

Michael Vogt^{1,2}, Christoph Däpp¹, Jürg Blatter³, Reto Weisskopf², Guido Suter², Hans Hoppeler¹

¹ Anatomisches Institut der Universität Bern, 3012 Bern

² Swiss-Ski, 3074 Muri b. Bern

³ Hochschule für Technik und Architektur, 3014 Bern

Training zur Optimierung der Dosierung exzentrischer Muskelaktivität

Zusammenfassung

Der alpine Skirensport ist dadurch gekennzeichnet, dass während der aktiven Schwungphase die Beinmuskulatur vorwiegend exzentrisch (bremsend) arbeitet. Mit dem «Eccentric-Trainer», einem Trainingsgerät in Form eines Liegevelos, besteht die Möglichkeit, die exzentrische Muskelleistungsfähigkeit sowohl quantitativ als auch qualitativ zu verbessern. Von einem Motor angetriebene Pedale werden dabei vom trainierenden Athleten exzentrisch so gebremst, dass die Bremsleistung mit der Belastungsvorgabe übereinstimmt. Eine präzise Dosierung der Bremsleistung stellt hohe koordinative Anforderungen an den ungeübten Athleten. Werden männliche Elite-Skiathleten ohne vorherige Übungsgewöhnung während 20 min auf dem «Eccentric-Trainer» belastet, finden wir einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Dosierfähigkeit des exzentrischen Muskeleinsatzes und der Slalomleistungsfähigkeit. Schon nach einer zweiten Trainingseinheit verbessert sich bei allen 11 getesteten Athleten die Dosierfähigkeit des exzentrischen Muskeleinsatzes um mehr als 10%. Diese Untersuchung weist darauf hin, dass neben einer hohen exzentrischen Kraftfähigkeit die Qualität des exzentrischen Muskeleinsatzes von leistungsbestimmender Bedeutung bei Ski-Alpin-Athleten sein kann. Der «Eccentric-Trainer» ermöglicht, die Dosierung des exzentrischen Muskeleinsatzes zu trainieren.

Summary

Competitive alpine skiing is characterized by a dominance of eccentric muscle action. Eccentric muscle performance can be trained quantitatively as well as qualitatively on a newly developed eccentric cycle-ergometer («Eccentric-Trainer»). Motor driven pedals must be braked by an exercising subject in a way that the development of their eccentric leg force equals a given target load. A precise dosage of eccentric muscle action poses high coordinative demands to non-familiarized subjects. Eleven men elite skiers performed a 20 min single bout exercise program on the «Eccentric-Trainer». We found a significant relationship between the dosage of eccentric muscle action and ski specific performance. When repeating the exercise session a second time some days later, the dosage of eccentric muscle action was improved significantly by more than 10%. Our study shows that the quality of eccentric muscle action can be a determinant of specific performance in alpine skiers. The «Eccentric-Trainer» allows training of the dosage of eccentric muscle action.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 51 (4), 188–191, 2003

Einleitung

Bei den Wettkampfdisziplinen des alpinen Skirensports ist die muskuläre Belastung hoch. Das Muskeleinsatzmuster im alpinen Skisport ist speziell und dadurch charakterisiert, dass die exzentrische Muskelarbeit in Dauer und Intensität gegenüber der konzentrischen Muskelaktivität vorherrschend ist [1]. Bei exzentrischer Muskelaktivität leistet die involvierte Muskulatur «Bremsarbeit», auch negative Arbeit genannt. Bei «Bremsarbeit» wirkt auf den beanspruchten Muskel eine höhere äussere Kraft, als der Muskel selber generiert. Der Muskel wird gedehnt und absorbiert mechanische Energie, welche entweder als Wärme abgegeben wird (bergablaufender Mensch) oder, wie bei einer Feder, als elastische Energie (rennendes Tier) gespeichert und in Form von mechanischer Energie für die Fortbewegung wieder genutzt werden kann.

