

Verletzungen des vorderen Kreuzbandes - Risikobewertung am Beispiel zweier U17-Mannschaften

Einleitung

Rupturen des vorderen Kreuzbandes (VKB bzw. ACL, anterior cruciate ligament) sind ernste Knieverletzungen mit langen Rehabilitationsphasen. Oftmals sind VKB-Verletzungen mit schwerwiegenden Folgen für den Sportler von begleitenden Meniskus- und Knorpelverletzungen über degenerativ arthrotische Veränderungen bis hin zur Sportinvalidität verbunden (Daniel et al., 1994). Besonders häufig treten VKB-Rupturen in Sportarten mit Sprüngen, Stoppbewegungen und plötzlichen Drehungen auf, insbesondere im Fußball, Handball und Basketball. Hierbei finden 70% der Verletzungen ohne direkte Gegnereinwirkung statt (Petersen & Zantop, 2009). Studien zeigen zudem eine erheblich höhere Inzidenz von Kreuzbandrupturen bei Kindern und Jugendlichen (Shea u.a., 2003) sowie vor allem bei weiblichen Sportlern mit einer 2,4- bis 9,5-mal höheren Verletzungsrate gegenüber männlichen Sportlern. Es werden verschiedene Risikofaktoren diskutiert (Übersicht in Petersen et al., 2005a; Griffin et al., 2005). Als anatomische Faktoren werden bei Frauen die Gelenkwinkelstellungen der unteren Extremität und die vermehrte Neigung zum Genu valgum („X-Bein“) ebenso angeführt wie eine erhöhte Bandlaxizität oder ein reduzierter intercondylärer Zwischenraum. Hormonelle Faktoren wie insbesondere die Östrogenkonzentration werden kontrovers diskutiert. Aus biomechanischer Sicht werden die Kraft der knieführenden Muskulatur sowie die funktionelle Stabilität, Propriozeption und neuromuskuläre Kontrolle angeführt. So zeigen sich Frauen häufig quadrizepsdominant. In der Dynamik bei Landungen nach einem Sprung oder schnellen Richtungswechseln können die Stellung des Kniegelenkes in leichter Beugung, in Verbindung mit Valgus- und Außenrotationsstellung und einem Körperschwerpunkt hinter dem Kniegelenk (Petersen et al., 2005a) ebenso wie hohe exzentrische Kontraktionen des M.quadrizeps das Kreuzband maximal belasten (Eloranta & Komi, 1980). Hohe neuromuskuläre Beanspruchungen werden ebenfalls als Risikofaktor für Kreuzbandrupturen diskutiert. Verletzungen treten gehäuft in späteren Spielphasen auf (Kernozek et al., 2008). Hohe neuromuskuläre Beanspruchungen können zu einer veränderten intermuskulären Koordination führen (Gehring u.a., 2009), woraus veränderte resultierende Gelenkmomente entstehen können (Schmalfeld & Olivier, 2007). Als weitere Risikofaktoren müssen noch die äußeren Rahmenbedingungen wie die Schuhe, Material oder der Untergrund berücksichtigt werden. Es existieren allgemeine und spezifische Präventionsprogramme (Handball, Fußball) zur Reduktion des Risikos von Knieverletzungen (Petersen et al., 2005b). Die Effektivität gilt jedoch trotz oftmals positiver Resultate als

noch nicht gesichert (vgl. Bahr & Krosshaug, 2005). Ein Screening-Test zur individuellen Risikoabschätzung existiert zurzeit nicht, könnte jedoch eine wesentliche Beratungsfunktion erfüllen und zur Entwicklung individueller präventiver Trainingsprogramme beitragen. Das Risiko von VKB-Rupturen wird insbesondere mit einem dynamischen Knievalgus bei Landungen nach Sprüngen in Verbindung gebracht (Mandelbaum et al., 2005; Myer u.a., 2008), der sich mit geringem Aufwand abschätzen lassen sollte. So war es Ziel der Studie, ein Screeningverfahren zu entwickeln, das eine Risikobewertung für ACL-Verletzungen unter Einbeziehung von Beanspruchungseffekten ermöglicht.

