

---

# **Diagnostik des neuromuskulären Leistungspotentials des M. quadriceps femoris in Abhängigkeit langjähriger hochspezifischer sportlicher Aktivität**

Boris Ullrich & Gert-Peter Brüggemann (Projektleiter)

Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Biomechanik und Orthopädie

## **Problem**

Gelenkwinkelabhängige Krafftähigkeiten des M. quadriceps femoris (QF) sind in zahlreichen sportlichen Bewegungen wichtige Erfolgsdeterminanten. In der Fachliteratur existieren Hinweise dafür, dass langjährige sportliche Aktivität mit spezifischen Belastungsprofilen des QF zu Verschiebungen innerhalb der Kraft-Längen-Relation einzelner QF-Anteile führt (Savelberg & Meijer, 2003). Als zentrale mechanische Adaptationstrigger werden in diesen Studien (a) wiederholte mechanische Belastungen in einem bestimmten Längenbereich der Muskel-Sehneneinheit und (b) wiederholte exzentrische Belastungen (Muskeldehnungen) im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus genannt. In vivo Studien untersuchten Anpassungseffekte innerhalb der Kraft-Längen-Relation des QF bisher einzig zwischen Ausdauerläufern und Straßenradsportlern (Savelberg & Meijer, 2003). Hingegen mangelt es an Arbeiten, die längenabhängige Krafteigenschaften des QF zwischen verschiedenen Athletenpopulationen mit spezifischen Belastungsprofilen der Kniestreckmuskulatur vergleichen. Derartige Querschnittsuntersuchungen würden den Wissensstand über (mechanische) Trigger für Verschiebungen innerhalb der Kraft-Längen-Relation erweitern.

Neben gelenkwinkelabhängigen Krafftähigkeiten wird die neuromuskuläre Ermüdungswiderstandsfähigkeit der Skelettmuskulatur als ein limitierender Faktor in zahlreichen sportlichen Disziplinen angesehen (Gondin et al., 2006). Es existieren Hinweise dafür, dass hohe maximale und explosive kontraktile Kapazitäten einen negativen Einfluss auf die Ermüdungswiderstandsfähigkeit einer Muskelgruppe ausüben (Gondin et al., 2006). Da die sportliche (Wettkampf-) Leistung in vielen Disziplinen durch Interaktionen maximaler, explosiver und ermüdungsresistenter kontraktiler Kapazitäten bestimmt wird, liefern Studien zur Interaktionsforschung dieser Kapazitäten einen wichtigen Beitrag für die Sportpraxis.

## Methoden

In Studie 1 wurde die Moment-Kniewinkelrelation des QF in 4 unterschiedlichen Athletenpopulationen mit spezifischen Belastungsprofilen des QF analysiert: Ausdauerläufer (n = 9), Straßenradfahrer (n = 10), Triathleten (n = 11) und Tennisspieler (n = 10). Dafür vollzogen alle Athleten in einer speziell entwickelten Apparatur auf ihrer stärkeren Körperseite einbeinige maximal-willkürliche isometrische Knieextensionen (MVC) bei konstantem Hüftwinkel ( $90^\circ$  = aufrecht sitzend) und 6 verschiedenen Kniewinkelpositionen. Neuronale Einflüsse auf die Moment-Kniewinkelrelation des QF wurden mittels bipolarer EMG-Ableitung der oberflächlichen QF-Muskeln am jeweiligen MVC-Plateau abgeschätzt. Die gelenkwinkelabhängigen MVC-Knieextensionsmomente und EMG-Daten jedes Probanden wurden auf den jeweiligen Maximalwert dieses Probanden, welcher in einer beliebigen Kniewinkelposition auftrat, normalisiert [% Max.]. Somit konnte berechnet werden, ob die untersuchten Athletengruppen verschiedene Anteile ihres MVC-Knieextensionsmoments in unterschiedlichen Kniewinkelpositionen (i. e. bei unterschiedlichen Längen der eingelenkigen Mm. vastii femoris) erreichen. Mittels Polynomregression zweiter Ordnung und den normalisierten Momentdaten jedes Probanden wurde der optimale Kniewinkel zur Krafterzeugung in jeder Athletengruppe bestimmt.