Im Skirensport findet man je nach Disziplin während der aktiven Steuerphase eines Schwunges unterschiedliche Muster im zeitlichen Verlauf und in der Intensität der exzentrischen Muskelaktivität (Abb. 1). Es gilt, innerhalb weniger Zehntelsekunden Kräfte von mehreren tausend Newton richtig dosiert aufzufangen. Skiathleten trainieren die Bedürfnisse einer hohen exzentrischen Kraftfähigkeit der Oberschenkelmuskulatur mit spezifischen

Übungen (z.B. Tiefsprünge oder Kniebeugen mit hohen Gewichten beim Tiefgehen). Solche Trainingsformen können zu einer starken Zunahme der Kraftleistungsfähigkeit (Quantität der exzentrischen Muskelaktivität) führen. Jedoch ist mit diesen Trainingsformen die präzise Dosierung des exzentrischen Muskeleinsatzes (Qualität der exzentrischen Muskelaktivität) nur bedingt möglich. Die Bedeutung der präzisen exzentrischen Kraftdosierung innerhalb von Sekundenbruchteilen zu Beginn der aktiven Steuerphase (Abb. 1) ist aber im Skirensport von grösster Bedeutung: Bei zu geringer exzentrischer Muskelaktivität während der aktiven Steuerphase wird der Skiläufer rutschen, eine zu starke exzentrische Muskelaktivität kann beispielsweise im Slalom zum «Auswerfen» des Athleten führen oder aber ein bremsendes «Ein-graben» der Skis in den Schnee bewirken. Erschwert wird eine situativ angepasste, präzise exzentrische Kraftdosierung im Skirensport aufgrund leichter, von Tor zu Tor auftretender Abweichungen in der Schneebeschaffenheit und Bodenunebenheiten. Skiathleten sollten deshalb neben einer hohen Kraftleistungsfähigkeit über gute propriozeptive Fähigkeiten verfügen.

Skiathleten trainieren diese Fähigkeit einer präzisen exzentrischen Kraftdosierung am besten auf Schnee, indem sie die Trainingsbedingungen bezüglich Schneebeschaffenheit, Kurssetzung,

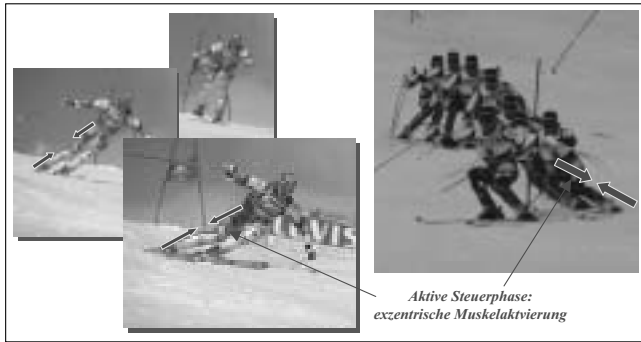


Abbildung 1: Exzentrische Muskelaktivität während der aktiven Steuerphase im Riesenslalom (links) und Slalom (rechts). Die Grösse der Pfeile gibt qualitativ die Rate der exzentrischen Muskelaktivierung wieder. Photos: Ph. Chevalier, Swiss-Ski.

Tempo, Geländewahl usw. variieren. Mit dem «Eccentric-Trainer» (Abb. 2) besteht jedoch für Skiathleten die Möglichkeit, auch im «Trockentraining» die Dosierung eines präzisen exzentrischen Krafteinsatzes zu trainieren. Daneben kann mit diesem Trainingsgerät der Muskelfaserquerschnitt und die isometrische Maximalkraft verbessert werden [2]. Mit dem Herren-B-Team von Swiss-Ski haben wir deshalb im Sommer 2002 die Möglichkeiten des Trainings auf dem «Eccentric-Trainer» erstmals mit Elite-Ski-Alpin-Athleten untersucht. Dabei klärten wir ab, ob es erstens einen Zusammenhang zwischen der skispezifischen Leistungsfähigkeit und der Dosierfähigkeit exzentrischer Muskelaktivität gibt und ob zweitens durch die Wiederholung des Trainings auf dem «Eccentric-Trainer» diese Fähigkeit verbessert werden kann.