Methode

An der Studie nahmen 2 lokale U17-Fußballmannschaften beiderlei Geschlechts (♂: N=15, 15,7 ±0,7 J., 71,7 ± 7,2 kg, 180,5 ±8,4cm; ♀: N=15, 15,4 ±1,1 J., 66,0 ±8,7 kg, 170,1 ± 6,0 cm) teil. Die Vpn waren zuvor über die möglichen Risiken der Untersuchung aufgeklärt worden, eine Einverständniserklärung der Eltern lag vor. Ausschlusskriterien waren Spiel oder Training am Vortag, eine aktuelle Verletzung oder eine frühere Kreuzbandverletzung. Nach 5-minütigem Aufwärmen auf einem Fahrradergometer absolvierten die Vpn zunächst einen Maximalkrafttest auf einem Isokineten (Cybex norm), bestehend aus je 3 isometrischen MVCs der Kniebeuger (in 45° Kniewinkel) und Kniestrecker (in 90° Kniewinkel) in randomisierter Reihenfolge. Anschließend führten die Vpn je 3 beidbeinige Drop Jumps in Anlehnung an Huston et al. (2001) aus einer Höhe von 40 cm und 60 cm im frischen und nach einer Ausbelastungsübung im beanspruchten Zustand durch. Die Ausbelastung bestand aus tiefen, möglichst kontrollierten Schrittwechselsprüngen auf einem Stepper, bis deutliche Beanspruchungserscheinungen wie Koordinationsprobleme zu beobachten waren. Abgeschlossen wurde das Testverfahren mit einem erneuten Maximalkrafttest. Die Drop Jumps wurden mit einer Videokamera in Frontalperspektive aufgezeichnet und mit einer einfachen 2D-Videoanalyse (Simi TwinnerPro) kalibriert und ausgewertet. Erfasst wurden der horizontale Abstand der Füße auf Sprunggelenkhöhe und der Knie in Höhe der Kniescheibe im Moment des ersten Bodenkontaktes bei Landung sowie im Moment der tiefsten Beugestellung (nur Knie). Ist der Knieabstand geringer (größer) als der Fußabstand, dann wird hier von einer valgischen (varischen) Beinstellung ausgegangen. Eine Reduzierung (Vergrößerung) des Knieabstandes zwischen Landung und tiefster Beugeposition wird als Valgisierung (Varisierung) bezeichnet. Die statistische Analyse wurde mittels SPSS (V. 17) erstellt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der isometrischen Maximalkrafttests (Tab. 1) zeigen (Ausnahme Frauen nur rechtes Bein) eine signifikante Reduzierung der Kraft des Quadriceps (MW: Frauen -4,4%, Männer -7,0%). Die Kraft der Hamstrings zeigt keine signifi-

kanten Veränderungen. Die Männer zeigen unter allen Bedingungen signifikant größere Kraftwerte (MW: Quadriceps 51%, Hamstrings 43%).

Tab. 1. Isometrische Maximalkraft [Nm] von Quadriceps (Quadr.) und Hamstrings (Hamstr.) im frischen und beanspruchten Zustand sowie t-test (p) zum Gruppen- bzw. Beanspruchungsvergleich.

| | | Quadriceps | | Hamstrings | | t-test (p) | |
|------------|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------|
| | | frisch | beansprucht | frisch | beansprucht | Quadr. | Hamstr. |
| Frauen | links | 151,1 ±29,5 | 140,9 ±20,1 | 110,0 ±14,4 | 113,7 ±11,3 | 0,028 | 0,070 |
| | rechts | 152,1 ±27,7 | 149,1 ±25,5 | 109,5 ±25,7 | 115,8 ±18,8 | 0,252 | 0,058 |
| Männer | links | 230,6 ±51,0 | 219,9 ±49,3 | 155,5 ±32,1 | 163,2 ±27,2 | 0,034 | 0,061 |
| | rechts | 232,1 ±58,7 | 210,5 ±37,3 | 162,8 ±31,6 | 162,2 ±27,8 | 0,015 | 0,439 |
| t-test (p) | links | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | |
| Geschlecht | rechts | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | |

Die Ergebnisse der Drop Jumps (Tab. 2, Abb. 1) zeigen für Männer wie Frauen unter allen Versuchsbedingungen gleiche horizontale Fußabstände im Moment des ersten Bodenkontaktes bei der Landung (in der Folge: bei Landung). Der horizontale Knieabstand bei Landung ist bei Frauen unter allen Bedingungen zumindest signifikant geringer als der Fußabstand, das Maß der Valgisierung beträgt im Mittel 4,7 cm, bei Männern ist die leichte Valgusstellung (\varnothing 0,9 cm) nicht signifikant. Bis zum Moment der tiefsten Beugstellung (in der Folge: in tiefster Position) verstärkt sich die Valgisierung bei Frauen (\varnothing 7,9 cm) sehr signifikant, bei Männern ist die leichte Zunahme der Valgusstellung (\varnothing 2,4 cm) nicht signifikant.

Tab. 2. Horizontale Abstände [cm] der Füße und Knie sowie die zugehörige Valgisierung bei Landung (Ld) und in tiefster Beugstellung (tief, nur Knie) bei Drop Jumps aus 40 und 60 cm Höhe im frischen (f) und beanspruchten (b) Zustand sowie t-test (p) zum Gruppen- bzw. Phasenvergleich.

| | | Abstand horizontal [cm] | | | Valgisierung [cm] | | t-test (p) | |
|--------------------------|-----|-------------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| | | Fuß | Knie Ld | Knie tief | Valg. Ld | Valg. tief | Fuß | Knie Ld |
| | | | | | | | Knie Ld | Knie tief |
| Frauen | 40f | 28,9 ±4,9 | 25,3 ±3,0 | 21,0 ±4,1 | -4,3 ±3,7 | -8,0 ±5,2 | 0,020 | 0,003 |
| | 40b | 28,4 ±3,6 | 25,5 ±3,0 | 20,0 ±4,1 | -5,5 ±4,4 | -8,4 ±5,2 | 0,034 | 0,001 |
| | 60f | 29,0 ±3,4 | 25,6 ±2,3 | 21,4 ±3,0 | -4,2 ±3,5 | -7,6 ±4,7 | 0,004 | 0,000 |
| | 60b | 28,0 ±3,6 | 25,0 ±3,3 | 20,4 ±5,7 | -4,6 ±4,6 | -7,7 ±5,2 | 0,012 | 0,000 |
| Männer | 40f | 28,8 ±3,1 | 27,2 ±2,7 | 26,3 ±4,8 | -0,8 ±4,1 | -2,5 ±5,2 | 0,134 | 0,558 |
| | 40b | 27,5 ±4,5 | 27,1 ±3,3 | 25,3 ±6,2 | -1,8 ±4,5 | -2,2 ±5,0 | 0,792 | 0,323 |
| | 60f | 29,2 ±3,5 | 27,2 ±2,4 | 27,0 ±3,1 | -0,2 ±3,8 | -2,2 ±4,7 | 0,129 | 0,907 |
| | 60b | 28,9 ±4,1 | 27,0 ±3,3 | 26,1 ±5,3 | -0,9 ±3,8 | -2,8 ±4,2 | 0,178 | 0,587 |
| t-test (p) Geschlecht | 40f | 0,921 | 0,030 | 0,003 | 0,009 | 0,006 | | |
| | 40b | 0,304 | 0,201 | 0,007 | 0,004 | 0,000 | | |
| | 60f | 0,898 | 0,237 | 0,006 | 0,017 | 0,010 | | |
| | 60b | 0,751 | 0,146 | 0,005 | 0,020 | 0,016 | | |

Der Knieabstand bei Landung ist bei Frauen nur bei Drop Jumps aus 40 cm im frischen Zustand signifikant geringer als bei Männern. In tiefster Beugeposition hingegen zeigen Frauen unter allen Bedingungen sehr signifikant größere Valgisierungen als Männer. Auch das Maß der Valgisierung bei Landung und in tiefster Position ist bei Frauen zumindest signifikant größer als bei Männern (Tab. 2, Abb. 2).