In Studie 2 wurden maximale und explosive neuromuskuläre Kapazitäten sowie die neuromuskuläre Ermüdungswiderstandsfähigkeit des QF für 10 nationale Leistungstennisspieler sowie für 10 hochtrainierte Ausdauersportler untersucht. Alle Athleten vollzogen an 2 verschiedenen Untersuchungstagen isometrisch-gehaltene Knieextensionen mit 20 % bzw. 40 % des individuellen isometrischen MVC bis zur Erschöpfung (Task-Failure). Um die ermüdungsbedingte Reduktion und Erholung der maximalen willkürlichen kontraktiven Kapazität des QF bestimmen zu können, führten alle Probanden 20 s, 1 min und 3 min post Task-Failure jeweils eine MVC-Knieextension durch. Zur Bestimmung der unermüdeten maximalen und explosiven Kapazitäten des QF vollzogen alle Probanden vor Start des Ermüdungsprotokolls maximale bzw. maximal-explosive isometrische Knieextensionen. Alle Messungen wurden bei einem Kniewinkel von  $115^\circ$  und einem Hüftwinkel von  $90^\circ$  (aufrecht sitzend) absolviert. Mittels bipolarer EMG-Ableitung wurde die neuronale Erregung des QF für alle MVCs sowie während der isometrischen Ermüdungskontraktionen abgeschätzt.

## Ergebnisse

Studie 1 konnte keine Unterschiede in der normalisierten [% Max.] Moment-Kniewinkelrelation des QF zwischen Ausdauerläufern, Straßenradfahrern, Triathleten und Tennisspielern aufzeigen (Abb. 1).

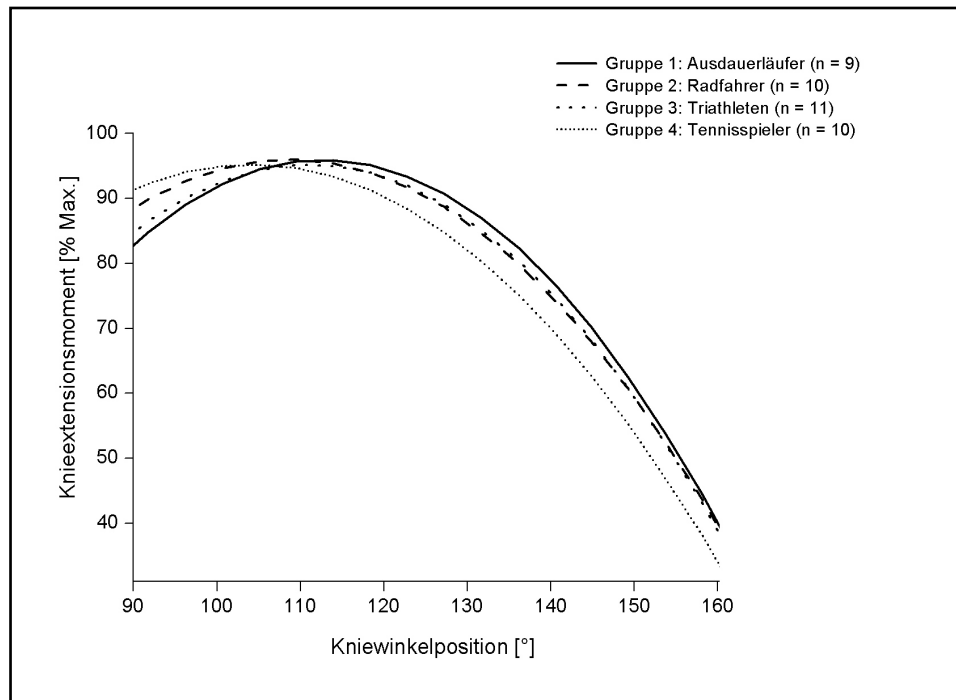


Abb. 1 Mittels Polynomregression zweiter Ordnung berechnete Moment-Kniewinkelrelation des QF in allen untersuchten Athletengruppen.

Die mittels Polynomregression berechneten optimalen Kniewinkel zur Krafterzeugung waren  $111.5 \pm 8.0$  für Ausdauerläufer,  $106.0 \pm 9.3$  für Straßenradfahrer,  $110.3 \pm 8.6$  für Triathleten und  $103.3 \pm 9.4$  für Tennisspieler (Abb. 1). Die absoluten MVC-Momente [Nm] von Ausdauerläufern und Triathleten wiesen keine signifikanten Differenzen auf. Straßenradfahrer erreichten absolute Momente, die typischerweise in einem Bereich zwischen Tennisspielern und Ausdauerläufern/Triathleten lagen. Die EMG-Kniewinkelrelation der drei oberflächlichen QF-Anteile verlief ebenfalls ohne signifikante Unterschiede zwischen den Athletengruppen.