Abbildung 2: Gesamtansicht des «Eccentric-Trainers». Durch einen Elektromotor werden die Pedale angetrieben. Der Athlet sitzt wie auf einem Liegevelo und bekommt über ein computergesteuertes «Feedback-System» Auskunft über die Qualität der exzentrischen Beinmuskularbeit.

Methoden

Athleten und Trainingsprotokoll

Insgesamt 11 Athleten des Herren-B-Teams von Swiss-Ski beteiligten sich an dieser Studie. Alle Athleten trainierten nach Instruktion durch die Konditionstrainer von Swiss-Ski mindestens zweimal auf dem «Eccentric-Trainer». Nach einem mehrminütigen individuellen Aufwärmprogramm absolvierten die Athleten die Trainingseinheit auf dem «Eccentric-Trainer» nach der Intervallmethode: 2-Minuten-Belastungen bei 500 W wechselten sich ab

mit einminütigen Belastungen auf 100 W. Dabei wurde jede Minute die Umdrehungsrichtung und alle 3 Minuten die Umdrehungsgeschwindigkeit (zwischen 60, 70 und 80 U/min) geändert. Eine Trainingseinheit dauerte 20 Minuten.

Skispezifische Leistungsfähigkeit

Als Kriterium für die skispezifische Leistungsfähigkeit wurden die FIS-Punkte gemäss FIS-Liste 2002/6 (Schlussliste Saison 2001/02) gewählt. In der vorliegenden Arbeit wurden für die Analyse die Abfahrts- und Slalompunkte beigezogen. Aufgrund der Spezialisierung werden die verschiedenen Disziplinen nicht gleich häufig trainiert bzw. wettkampfmässig bestritten. Deshalb wurden für die Korrelationsanalysen diejenigen Athleten ausgeschlossen, deren FIS-Punkte in der jeweiligen Disziplin mehr als eine Standardabweichung vom Mittelwert der FIS-Punkte der Gruppe entfernt lagen. Dadurch wurden die drei schlechtesten Abfahrts- und die zwei schlechtesten Slalompunkte aus der jeweiligen Analyse ausgeschlossen.

«Eccentric-Trainer»

Beim «Eccentric-Trainer» handelt es sich um ein stationäres Trainingsgerät in Form eines Liegevelos (Abb. 2). Die Pedale werden von einem 5-PS-Motor angetrieben. Die Aufgabe für den Athleten besteht darin, die Pedale so zu bremsen, dass die erbrachte Bremsleistung möglichst genau der vorgegebenen Zielleistung entspricht. Das Feedback über die Qualität des Trainings erhält der Athlet in «real-time» über einen Bildschirm (Abb. 3). Der Athlet muss versuchen, bei jedem Pedalwinkel die Belastung so zu dosieren, dass sie im grünen Zielbereich (Zielleistung ± 10%) bleibt. Je kleiner die Abweichung von der Zielleistung, desto kleiner ist der Fehler und umgekehrt. Der Fehler wird über die Standardabweichung (SD) vom Zielwert quantifiziert. Die Grösse SD macht deshalb eine Aussage über die Dosierfähigkeit bei exzentrischer Muskelaktivität. Je kleiner die SD, desto besser die exzentrische Dosierfähigkeit und umgekehrt. Das Gerät erlaubt Trainings im manuellen oder automatischen Modus. Im automatischen Modus können beliebig viele Phasen bezüglich Dauer, Zielbelastung, Umdrehungsgeschwindigkeit und Drehrichtung frei programmiert werden. Für die Trainingsauswertung wurde eine Software geschaffen, welche eine Quantifizierung der Trainingsqualität ermöglicht.