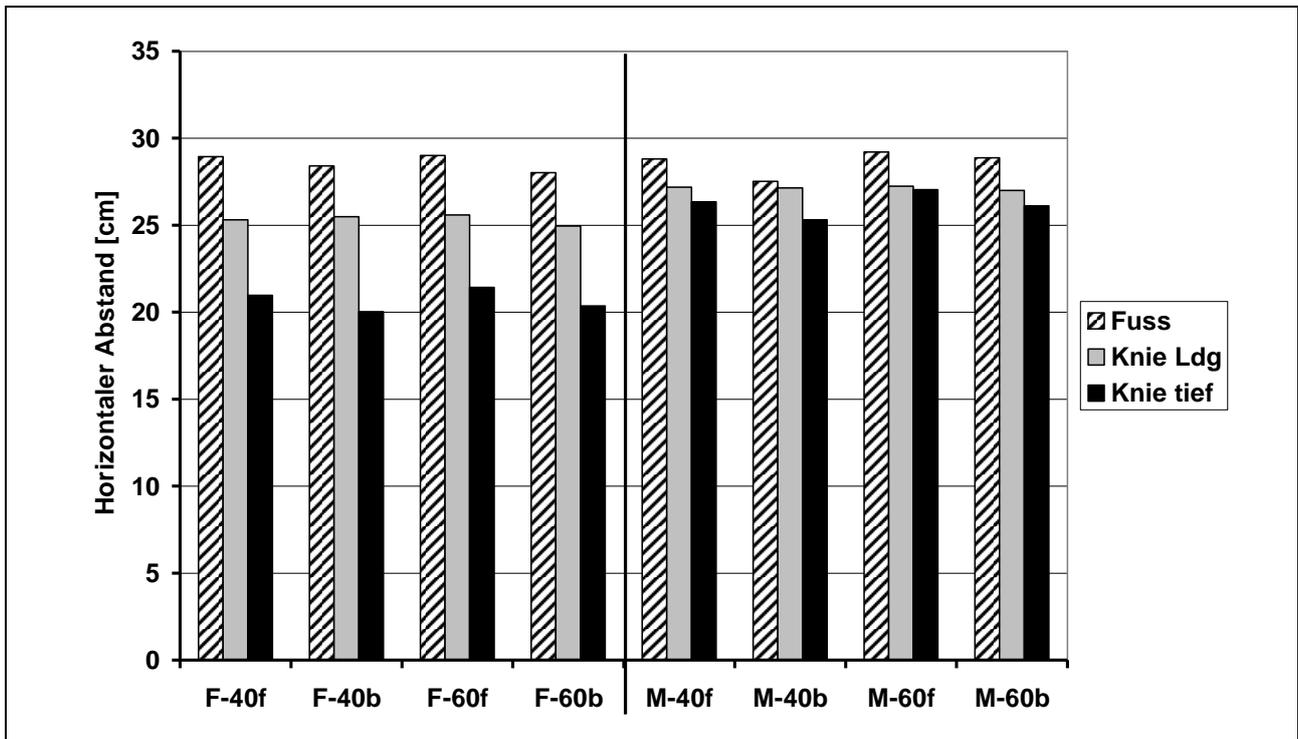


Abb. 1. Horizontale Abstände der Füße und Knie von Frauen (F) und Männern (M) bei Landung (Ldg) und in tiefster Beugestellung (tief, nur Knie) bei Drop Jumps aus 40 und 60 cm Höhe im frischen (f) und beanspruchten (b) Zustand (vgl. Tab. 2).