Studie 2 zeigt signifikant ( $P < 0.05$ ) höhere explosive neuromuskuläre Kapazitäten für Tennisspieler gegenüber Ausdauersportlern (Abb. 2A/B).

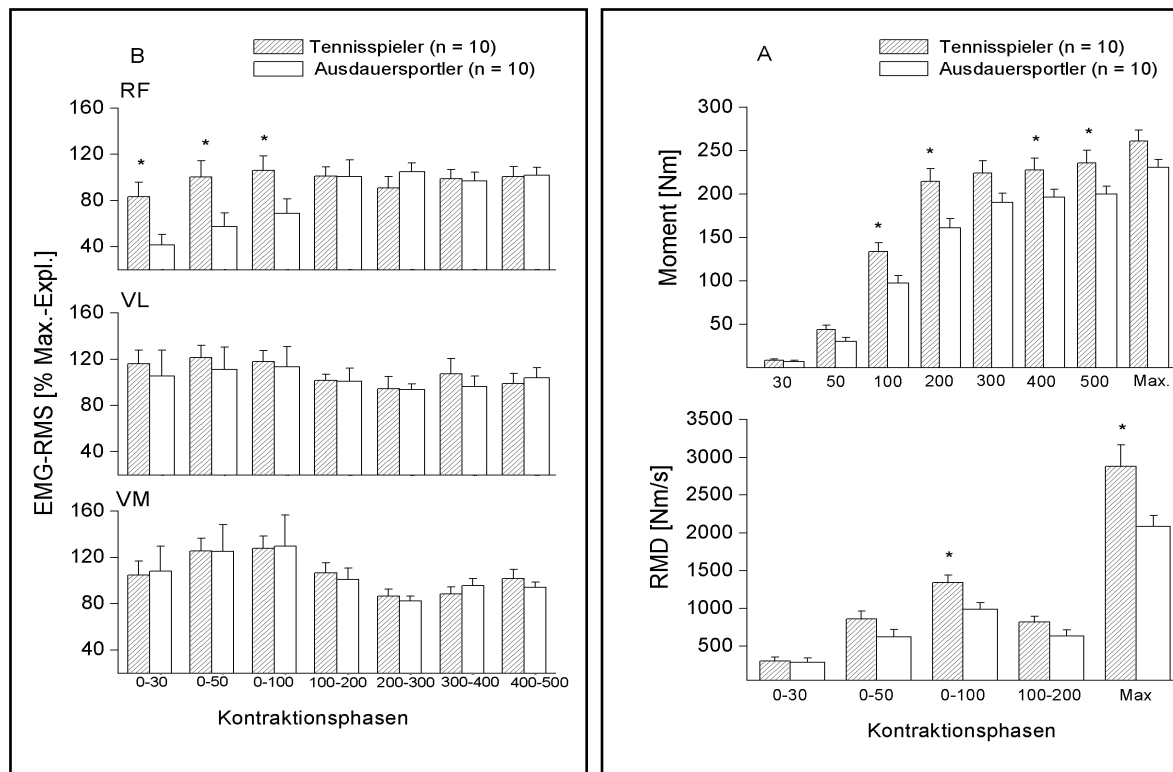


Abb. 2 A/B: Maximale und submaximale Werte für MVC und Momenten-Steigerungsrate (RMD) während explosiver MVC-Knieextensionen in beiden Athletengruppen (A). Werte sind Mittelwerte  $\pm$  SE. \* = signifikante Unterschiede ( $P < 0.05$ ) zwischen Athletengruppen. EMG-RMS Werte [% Max.-Expl.] von M. rectus femoris (RF), M. vastus lateralis (VL) und M. vastus medialis (VM) in submaximalen Zeitintervallen post Kontraktionsbeginn während explosiver MVC-Knieextensionen (B). Werte sind Mittelwerte  $\pm$  SE. \* = signifikante Unterschiede ( $P < 0.05$ ) zwischen Athletengruppen.

