
Der Einfluss der muskulären Ermüdung auf die Kniegelenkstabilität bei Fußball spezifischen Bewegungsabläufen

Mark Melnyk & Albert Gollhofer (Projektleiter)

Universität Freiburg

Institut für Sport und Sportwissenschaften

1 Problemstellung

Jährlich wird in der Bundesrepublik Deutschland bei 80.000 Bürgern das vordere Kreuzband (VKB) nach einer Ruptur operativ wiederhergestellt. Am häufigsten kommt eine derartige Verletzung im Sport vor. Hierbei ist die Inzidenz für VKB-Rupturen im Ski-Alpinlauf als Wintersport und im Fußball als ganzjährige Sportart am höchsten. Während der Verletzungsmechanismus der VKB-Ruptur weitgehend bekannt ist, ist der ursächliche Zusammenhang des Eintretens eines solchen Traumas unbekannt. Eine umfangreiche dreijährige Studie untersuchte die Art und Häufigkeit von Verletzungen im englischen Profifußball und wies nach, dass die VKB-Ruptur die am häufigsten auftretende Gelenkverletzung war (Hawkins et al., 2001). Erstaunlicherweise fanden die Autoren, dass in der Mehrzahl der Fälle eine VKB – Ruptur ohne gegnerische Einwirkung auftrat. Dieses Phänomen ist von besonderem Interesse und lässt vermuten, dass nicht ein externer mechanischer Impact, sondern möglicherweise eine defizitäre Ansteuerung der Kniestabilisierenden Muskulatur zu einer Überlastung des ligamentären Knieapparates und letztendlich zu einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes führen kann. Eine Ursache dafür könnte in der muskulären Ermüdung liegen.

Untersuchungen zum Einfluss muskulärer Ermüdung auf das VKB-Verletzungsrisiko bei sportlichen Bewegungsabläufen sind in der Literatur kaum vorhanden. Insgesamt finden sich wenige Studien, die sich mit dem Schwerpunkt muskuläre Ermüdung und Kniestabilität beschäftigten. Wikstrom, Powers und Tillman (2004) ließen Probanden aus einem bipedalen Stand in einen monopedalen Stand springen und untersuchten die Kniegelenkinematik, die auftretenden Bodenreaktionskräfte und die Dauer der Standstabilisation. Nach einem muskulären Ermüdungstraining zeigten sich signifikant höhere Bodenreaktionskräfte während die Gelenkinematik und die Dauer der Standstabilisation nicht signifikant verändert waren. Skinner et al. (1986) untersuchten den Effekt muskulärer Ermüdung auf die Kniesensorik im Hinblick auf die Reproduktionsgenauigkeit des Kniegelenkwinkels. Sie fanden eine signifikante Verschlechterung der Winkelreproduktionsgenauigkeit nach Ermüdung und schlossen aus ihren Ergebnissen, dass die Mus-

kelrezeptoren für die Kniestabilität wichtiger sind als die Rezeptoren in der Gelenkkapsel. Kellis (1999) sowie Nyland et al. (1994) zeigten eine signifikante Veränderung des Agonist-Antagonist-Verhältnisses nach Muskelermüdung. So resultierte eine Ermüdung des Agonisten in einer Abnahme des Gelenkmoments, welches zu einer Verschlechterung der Kniestabilität und damit möglicherweise zu einem erhöhtem Verletzungsrisiko führen kann. Daher ist das Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens, den Effekt der muskulären Ermüdung auf die Kniegelenksstabilität bei fußballspezifischen Bewegungen mittels eines 30minütigen Fußball-spezifischen Ermüdungsprotokolls zu untersuchen.

2 Methode

In diesem Forschungsvorhaben wurden insgesamt zwölf gesunde Probanden in Vereinen aus der 3. und 4. Fußballliga untersucht. Es wurde darauf geachtet, dass keiner in den 72 Stunden vor der Messung ein intensives Training absolviert hatte, um den Einfluss einer etwaigen Ermüdung vor der Testmessung auszuschließen.

