des alpinen Skilaufs angesehen werden.

5 Ausgewählte Literatur

- BOSCO, C.; CARDINALE, M.; TSARPELA, O.: Influence of vibration on mechanical power and electromyogram activity in human arm flexor muscles. *Eur. J. Appl. Physiol.* (1999a) 79, 306-311
- BOSCO, C.; COLLI, R.; INTRONI, E.; CARDINALE, M.; TSARPELA, O.; MADELLA, A.; TIHANYI, J.; VIRU, A.: Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *J. Clin. Physiol.* (1999b) 19, 183-187
- ISSURIN, V.B.; KUKSA, S.V.; TEMNOV, P.N.: Effectiveness of different vibrostimulatory regimes during speed-strength exercises. In: Proceedings of the Conference „Speed-strength training in top-level athletes“. Moscow 1989
- ISSURIN, V.B.; LIEBERMANN, D.G.; TENENBAUM, G.: Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *J. Sport Sc.* (1994) 12, 561-566
- ISSURIN, V.B.; TENENBAUM, G.: Acute and residual effects of vibratory stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *J. Sport Sc.* (1999) 17, 177-182
- MESTER, J.: Diagnostik von Wahrnehmung und Koordination im Sport. Schorndorf 1988
- WEBER, R.: Muskelstimulation durch Vibration. *Leistungssport* 27 (1997) 1, 53-56
- SCHWARZER, J.; SPITZENPFEIL, P.; MESTER, J.: Physical assessment and quantification of vibration load. In: MÜLLER E.; ROITHNER R.; NIESSEN, W.; RASCHNER, C.; SCHWAMEDER, H. (Hrsg.): Abstract book of the 2nd Int. Congress on Skiing and Science. St. Christoph 2000, 76-77

