
Pilotprojekt zur Überprüfung und Optimierung der exzentrischen Kraftdiagnostik zur Trainingssteuerung im Spitzensport

Ansgar Schwirtz, Daniel Hahn, Florian Paternoster & Johannes Petrat

Technische Universität München, Fakultät für Sportwissenschaft,
Fachgebiet für Biomechanik im Sport

Problem

Das Kraftdefizit – definitorisch festgelegt als prozentuale Differenz zwischen exzentrischer und isometrischer Maximalkraft – ist nach wie vor ein häufig erhobener Parameter in der biomechanischen Kraftdiagnostik von Spitzensportlerinnen und -sportlern, insbesondere im Bereich des Skisports (Bruhn et al., 2002). In Anlehnung an die Forschungsarbeiten der Freiburger Arbeitsgruppe um Bührle zeigt dessen Ausprägung an, „ob ein weiterer Kraftzuwachs noch über eine Verbesserung der neuromuskulären Funktionen zu erreichen ist. Je nachdem [...] müssen unterschiedliche Trainingsmethoden angesetzt werden“ (Bührle, 1985, S. 93). Demzufolge ist das Kraftdefizit ein Maß dafür, inwieweit das höchstmögliche Kraftpotential, das ein Muskel aufgrund seines physiologischen Querschnitts zur Verfügung hat, willentlich ausgeschöpft werden kann. Diese Interpretation der exzentrischen Kraftpotenzierung ist allerdings mit den vor allem in der internationalen aber z. T. auch in der deutschen Literatur (Gissis et al., 2002) diskutierten muskulären Mechanismen, welche zum Phänomen der erhöhten exzentrischen Maximalkraft führen, nur schwer vereinbar. Dementsprechend ist es basierend auf dem z. T. widersprüchlichen theoretischen Kenntnisstand fraglich, inwiefern sich die diagnostische Beurteilung der exzentrischen Kraftpotenzierung dazu eignet, differenzierte Aussagen über den Krafttrainingszustand von Spitzenathletinnen und -athleten zum Zweck der Trainingssteuerung zu treffen.

Zudem ist bei einer Kraftdiagnostik im Allgemeinen zu beachten, dass die resultierende Kraft eines Muskels bzw. die eines diagnostischen Tests (z. B. in der Beinpresse) eine gegenseitige Abhängigkeit von mehreren biomechanischen und physiologischen Faktoren zeigt. Somit ist bei der Beurteilung des Krafttrainingszustands anhand einer singulären Messung große Vorsicht geboten (vgl. Hahn, 2008), da für eine komplexe Evaluierung die gleichzeitige Betrachtung mehrerer Faktoren notwendig ist (Wank, 2000). Das Modell des Kraftdefizits geht jedoch davon aus, dass der prozentuale Unterschied zwischen isometrischer und exzentrischer Maximalkraft unabhängig vom experimentellen Setup den Trainiertheitsgrad der Muskulatur wiedergibt.

Der zusätzliche, aktuelle sportpraktische bzw. der kraftdiagnostische Hintergrund der geschilderten Problematik ist der, dass die Athletinnen und Athleten des Deutschen Skiverbandes (DSV) seit mehreren Jahren keine exzentrische Kraftpotenzierung mehr zeigen (Pyrka et al., 2008), was u. a. am gewählten diagnostischen Setup liegen könnte. Ziel der Pilotstudie war es deshalb zu überprüfen, ob eine

exzentrische Kraftpotenzierung im Sinne eines Kraftdefizits auftritt und welchen Einfluss das experimentelle Design (Dehnamplitude, Dehnungsgeschwindigkeit) auf die Ausprägung des Kraftdefizits nimmt.

