

Einflussnahme einer submaximalen Radbelastung auf die Fußdruckverteilung und Muskelaktivität beim Laufen

1 Problemstellung und Zielsetzung

Das Laufen und die damit verbundenen Beanspruchungen des menschlichen Körpers sind seit jeher Gegenstand vielfältiger biomechanischer und physiologischer Untersuchungen. Die meisten davon konzentrieren sich auf kinematische Analysen. Nur wenige beschäftigen sich mit laufspezifischen Ermüdungsregulationsmechanismen auf neurophysiologischer Basis (GOLLHOFER/KOMI/HYVÄRINEN 1989; STUTZ/SCHMIDTBLEICHER 1994). Beide Untersuchungsansätze verdeutlichen die hohen Anforderungen an das Stütz- und Bewegungssystem und ließen in den letzten Jahren alternative Trainingsformen in den Trainingsalltag Einzug halten. Sogenannte Cross-Trainingsbelastungen werden als verletzungspräventiv und potentiell leistungsverbessernd angesehen (MORAN/MCGLYNN 1998). Läufer nutzen beispielsweise das Radfahren, um den Halte- und Stützapparat zu entlasten und laufspezifischen Überlastungsschäden vorzubeugen.

Biomechanische Untersuchungen und wissenschaftstheoretische Überlegungen zur wechselseitigen Beeinflussung von verschiedenen Ausdauerbelastungen sind dennoch kaum vorhanden. Ausnahmen bilden die Untersuchungen von PIZZA u.a. (1995), die den Einfluss von zusätzlich zum Lauftraining durchgeführten Cross-Trainingseinheiten auf die Laufökonomie und die Bodenreaktionskräfte untersuchten und die von HERZOG (1996) beschriebenen langfristigen Anpassungserscheinungen im muskulären Leistungsoutput in Abhängigkeit von der Muskellänge im Training.

Ziel dieser Studie ist deshalb, den Einfluss einer Radbelastung auf neurophysiologische und biomechanische Parameter des Laufens zu untersuchen. Dabei werden die unterschiedlichen Ergebnisse laufspezifischer Ermüdungsstudien diskutiert und mit den eigenen verglichen.

2 Methodik

24 nationale und internationale Spitzentriathleten (7 weibliche, 17 männliche) nahmen freiwillig an einem kombinierten Lauf-Rad-Test unter Laborbedingungen teil. Das Gros der Athleten gehörte dem Kader der ungarischen Nationalmannschaft an. Die anthropometrischen Daten des Probandenkollektivs lauten ($MW \pm \sigma$): Alter: $23,8 \pm 3,1$ Jahre ; Körpergewicht: $69,0 \pm 7,2$ kg ; maximale Sauerstoffaufnahme (VO_2max): $64,1 \pm 4,2$ ml $kg^{-1} min^{-1}$.

Das Untersuchungsdesign bestand aus maximal beanspruchenden Lauf- und Radbelastungen mit einer Gesamtbelastungszeit von etwa 90 min. Als erstes absolvierten die Sportler ein Laufbandstufentest (Stufendauer 3 min, Anstieg 2 km/h) bis zur vollständigen Ausbelastung (=Lauf 1). Hierauf folgte eine 20minütige Laufdauerbelastung mit 80 % VO₂max (=Lauf 2). Anschließend wurden die ersten beiden Stufen (v1, v2) von Lauf 1 wiederholt (=Lauf 3). Die nachfolgende Radbelastung von 30 Minuten Dauer und 80%VO₂max wurde auf einem Hochleistungsergometer (Schoberer) mit 90 U/min durchgeführt. Abschließend wurde Lauf 1 wiederholt (=Lauf 4). Die Wechselzeiten zwischen den Trainingsmitteln betragen 5 min und die Pausenzeit zwischen den Belastungsstufen 1 min. Zur Charakterisierung der Stoffwechsellage und der kardiopulmonalen Beanspruchung wurden permanent die Herzfrequenz (Polar) bzw. nach jeder Stufenbelastung die Laktatkonzentration (Ependorf) mittels kapillarer Ohrblutentnahme erhoben.