Statistik

Unterschiede von der 1. zur 2. Trainingseinheit wurden mit einem gepaarten t-Test auf ihre Signifikanz getestet. Beziehungen zwischen der skispezifischen Leistungsfähigkeit und der SD wurden

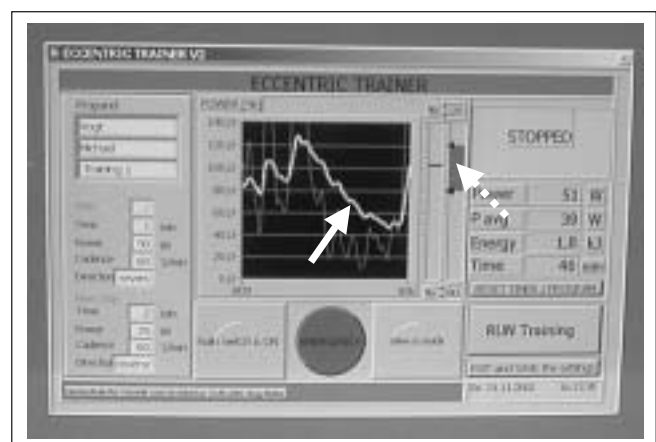


Abbildung 3: Bildschirmoberfläche des «Eccentric-Trainers». Der Athlet versucht über das «real-time feedback system» seine Bremsleistung (ausgezogener Pfeil) so zu dosieren, dass sie so gut wie möglich mit dem Zielbereich (schraffierter Pfeil) übereinstimmt.

mittels Produkt-Moment-Korrelationen auf ihre Signifikanz überprüft. Bei beiden Tests wird ein p-Wert kleiner als 0.05 als signifikant angesehen.

Resultate und Diskussion

Da ungewohnte exzentrische Belastungen zu Muskelkater führen können [4], muss exzentrisches Training mit untrainierten Personen oder Ausdauersportlern bei einer sehr tiefen Belastung aufgenommen werden. Eigene Beobachtungen zeigen, dass auf dem «Eccentric-Trainer» schon Belastungen von 150 W während 10 Minuten bei diesen Personen starken Muskelkater hervorrufen können. Dies war nicht der Fall bei den in dieser Studie untersuchten, trainierten Elite-Skiathleten. Obwohl die Belastung bei der ersten Trainingseinheit mit 500 W sehr hoch gewählt wurde, klagte kein Athlet über Muskelkater. Die Skiathleten sind aufgrund spezifischer muskulärer Anpassungen solche Belastung offensichtlich gewohnt, was die Erkenntnis von Berg und Eiken [1] unterstützt, dass die exzentrische Muskelarbeit im Skirennsport eine grosse Rolle spielt. Es wird davon ausgegangen, dass durch exzentrische Muskelarbeit die Steifigkeit (engl.: stiffness) der Muskulatur dahingehend optimiert wird, dass höhere exzentrische Belastungen besser toleriert werden [4].

Zur Auswertung der Qualität des Trainings wird die mittlere Abweichung von der Zielleistung (=100%) als Standardabweichung (SD) angegeben. *Tabelle 1* zeigt die SD für die hohe und die tiefe Trainingsbelastung. Sowohl bei 500 W als auch bei 100 W verbesserte sich die Qualität des exzentrischen Muskeleinsatzes (Abnahme der SD) vom 1. zum 2. Training hoch signifikant ($p < 0.005$) um 8,7 bzw. 14,5%. Die *Tabelle 1* zeigt auch, dass bei der hohen Belastung die Dosierfähigkeit schlechter war (höhere SD).

Belastung	1. Training SD	2. Training SD
100 W	41.5 W	35.0 W
500 W	48.0 W	43.8 W

Tabelle 1: Durchschnittliche Standardabweichung (SD) gemittelt über 11 Athleten bei hoher und tiefer Trainingsbelastung im 1. und 2. Training. Je tiefer die Standardabweichung, desto besser ist die Dosierfähigkeit der exzentrischen Muskelaktivität.

Korrelationsanalysen mit den Daten aus der 1. Trainingseinheit auf dem «Eccentric-Trainer» zeigten eine signifikante Beziehung zwischen der SD (Mass für Qualität des Trainings) bei der hohen Belastung (500 W) und den Slalom FIS-Punkten ($r = 0.89$, $p = 0.001$): je kleiner die SD, desto besser waren die Slalom-FIS-Punkte (*Abb. 4*). Anders ausgedrückt zeigte dieses Resultat einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Dosierfähigkeit der exzentrischen Muskelaktivität auf dem «Eccentric-Trainer» und

der skispezifischen Leistungsfähigkeit im Slalom. Eine solche Beziehung fand sich nicht, wenn die Abfahrts-FIS-Punkte in Beziehung zur SD gesetzt wurden (*Abb. 4*).