Methode

Die Pilotstudie basiert auf der Projektkonzeption zur „Überprüfung und Optimierung der exzentrischen Kraftdiagnostik zur Trainingssteuerung im Spitzensport“. Dazu gab es seitens des BISP folgende Vorgabe und Auflagen für eine Pilotstudie zur Überprüfung der Methodik:

„In einer maximal einjährigen exemplarischen Studie mit ca. 5-8 Probanden, die zumindest teilweise aus dem Nachwuchsbereich des Deutschen Skiverbandes rekrutiert werden müssen, soll zunächst die Methodik überprüft werden.“

Dementsprechend wurden N = 6 Probandinnen bzw. Probanden (5 davon LG I a, LG II a und ehemals LG Ia/LG Ib Skisprung) auf die Ausprägung ihres Kraftdefizits hin untersucht. Dieses wurde für die mehrgelenkige Bein Streckung in Abhängigkeit der Dehnamplitude (5°, 15°) und der Dehnungsgeschwindigkeit (5° s⁻¹, 30° s⁻¹, 80° s⁻¹) bestimmt. Als Parameter dienten die externe Beinkraft, Drehmomente in Sprung-, Knie- und Hüftgelenk sowie die Aktivität von 8 Muskeln der unteren Extremität. Alle Parameter wurden unabhängig von der Testbedingung jeweils bei 70° Kniewinkel und nach identischer Kontraktionsdauer erhoben. Insgesamt mussten 24 maximal willentliche Kontraktionen absolviert werden. Zur Vermeidung von Ermüdungseffekten wurde der Versuchsablauf randomisiert und eine Mindestpausendauer von 3 Minuten eingehalten.

Beim Testgerät zur Durchführung der Messungen handelt es sich um die motorgetriebene Beinpresse IsoMed2000 (D&R Ferstl GmbH) mit zusätzlich auf das Stembrett montierten Kraftmessplatten. Die Kinematik der Bewegung wurde mit Hilfe eines VICON-Systems (Oxford Metrics) erfasst, so dass auf Basis dieser Eingangsdaten die o. g. Gelenkmomente invers-dynamisch berechnet werden konnten. Ein telemetrisches EMG-System (Myon AG) diente der Erfassung der Muskelaktivität.

Ergebnisse

Vorab ist anzumerken, dass die Ergebnisse aufgrund der geringen Probandenzahl nur bedingt aussagekräftig sind. Dem experimentellen Design entsprechend wurde trotz der (zu) geringen Probandenzahl eine ANOVA gerechnet, um eine Abschätzung über die statistische Signifikanz der Daten zu erhalten. Im Mittel konnte für alle Versuchsbedingungen ein exzentrisches Kraftdefizit festgestellt werden, das allerdings nur für die Versuche mit mittlerer (30° s⁻¹) und hoher (80° s⁻¹) Dehnungsgeschwindigkeit eine statistische Signifikanz aufwies (vgl. Tab. 1).

Tab. 1. Mittelwerte \pm Standardabweichung der externen Beinkraft [N] bzw. des Kraftdefizits [%] bei den verschiedenen Versuchsbedingungen. Signifikante Werte beim Kraftdefizit sind mit * ($p < 0,05$) gekennzeichnet.

	Kraft [N] bzw. Kraftdefizit [%] bei Versuchsbedingung				
	5°, 5°s ⁻¹	5°, 30°s ⁻¹	15°, 5°s ⁻¹	15°, 30°s ⁻¹	15°, 80°s ⁻¹
isometrisch	917 \pm 199	936 \pm 179	908 \pm 210	948 \pm 182	925 \pm 176
exzentrisch	963 \pm 187	1075 \pm 190	945 \pm 158	1055 \pm 201	1107 \pm 228
Kraftdefizit	5,7 \pm 8,5	15,4 \pm 8,6*	5,5 \pm 11,7	11,6 \pm 8,6*	19,7 \pm 7,7*

Des Weiteren lässt sich aus den Ergebnissen erkennen, dass der Betrag des Kraftdefizits bei gegebenem Dehnweg mit zunehmender Dehnungsgeschwindigkeit zunimmt (vgl. Abb. 1). Die statistische Überprüfung ergab diesbezüglich, dass der Dehnweg keinen signifikanten Effekt auf das Kraftdefizit hat ($p = 0,383$), wohingegen die Dehnungsgeschwindigkeit die Höhe der exzentrischen Kraftpotenzierung signifikant beeinflusst ($p = 0,033$).