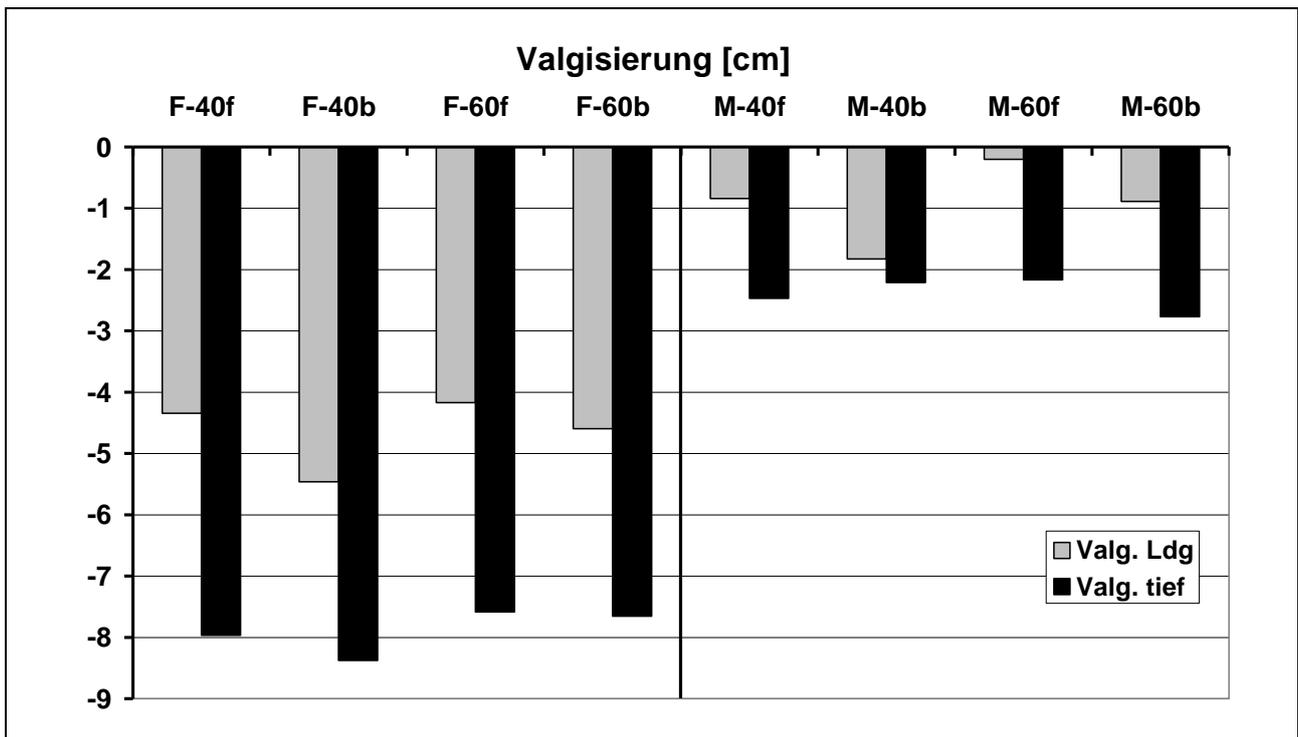


Abb. 2. Valgisierung von Frauen (F) und Männern (M) bei Landung (Ldg) und tiefster Beugestellung (tief, nur Knie) bei Drop Jumps aus 40 und 60 cm Höhe im frischen (f) und beanspruchten (b) Zustand (vgl. Tab. 2).

Bei Betrachtung der Einzelwerte zeigen 95% der Frauen und 65 % der Männer eine Zunahme der Valgusstellung im Zuge der Landung, also eine dynamische Valgisierung. Die restlichen Frauen und Männer zeigen eine Varisierung. Wird als Bewer-

tungsmaßstab für ein erhöhtes Risiko für ACL-Verletzungen eine dynamische Valgisierung von mindestens 5 cm festgelegt, dann zeigen unter allen Bedingungen 75% der Frauen und 32% der Männer ein erhöhtes Risiko, entsprechend einem um 2,5 erhöhten Faktor für Frauen (Tab. 3).

Tab. 3. Risikoabschätzung in Fallzahlen und Prozent sowie Risikofaktor von Frauen im Vergleich zu Männern; Annahme eines erhöhten Risikos für ACL-Verletzungen bei einer dynamischen Valgisierung von mehr als 5 cm während der Landung beim Drop Jump aus 40 und 60 cm Höhe im frischen (f) und beanspruchten (b) Zustand.