Dieses Resultat unterstützt die These, dass bei Slalomathleten der gleichen Kaderstufe (B-Kader Swiss-Ski) die Fähigkeit zur präzisen Dosierung der exzentrischen Muskelaktivität eine wichtige Voraussetzung für die Slalomleistung bildet. Eine hohe exzentrische Muskelleistungsfähigkeit ist zwar von grundlegender Bedeutung für Skiathleten, die (quantitative) Kraftfähigkeit kann aber nur effektiv genutzt werden, wenn sie richtig dosiert eingesetzt wird. Der Vorteil bei der Durchführung von exzentrischem Krafttraining auf dem «Eccentric-Trainer» liegt gerade darin, dass diese Eigenschaft trainiert werden kann. Vorbehalten gegenüber der Spezifität des Trainings kann entgegengehalten werden, dass mit dem «Eccentric-Trainer» mit Quadriceps, Gluteus und Hamstrings Muskeln exzentrisch trainiert werden, welche für die Sportart Ski Alpin von grosser Bedeutung sind [4, 5].

Es erstaunt vielleicht, dass wir keine Beziehung zwischen der SD und den FIS-Punkten aus einer schnellen Disziplin, wie der Abfahrt, fanden (*Abb. 4*). Dies könnte mit den gewählten Umdrehungszahlen (60–80 U/min) zusammenhängen, welche bewirken, dass es in jedem Bein im Rhythmus von 0,75–1 sec zu einer exzentrischen Kontraktion kommt, was besser die Verhältnisse im Slalom als in der Abfahrt simuliert. Der Athlet muss dabei von der «gestreckten» zur «gebeugten Beinstellung innerhalb von 0,19–0,25 sec die richtige Bremsleistung mit seiner Oberschenkelmuskulatur antizipieren, was einer Kniewinkelgeschwindigkeit von ungefähr 300°/sec entspricht. In den schnellen Disziplinen wie der Abfahrt sind die Kniewinkelgeschwindigkeiten oft viel geringer. Dies führt dazu, dass die exzentrische Bremskraft langsamer aufgebaut wird als im Slalom.

Die vorliegende Arbeit befasste sich ausschliesslich mit den akuten Effekten eines Trainings auf dem «Eccentric-Trainer». Mehrwöchige Trainingsstudien mit dem «Eccentric-Trainer» zeigen, dass diese Trainingsform neben einer Zunahme des Muskelfaserquerschnittes und der Muskelleistungsfähigkeit auch eine Veränderung der «muscle-stiffness» bewirkt [3, 4]. Die Elastizität der Beinmuskulatur nimmt dabei ab, was bedeutet, dass die muskuläre Feder härter wird. Bei einer harten Feder ist bei einer bestimmten Zugkraft die Auslenkung weniger gross als bei einer weichen. Gleichzeitig kann eine harte Feder bei geringerer Auslenkung mehr elastische Energie speichern und diese bei «Entspannung» wieder freigeben. Steife und damit schneller reagierende muskuläre Feder- bzw. Dämpfungssysteme können für Skiathleten von Vorteil sein, indem kleine Schläge und Pistenunebenheiten über diese passiven Muskeleigenschaften effizient abgedämpft werden. Eine Studie mit gut trainierten US-Basketballspielern fand nach 6 Wochen Training auf dem «Eccentric-Trainer» eine Zunahme der «muscle-stiffness» um 12% [3]. Diese Anpassung ging einher mit einer Zunahme der Sprunghöhe im Counter-Movement Jump um 8% von 62 auf 67 cm.