Dies wurde durch eine signifikant ( $P < 0.05$ ) höhere maximale Momentensteigerungsrate (RMD-Max.), signifikant ( $P < 0.05$ ) höhere Momente in frühen Phasen post Kontraktionsbeginn sowie durch eine signifikant ( $P < 0.05$ ) höhere neuronale Aktivität des M. rectus femoris in frühen Phasen explosiver MVCs deutlich (Abb. 2 A/B). Die Zeit bis Task-Failure, die Reduktion und Erholung der MVC-Produktion post Task-Failure sowie die EMG-Aktivität des QF während der 20 % MVC-Ermüdungskontraktion verlief ohne signifikanten Unterschied zwischen den Athletengruppen. Für die 40 % MVC-Ermüdungskontraktion wurden ebenfalls keine signifikanten Gruppenunterschiede in der Ermüdungswiderstandszeit sowie in der EMG-Aktivität des QF während Ermüdung gefunden. Jedoch konnten Ausdauersportler ( $85.5 \% \pm 8.5$ ) gegenüber Tennisspielern ( $76.5\% \pm 12.4$ ) 20 s post Task-Failure einen signifikant ( $P < 0.05$ ) höheren Anteil ihrer normalisierten [% Max. pre Ermüdung] maximalen willkürlichen kontraktile Kapazität erreichen. Die EMG-Aktivität des M. rectus femoris war im Verlauf der Ermüdungskontraktionen in beiden Athletengruppen gegenüber den Mm. vastii femoris signifikant ( $P < 0.05$ ) reduziert. Die unabhängig in beiden Athletengruppen durchgeführten Korrelationsanalysen

verdeutlichten, dass die maximale willkürliche isometrische Kapazität sowie Parameter zur explosiven neuromuskulären Kapazität ohne signifikanten Einfluss auf die Variabilität der Ermüdungswiderstandszeiten waren.

## Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse liefern Hinweise dafür, dass jahrelange sportliche Aktivität mit spezifischen Belastungsprofilen des QF nicht ausreicht, um funktionelle Verschiebungen in der Moment-Kniewinkelrelation des QF zu erreichen (Ullrich & Brüggemann, 2007). Somit weisen erstmals wissenschaftliche Daten aus homogenen Athletengruppen darauf hin, dass zusätzliche winkelspezifische (längenspezifische) Krafttrainingsinterventionen erforderlich scheinen, um die Moment-Winkelrelation dieser Muskelgruppe systematisch zu manipulieren. Die Ermüdungsprotokolle unserer Querschnittsuntersuchungen zeigen, dass Tennisspieler und Ausdauersportler eine vergleichbare neuromuskuläre Ermüdungswiderstandsfähigkeit des QF aufweisen. Die Variabilität in der Ermüdungswiderstandsfähigkeit korrelierte in beiden Athletengruppen nicht signifikant mit explosiven und maximalen kontraktiven Kapazitäten (Ullrich & Brüggemann, 2008). Somit konnten diese Athleten eine hohe neuromuskuläre Ermüdungswiderstandsfähigkeit des QF bei gleichzeitig hohen maximalen und explosiven neuromuskulären Kapazitäten besitzen. Mit Bezug zu aktuellen Veröffentlichungen (Mikkola et al., 2007) können diese Ergebnisse die Anwendung von (explosiven) Krafttrainingsmaßnahmen in ausdauerorientierten Sportarten (u. a. Mittelstreckendisziplinen, Triathlon, Skilanglauf, Biathlon) unterstützen.

## Literatur

- Gondin, J., Guette, M., Jubeau, M., Ballay, Y. & Martin, A. (2006). Central and peripheral contributions to fatigue after electrostimulation training. *Medicine and science in sports and exercise*, 38, 1147-1156.
- Mikkola, J., Rusko, H., Pollari, T. & Häkkinen, K. (2007). Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *International journal of sports medicine*, article in press, doi 10.1055/s-2007-964849.
- Savelberg, H.H.C.M. & Meijer, K. (2003). Contribution of mono- and biarticular muscles to extending knee joint moments in runners and cyclists. *Journal of applied physiology*, 94, 2241-2248.
- Ullrich, B. & Brüggemann, G.P. (2007). Moment-knee angle relation in well trained athletes. *International journal of sports medicine*, article in press, doi 10.1055/s-2007-989322.
- Ullrich, B. & Brüggemann, G.P. (2008). Force generating capacities and fatigability of the quadriceps femoris in relation to different exercise modes. *Journal of strength and conditioning research*, article accepted for publication and in process for publication.