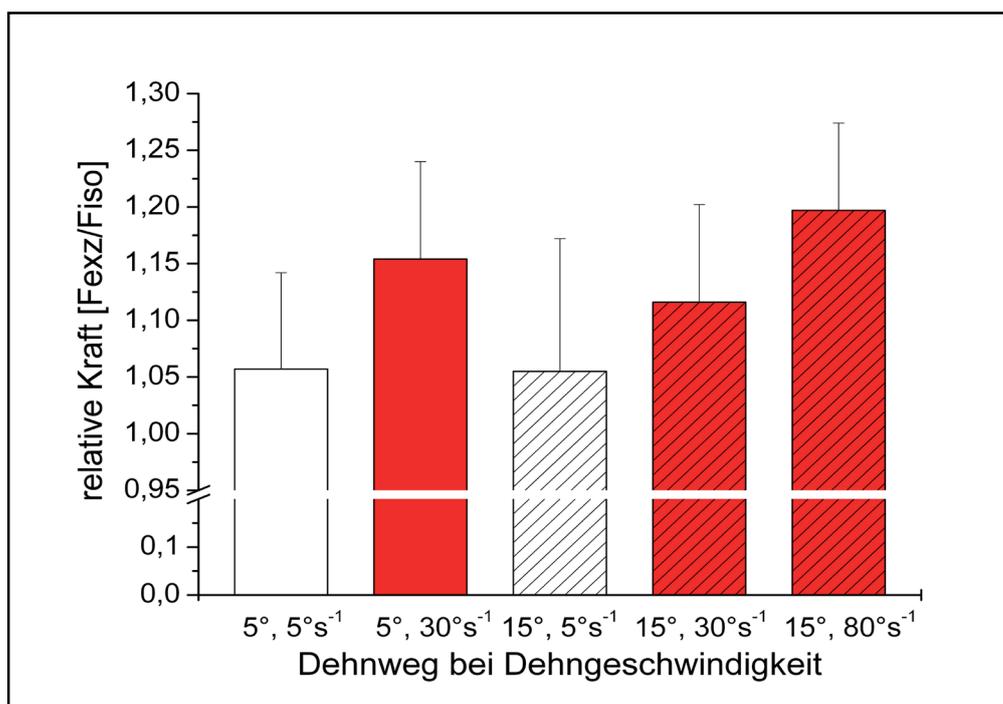


Abb. 1. Kraftdefizit in Abhängigkeit von Dehnweg und Dehnungsgeschwindigkeit.

Der Betrag des Kraftdefizits (y-Achse) ist als relative Kraft gebildet aus dem Quotienten von exzentrischer und isometrischer Kraft angegeben. Die x-Achse gibt die Kontraktionsbedingung wieder. Die Säulen ohne Schraffierung repräsentieren die Versuche mit $\Delta 5^\circ$ Dehnamplitude, die Schraffierung steht für $\Delta 15^\circ$ Dehnamplitude. Die rote Färbung kennzeichnet jeweils eine signifikante exzentrische Kraftpotenzierung im Sinne des Kraftdefizits.

Die statistische Analyse der Aktivität aller erfassten Muskeln mittels ANOVA zeigte, dass weder Kontraktionsbedingung, Dehnamplitude noch Dehnungsgeschwindigkeit einen signifikanten Effekt auf die EMG-Signale hatten. Somit zeigte sich die Muskelaktivität während exzentrischen im Vergleich zu isometrischen Kontraktionsbedingungen unverändert. Trotz unterschiedlich hohem Kraftdefizit in Abhängigkeit der Dehnungsgeschwindigkeit traten auch diesbezüglich keine Unterschiede bei der Muskelaktivität auf.

Die exzentrische Kraftpotenzierung zeigte bei einem Vergleich der externen Beinkraft mit den invers-dynamisch berechneten Gelenkmomenten keinen Unterschied. Das Kraftdefizit für die verschiedenen Kontraktionsbedingungen belief sich für die Gelenkmomente auf $2,9 \pm 14,3$ % bei $\Delta 5^\circ, 5^\circ \text{s}^{-1}$ bis zu $26,7 \pm 9,1$ % bei $\Delta 15^\circ, 80^\circ \text{s}^{-1}$. Trotz der Ähnlichkeit der Mittelwerte für das Kraftdefizit war es anhand des korrelativen Zusammenhangs nur teilweise möglich, vom Kraftdefizit, bestimmt anhand der gemessenen externen Beinkraft, auf das Kraftdefizit auf Gelenkebene zu schließen.