Die Probanden absolvierten zwei fußballspezifische Bewegungsabläufe vor und nach dem Ermüdungsprogramm. Um witterungsbedingte Einflüsse auf die Messergebnisse auszuschließen, wurde die Untersuchung in einer Halle auf einem künstlichen Rasen durchgeführt. Bei der ersten Bewegung wurde der Proband aufgefordert, aus dem Stand mit fünf kurzen Schritten zu beschleunigen, um dann mit einem Stemmschritt den Richtungswechsel von 90° auf der im Boden eingelassenen Kraftmessplatte zu vollziehen und fünf Schritte in die neue Richtung zu sprinten. Bei der zweiten Bewegung beschleunigte der Proband mit ebenfalls fünf Schritten, leitete dann die Umkehrbewegung auf der Kraftmessplatte ein (180° Wende, linkes Bein) und sprintete mit fünf Schritten in die entgegen gesetzte Richtung zurück.

Für die Aufnahme der Bewegung im Raum wurde das im Labor installierte Messsystem VICON benutzt. Um den direkten Einfluss der Ermüdung auf die muskuläre Ansteuerung zu untersuchen, wurden folgende Muskeln des linken Beines oberflächlich über eine bipolare Elektrodenanordnung, die auf dem jeweiligen Muskelbauch in longitudinaler Richtung vorgenommen wurde, abgeleitet: M. biceps femoris, M. vastus medialis, M. tibialis anterior, M. peroneus, M. gastrocnemius. Um bewegungsinduzierte Messartefakte zu vermeiden, wurde über die Elektroden und Elektrodenkabel ein Netzstrumpf gezogen. Die Bodenreaktionskräfte wurden mittels einer Kraftmessplatte, die unter dem Kunstrasen in den Hallenboden eingelassen war, in dreidimensionaler Auflösung (Fx, Fy, Fz) bestimmt.

Generell wurden aus fünf Bewegungsmessungen die besten drei ausgewertet. Dabei war das Kriterium einer möglichst großen intraindividuellen Reliabilität dreier Messungen maßgebend. Mittels der kinematischen Datensätze wurden Sprunggelenk- und Kniegelenkwinkel bestimmt. Diese dienten gleichzeitig für die Berechnung der auf das Knie- und das Sprunggelenk wirkenden Momente (M_x , M_y , M_z). Die EMG-Signale werden zur Auswertung gleichgerichtet und gemittelt. Im gleichgerichteten EMG wird dann das Integral der Muskelantwort berechnet.

Die fußballspezifische Ermüdung wurde mittels eines 30minütigen, hochintensiven Belastungsprotokolls hervorgerufen. Um die Belastung des Ermüdungsprotokolls zu quantifizieren, wurden bei jedem Probanden über die gesamte Dauer des Ermüdungsprogramms die Herzfrequenz gemessen und das Laktat als metabolische Kenngröße vor und nach der Ermüdung bestimmt.

3 Ergebnisse

Bewegung: Richtungswechsel

Der Vergleich vor und nach Ermüdung zeigte bei den Bodenreaktionskräften höhere Belastungsspitzen der Fz- (20 %) und Fy-Komponente (25 %) während des initialen Bodenkontakts. Darüber hinaus traten diese Belastungsspitzen nach der Ermüdung mit einem zeitlichen Verzug von 7-8 % der gesamten Dauer der Kontaktphase auf. Während keine Unterschiede für die am Sprunggelenk angreifenden Momente vor und nach Ermüdung nachgewiesen werden konnten, wurden größere Flexionsmomente am Kniegelenk in der Phase der vollen Gewichtsübernahme des Vorfußes gemessen. Auch die auftretenden Momente in der Transversalebene des Knies waren nach der fußballspezifischen Ermüdung erhöht. Hinsichtlich der Muskelaktivität zeigten sich Ansteuerungsdefizite im M. biceps femoris, die vor allem in der mittleren und terminalen Standphase nach Ermüdung auftraten. Ähnliches galt für den M. gastrocnemius, der ebenfalls in der terminalen Standphase eine deutlich verringerte Muskelaktivierung aufwies. Für den Vastus medialis konnte nur eine geringfügige Reduktion der Muskelaktivität im Übergang von der initialen zur mittleren Standphase gemessen werden. Der M. tibialis anterior und der M. peroneus zeigten keine Veränderung nach muskulärer Ermüdung.