Bei allen Probanden wurde die plantare Fußdruckverteilung (Novel Pedar-System) und bei n=8 Rückfußläufern die Muskelaktivität ermittelt. Die Druckverteilung wurde beidseitig mit 50 Hz aufgezeichnet und direkt einem Messcomputer zugeführt. In Anlehnung an BONTRANGER u.a. (1997) wurde eine Einteilung in 9 anatomische Fußzonen vorgenommen.

Die Aktivität folgender Muskeln der rechten unteren Extremität wurde mit Hilfe eines 16 kanaligen Elektromyographiesystems (Biovision) erhoben: M. gastrocnemius (caput medialis), M. tibialis anterior, M. vastus medialis, M. vastus lateralis, M. rectus femoris und M. biceps femoris. Zur Kontrolle des Kniewinkels wurde ein elektronisches Goniometer (Biovision) in Längsrichtung der gelenkbildenden Knochen-segmente auf die Haut appliziert. Zur Erfassung des Bodenkontaktes wurde ein mechanischer Kontaktsensor (Biovision) im Bereich der Ferse des jeweiligen Probanden befestigt. Das Signal des Kontaktsensors, des Goniometers sowie die EMG-Signale wurden simultan erhoben und direkt an ein Notebook übertragen. Die Sample-Rate betrug 2 KHz. Alle Signale wurden über vier Bewegungszyklen elektronisch gemittelt.

3 Ergebnisse

3.1 Leistungsphysiologie

Die Blutlaktatwerte (Tab. 1) verdeutlichen, dass die Athleten sich während des gesamten Tests primär im aeroben Stoffwechsel befanden. Die Laktatkonzentration akkumuliert sich von Lauf 1 auf Lauf 4 nur geringfügig (*p<0,05).

Tab.1: Laktatwerte während des Testverlaufs (MW ± Stabw. in mmol/l)

N=24	LAUF 1	LAUF 3	LAUF 4
v1=13,25 km/h	1,16 ± 0,5	1,48 ± 0,76	2,29* ± 1,01
v2=16,75 km/h	1,47± 0,55	1,73± 0,55	2,55* ± 1,13

3.2 Druckverteilung

Die Ergebnisse der Fußdruckverteilung zeigen keine signifikanten Änderungen in den Parametern Kontaktfläche, Spitzendruckwerte, Gesamtkraft, Kraft-Zeit-Integral und Kontaktzeit im Vergleich von Lauf 1 mit Lauf 3. Dennoch scheint ein Trend zur Reduktion der Belastungsspitzen vorzuliegen, der im Falle des Gesamtimpulses von v2 sogar signifikant ist ($p < 0,05$). Die Kontaktfläche bleibt auch in Lauf 4 annähernd konstant, so dass die Entwicklung der Spitzendruckwerte immer analog zu den im folgenden dargestellten Gesamtkraftwerten verläuft.

Im Vergleich zu Lauf 3 und Lauf 1 sind in Lauf 4 signifikante Erhöhungen ($p < 0,01$) der Gesamtkräfte ($v1$: +15%, $v2$: +12%) und der Kraft-Zeit-Integrale ($v1$: +9%) auszumachen (Abb. 1 und 2). Die Zunahme der Fußbelastung zeigt sich bei den Rückfußläufern vor allem im Bereich der Ferse und des longitudinalen Fußgewölbes, bei den Mittelfußläufern im Bereich der 2. und 3. Metatarsalen.

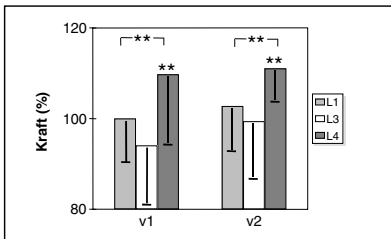


Abb. 1: Entwicklung der Gesamtkraft

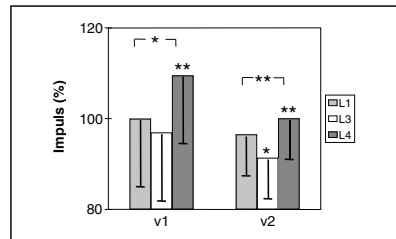


Abb. 2: Entwicklung des Gesamtimpulses

3.3 Elektromyographie

Für den M. vastus medialis (VM) kann eine signifikante Erhöhung ($p < 0,01$) der Gesamtaktivität in Lauf 4, begleitet von einer Rechtsverschiebung im Innervationsmuster ausgemacht werden. In Lauf 3 scheint ein Trend zur Reduktion der Gesamtaktivität und einer Linksverschiebung im Innervationsmuster vorzuliegen (Abb. 3a, 3b und 4). Die Tendenz aus Abb. 3a findet sich auch bei den anderen Muskeln wieder.