Diskussion

Im Gegensatz zur aktuellen Diagnostik an den Olympiastützpunkten konnte ein Kraftdefizit festgestellt werden, welches zwischen $5,5 \pm 11,7$ und $19,7 \pm 7,7$ Prozent betrug und eine Abhängigkeit von der Dehnungsgeschwindigkeit in der Hinsicht zeigte, dass das Kraftdefizit mit zunehmender Geschwindigkeit ebenfalls ansteigt. Für die Praxis der Kraftdiagnostik zur Trainingssteuerung und Trainingsberatung von Spitzenathletinnen und -athleten ist dieses Ergebnis von entscheidender Bedeutung, da eine sinnvolle Trainingssteuerung somit momentan kaum möglich erscheint, was folgendes Beispiel verdeutlicht. Eine Testperson (LG Ia) zeigte bei $\Delta 15^\circ$ und 5°s^{-1} ein Kraftdefizit von 2,3 %, bei $\Delta 15^\circ$ und 80°s^{-1} , hingegen eine exzentrische Kraftpotenzierung von 20,0 %. Dementsprechend würde man basierend auf dem Ergebnis der Messung mit 5°s^{-1} dieser Person eher ein Hypertrophietraining, basierend auf der Messung bei 80°s^{-1} jedoch eher ein Training zur Verbesserung der intramuskulären Koordination empfehlen (vgl. Bührle, 1985, S. 93).

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse und der Tatsache, dass im Rahmen der Pilotstudie überhaupt ein Kraftdefizit diagnostiziert werden konnte, ist es das Ziel weiterer Untersuchungen mit größerer Fallzahl im Sinne der ursprünglichen Projektkonzeption, ein optimiertes Setup für die exzentrische Kraftdiagnostik zu erarbeiten. Als Optimierungsfaktoren sollen vor allem die Dehnungsgeschwindigkeit, die Dehnamplitude und zusätzlich die getestete Muskellänge Berücksichtigung finden. Im Anschluss an die Untersuchungen zum Einfluss der genannten Faktoren auf das Kraftdefizit, soll das optimierte Diagnostik-Setup auf dessen Einsetzbarkeit zur Trainingssteuerung über die Durchführung einer Trainingsstudie evaluiert werden. Bei einem erfolgreichen Abschluss besteht der letzte Schritt schließlich darin, das neu erarbeitete Konzept an den Olympiastützpunkten Sportlerinnen und Sportlern, Trainerinnen und Trainern, Vertretern aus den Verbänden und Experten aus der Sportwissenschaft vorzustellen und zu erläutern.

Literatur

- Bruhn, S., Schwirtz, A. & Gollhofer, A. (2002). Diagnose von Kraft- und Schnellkraftparametern zur Trainingssteuerung im Skisprung. *Leistungssport*, 32, 34-37.
- Bührle, M. (1985). Dimensionen des Kraftverhaltens und ihre spezifischen Trainingsmethoden. In M. Bührle (Hrsg.), *Grundlagen des Maximal- und Schnellkrafttrainings* (S. 82-111). Schorndorf: Karl Hofmann Verlag.
- Gissis, I., Grezios, A., Göhner, U. et al. (2002). Elektromyographische Aktivität unter exzentrisch erzwungenen Belastungen an den unteren Extremitäten. *Leistungssport*, 02, 19-22.
- Hahn, D. (2008). Force-length properties of leg extension and their implications for strength diagnostics. In Y.-H. Kwon, J. Shim, J.K. Shim & I.-S. Shin (Eds.), *The XXVI International Conference on Biomechanics in Sports*. Korean Society of Biomechanics in Sports, Seoul/Korea, 120-123.
- Pyrka, P., Veith, M., Schüller, K. et al. (2008). Performance testing through isokinetic strength and jump height measurements in Nordic Combined. *World Congress of Performance Analysis of Sport VIII*. Magdeburg, Germany
- Wank, V. (2000). *Aufbau und Anwendung von Muskel-Skelett-Modellen zur Bestimmung biomechanischer Muskelparameter*. Friedrich-Schiller-Universität, Jena