Bewegung: Umkehrbewegung

Eine Veränderung im Vergleich zu den auftretenden Bodenreaktionskräften vor der Ermüdung konnte weder in der sagittalen, in der vertikalen noch in der transversalen Ebene gefunden werden. Ebenfalls weisen die am Sprunggelenk und Kniegelenk angreifenden Momente in allen drei Ebenen keine Veränderungen nach der 30minütigen Belastung im

Vergleich zur Eingangsmessung auf. Analog zu diesen Befunden und damit im Gegensatz zu den Resultaten der Bewegungsaufgabe „Richtungswechsel“ zeigten auch die Ergebnisse der elektromyographischen Analyse weder für den M. biceps femoris, M. gastrocnemius, M. vastus medialis, M. tibialis anterior noch für den M. peroneus einen Unterschied zwischen beiden Bedingungen (nicht ermüdet versus ermüdet).

4 Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen auf den potenziellen Verletzungscharakter der muskulären Ermüdung für das Kniegelenk hin. Allerdings zeigt diese Untersuchung auch deutlich, dass das Verletzungsrisiko wahrscheinlich von der Art der Bewegung abhängig ist. So konnten bei den Umkehrbewegungen keine negativen Auswirkungen einer muskulären Ermüdung in Bezug auf die Gelenksbelastung gefunden werden. Auch die muskuläre Aktivität war nicht entscheidend von der Fußballbelastung beeinflusst. Dagegen scheint der im Fußball häufig vorkommende Richtungswechsel eine erhöhte Verletzungsgefahr für die kapsulär-ligamentären Strukturen des Kniegelenks darzustellen. Damit stehen unsere Ergebnisse im Einklang mit den bisherigen Ergebnissen in der Literatur. Auch Nyland et al. (1994) fanden eine ermüdungsinduzierte Veränderung der Gelenkmomente, die mit einer verspäteten Muskelaktivierung der Knieextensoren und -flexoren einhergingen. In einer weiteren Studie zeigte die gleiche Arbeitsgruppe (Nyland et al., 1997) bei sogenannten Crossover-Cutting-Bewegungen, die der in der vorliegenden Studie durchgeführten Bewegung „Richtungswechsel“ ähnlich sind, ebenfalls einen negativen Einfluss auf die Kniestabilität. Einen direkten Zusammenhang zwischen ermüdeten Hamstringmuskulatur und erhöhten Kniegelenksmomenten in der Transversalebene (Nyland et al., 1999), der als ein wesentlicher Faktor für das Auftreten von Knieverletzungen insbesondere des vorderen Kreuzbandes gilt, lässt die vorliegende Studie genauso vermuten und belegt die Bedeutung der dorsalen Oberschenkelmuskulatur für die Kniegelenksstabilität.

5 Literatur

- Hawkins, R. D., Hulse, M. A., Wilkinson, C., Hodson, A. & Gibson, M. (2001). The association football medical research programme: an audit of injuries in professional football. *British Journal of Sports Medicine*, 35 (1), 43-47.
- Kellis, E. (1999). The effects of fatigue on the resultant joint moment, agonist and antagonist electromyography activity at different angles during dynamic knee extension efforts. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9 (3), 191-199.
- Nyland, J. A., Caborn, D. N., Shapiro, R., Johnson, D. L. (1999). Crossover Cutting During Hamstring Fatigue Produces Transverse Plane Knee Control Deficits. *Journal of Athletic Training*, 34 (2), 137-143.

- Nyland, J. A., Caborn, D. N., Shapiro, R. & Johnson, D. L. (1997). Fatigue after eccentric quadriceps femoris work produces earlier gastrocnemius and delayed quadriceps femoris activation during crossover cutting among normal athletic women. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 5 (3), 162-167.
- Nyland, J. A., Shapiro, R., Stine, R. L., Horn, T. S. & Ireland, M. L. (1994). Relationship of fatigued run and rapid stop to ground reaction forces, lower extremities kinematics, and muscle activation. *Journal of Orthopaedic Sports and Physical Therapy*, 20 (3), 132-137.
- Skinner, H. B., Wyatt, M. P., Hodgdon, J. A., Conard, D. W. & Barrack, R. L. (1986) Effect of fatigue on joint position sense of the knee. *Journal of Orthopaedic Research*, 4, 112-118.
- Wikstrom, E. A., Powers, M. & Tillman, M. D. (2004). Dynamic stabilization time after isokinetic and functional fatigue. *Journal of Athletic Training*, 39 (3), 247-253.