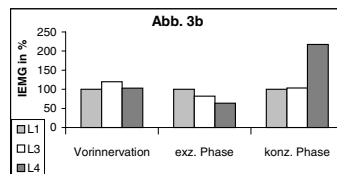
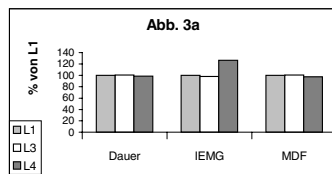


Abb. 3: Amplituden- und Frequenzparameter des M. vastus medialis (n=8) und deren Phasenverteilung

Der M. rectus femoris scheint trotz ähnlicher Funktion bei der Kniestreckung während der exzentrischen Phase des Bodenkontaktes gegensätzliche Regulationsmechanismen aufzuweisen. Auch die anderen vier erhobenen Muskeln weisen in bezug auf das zeitliche Innervationsmuster keinen für alle einheitlichen Trend auf.

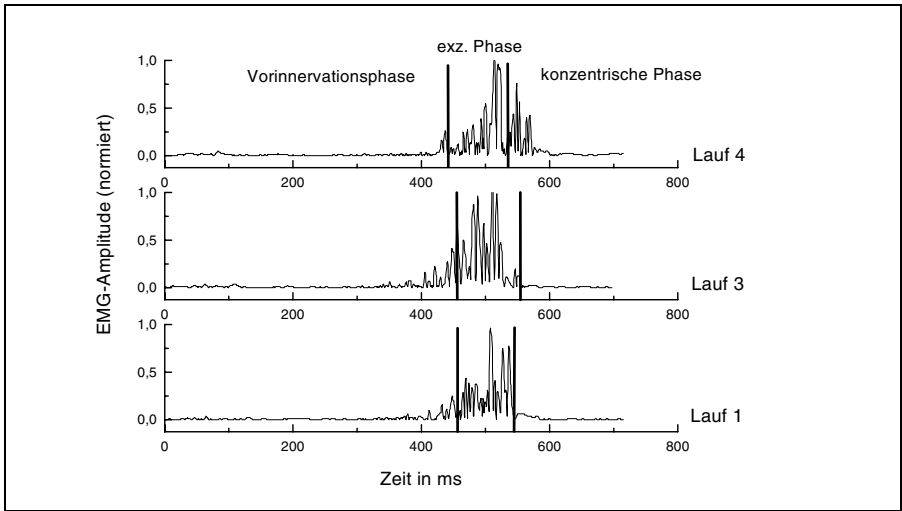


Abb. 4: Vollständig gleichgerichtete Originalableitung des M. vastus medialis eines Triathleten

4 Diskussion

Die Reduktionstendenz der auftretenden Gesamtkraftspitzen und Gesamtpulse sowie die reduzierte EMG-Aktivität der Muskulatur mit einhergehender Linksverschiebung im Innervationsmuster in Lauf 3 spricht für eine optimierte Laufökonomie und muskuläre Effizienz bei vergleichbarer physiologischer Beanspruchung. Die Tendenz des veränderten Innervationsmusters zeigt sich zwar nicht bei allen Muskeln, dennoch scheint sich das Laufen mit hoher Geschwindigkeit vorteilig auf die nachfolgende langsame Laufgeschwindigkeit auswirken zu können.