| | | Varisierung [Anz] Gesamt | dynamische Valgisierung [Anzahl] Gesamt | | Prozent Risiko |
|--------------------------------------|-----|-----------------------------|--|-----------------|-------------------|
| | | | | Risiko (> 5 cm) | |
| Frauen | 40f | 1 | 14 | 11 | 73 |
| | 40b | 0 | 14 | 10 | 77 |
| | 60f | 1 | 13 | 10 | 71 |
| | 60b | 1 | 13 | 11 | 79 |
| Männer | 40f | 7 | 8 | 6 | 40 |
| | 40b | 5 | 10 | 5 | 33 |
| | 60f | 4 | 11 | 3 | 20 |
| | 60b | 5 | 10 | 5 | 33 |
| Risikofaktor %Frauen / %Männer | 40f | 2,5 | | | 1,8 |
| | 40b | | | | 2,3 |
| | 60f | | | | 3,6 |
| | 60b | | | | 2,4 |

Die Gegenüberstellung der nach Valgisierung sortierten Einzelwerte von Frauen und Männern zeigt ein einheitliches Bild (Abb. 3), das unabhängig von Niedersprunghöhe oder Beanspruchung ist und daher hier gemittelt betrachtet werden soll. Demnach zeigen Frauen wie Männer eine große Bandbreite hinsichtlich der dynamischen Valgisierung bzw. auch Varisierung (= positive Valgisierung). Die hohen Bestimmtheitsmaße der linearen Regressionsgeraden zeigen zudem eine sehr gleichmäßige Verteilung der individuellen Ausprägung der Valgisierung innerhalb der Bandbreite (vgl. Abb. 3). Frauen zeigen demnach bei gleicher Bandbreite der Verteilung eine im Mittel um 5,4 cm stärkere Valgisierung als Männer.

Diskussion

Die Ergebnisse der isometrischen Maximalkrafttests zeigen eine zwar signifikante, aber mit 4,4% bzw. 7,0% insgesamt geringe Beanspruchung des Quadriceps durch die einfache Ausbelastungsübung. Eine Ursache dafür kann sein, dass der isometrische Maximalkrafttest auf einem Isokineten durchgeführt wurde und zwischen Ausbelastung und Krafttests mindestens 15 Min. vergangen sind. Die unveränderten Kraftwerte der Hamstrings zeigen, dass die Schrittwechsprünge auf dem Stepper nicht geeignet waren, die Hamstrings zu beanspruchen, so dass die mögliche Zügelwirkung der Hamstrings zur Sicherung des vorderen Kreuzbandes bei Sprüngen in dieser Untersuchung nicht aus Kraftgründen reduziert sein sollte. Insgesamt zeigen sich in dieser Studie keine Zusammenhänge zwischen der Valgisierung während der Landung und der Niedersprunghöhe oder der Beanspruchung.

Unabhängig von der möglichen Problematik im durchgeführten Ausbelastungstest zeigt sich auch kein Unterschied zwischen den Ergebnissen unterschiedlicher Sprunghöhen im frischen Zustand, der größere Niedersprunghöhen als 40 cm zur Risikobewertung für ACL-Verletzungen entbehrlich erscheinen lässt.

Anhand der Beinstellung bei Landung belegen die Ergebnisse die anatomisch bedingte stärkere Valgus-Neigung von Frauen (Petersen & Zantop, 2009). Sehr deutlich wird auch die erheblich stärkere Valgisierung von Frauen bei der Landung nach Sprüngen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine größere initiale Valgusstellung bei der Landung aufgrund der Hebelverhältnisse und Kraftwirkungen auch eine stärkere dynamische Valgisierung während des weiteren Landevorganges nach sich zieht. Der mangels gesicherter Erkenntnisse willkürlich festgelegte Bewertungsmaßstab von mindestens 5 cm dynamischer Valgisierung für ein erhöhtes Risiko für ACL-Verletzungen stimmt mit dem ermittelten Faktor von 2,5 gut mit der erhöhten Verletzungsrate von Frauen (Petersen et al., 2005a) überein.