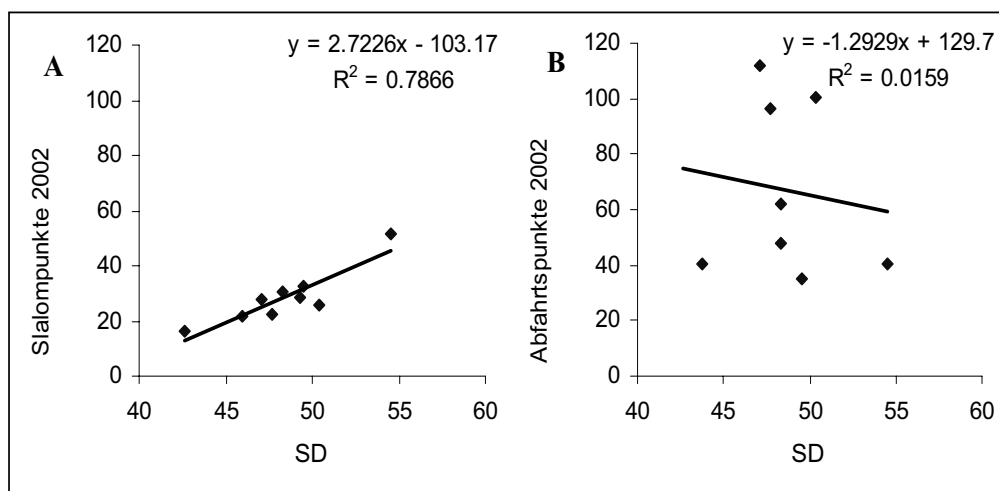


Abbildung 4: Korrelationen zwischen der Standardabweichung (SD, Wert für Abweichung der Bremsleistung des Athleten von der Zielleistung [= 500 W]) bei der 1. Trainingseinheit und den FIS-Punkten der Saison 2001/02 im Slalom (A, $n = 9$) bzw. in der Abfahrt (B, $n = 8$).

Schlussfolgerungen und Konsequenzen für die Praxis

- Die Fähigkeit der optimalen Dosierung des exzentrischen Krafteinsatzes der Beinmuskulatur ist bei Alpin-Skiathleten von grosser Bedeutung.
- Im Schneetraining kann die Fähigkeit der optimalen Dosierung des exzentrischen Krafteinsatzes gut trainiert werden, wenn bezüglich Schneebeschaffenheit, Kurssetzung, Tempo, Geländewahl usw. variiert wird.
- Mit dem «Eccentric-Trainer» kann die Fähigkeit der optimalen Dosierung des exzentrischen Krafteinsatzes im Sommer- bzw. Trockentraining trainiert und kontrolliert werden.
- Das Training auf dem «Eccentric-Trainer» erfordert während der gesamten Einheit ein hohes Mass an Konzentration. Das Training könnte deshalb mentale Fähigkeiten beeinflussen.
- Der «Eccentric-Trainer» kann auch in der Rehabilitation von Skiathleten unter kontrollierten Bedingungen und bei leichten Belastungen für ein frühes exzentrisches Krafttraining eingesetzt werden.

Danksagung

Herzlichen Dank dem Alpin-B-Kader von Swiss-Ski für die gute Zusammenarbeit. Dieses Projekt wird unterstützt von Swiss-Ski, Swiss Olympic und der Universität Bern.

Korrespondenzadresse:

Michael Vogt, Universität Bern, Anatomisches Institut, Bühlstrasse 26, CH-3012 Bern, Office: ++41 (0)31 631 84 68, Natel: ++41 (0)79 423 43 19, E-Mail: vogt@ana.unibe.ch

Literaturverzeichnis

- 1 Berg H.E., Eiken O.: Muscle control in elite alpine skiing. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31: 1065–1067, 1999.
- 2 LaStayo P.C., Pierotti D.J., Pifer J., Hoppeler H., Lindstedt S.L.: Eccentric ergometry: increases in locomotor muscle size and strength at low training intensities. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 278: R1282–1288, 2000.
- 3 Lindstedt S.L., Reich T.E., Keim P., LaStayo P.C.: Do muscles function as adaptable locomotor springs? *J. Exp. Biol.* 205: 2211–2216, 2002.
- 4 Lindstedt S.L., LaStayo P.C., Reich T.E.: When active muscles lengthen: properties and consequences of eccentric contractions. *News Physiol. Sci.* 16: 256–261, 2001.
- 5 Tesch P.A.: Aspects on muscle properties and use in competitive alpine skiing. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27: 310–314, 1995.