Der beobachtete Trend zur Linksverschiebung stimmt mit Ergebnissen von STUTZ/SCHMIDTBLEICHER (1994) überein, die bei einer primär anaeroben, erschöpfenden Laufbandarbeit ebenfalls eine Linksverschiebung beobachten konnten. In unserer Untersuchung war eine solch effiziente Veränderung des Aktivierungsmusters jedoch nicht von einer massiven Laktatakkumulation begleitet, so dass hier ein positiver Anpassungseffekt für eine effektive muskuläre Leistung im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus durch das Laufen mit wechselnder Geschwindigkeit vorzuliegen scheint.

Demgegenüber deutet die erhöhte Muskelaktivität mit einhergehender Rechtsverschiebung bei gleicher Leistung in Lauf 4 auf eine reduzierte Effizienz der Muskulatur in bezug auf Dämpfung und Bewegungskontrolle im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus nach dem Radfahren hin, was die signifikant erhöhte Fußbelastung plausibilisiert. Da im Vergleich zu Lauf 3 nur geringfügige Änderungen in der Laktatkonzentration auszumachen sind, scheinen die Radbelastung und die Gesamtbelaugungsdauer diese Veränderung hervorzurufen. GOLLHOFER/KOMI/HYVÄRINEN (1989) beobachteten analoge Verschiebungen im Innervationsmuster der Beinextensoren

und eine verminderte reaktive Leistungsfähigkeit nach einem Marathonlauf. Der Verlust der effizienten Nutzung des Dehnungs-Verkürzungszyklus und der Speicherung von elastischer Energie scheint vor allem durch die Radbelastung hervorgerufen zu werden. Diese rein isometrisch-konzentrische Belastungsform induziert möglicherweise einen Verlust in der optimalen Stiffness-Regulation der Beinextensoren für das Laufen, die sich erst mit zunehmender Laufdauer in Lauf 4 wieder anzugleichen scheint. Diese Untersuchung verdeutlicht, dass bei der Regulation von muskulären Ermüdungserscheinungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus auch die Kontraktionsform der Muskulatur während des Ermüdungstreatments eine Rolle zu spielen scheint. Als trainingswissenschaftliche Konsequenz kann gefolgert werden, dass auch biomechanische Kenngrößen in die Trainingsplanung miteinbezogen werden sollten, um Fehlbelastungen zu vermeiden. Die bei den Triathleten beobachtete erhöhte Beanspruchung des Fußes legt zusätzlich nahe, dass andere Athleten das Radfahren als Cross-Trainingsbelastung nicht unmittelbar vor dem Laufen nutzen sollten, um Überbelastungen zu vermeiden. Außerdem müssen neue, spezifische Trainingsprogramme für Du- und Triathleten entwickelt werden, um kombinierte Rad-Lauf-Belastungen besser tolerierbar zu machen.

Literatur

- BONTRANGER, E.L./BOYD, L.A./HEINO, J.P./MULROY, S.J./PERRY, J.: Determination of Novel Pedar Masks using Harris Mat Imprints. In: *Gait & Posture* 4 (1997), 167-168
- GOLLHOFER, A./KOMI, P.V./HYVÄRINEN, T.: Auswirkungen eines Marathonlaufes auf die Leistungscharakteristik und das Innervationsverhalten der Beinstreckmuskulatur. In: *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 40 (1989), 11, 348-354
- HERZOG, W.: Muscle Function in Movement and Sports. In: *The American Journal of Sports Medicine* 24 (1996), 6, 14-19
- MORAN, G.T./MCGLYNN, G.H.: Cross-training for Sports. Champaign, IL 1998
- PIZZA, F.X./FLYNN, M.G./STARLING, R.D./BROLINSON, P.G./SIGG, J./KUBITZ, E.R./DAVENPORT, R.L.: Run Training vs Cross Training: Influence of Increased Training on Running Economy, Foot Impact Shock and Run Performance. In: *International Journal of Sports Medicine* 16 (1995), 180-184
- STUTZ, R./SCHMIDTBLEICHER, D.: Veränderungen biomechanischer Parameter bei erschöpfender Laufbandarbeit. In: SCHMIDTBLEICHER, D./MÜLLER, A.F. (Hrsg.): *Leistungsdiagnostische und präventive Aspekte der Biomechanik*. (Schriften der Deutschen Vereinigung für Sportwissenschaft, 59). Sankt Augustin 1994, 205-214