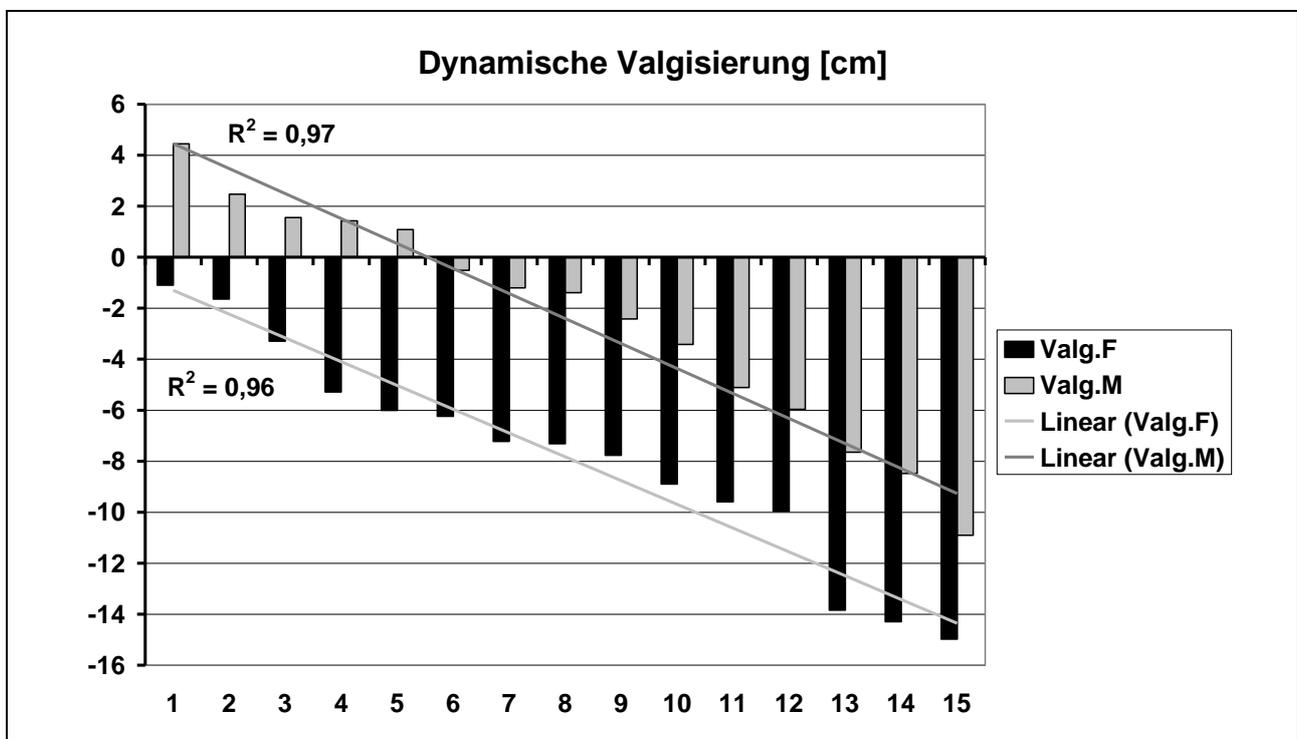


Abb. 3. Dynamische Valgisierung [cm], sortiert, von Frauen (Valg.F) und Männern (Valg.M) während der Landung bei Drop Jumps, gemittelt über alle Bedingungen; Trendlinie linear und Bestimmtheitsmaß.

In der Einzelfallbetrachtung (Abb. 3, Tab. 3) zeigt sich jedoch nicht nur bei 75% der Frauen, sondern auch bei 35% der untersuchten Männer ein erhöhtes Risiko für ACL-Verletzungen, was aus den Gruppenmittelwerten nicht hervorgeht. Besonders auffällig ist die große und gleichmäßig verteilte Bandbreite der dynamischen Valgisierung bei Frauen wie Männern. Das erhöhte Verletzungsrisiko von Frauen drückt sich eindrucksvoll durch die im Mittel um 5,4 cm vermehrte dynamische Valgisierung aus. Gleichzeitig wird aber auch deutlich, dass das Risiko für VKB-Rupturen nicht auf weibliche Sportler begrenzt ist. Als Konsequenz scheint zumindest für die

risikobehafteten Sportler die konsequente Durchführung eines Präventionsprogrammes dringend angeraten (z.B. FIFA „11+“, Grimm et al. 2007).

Insgesamt scheint der hier vorgestellte Screening-Test geeignet, das individuelle Risiko für ACL-Verletzungen zumindest grob abschätzen und damit eine wichtige Beratungsfunktion erfüllen zu können. Der einfache Aufbau lässt eine schnelle und nur mit geringem Aufwand verbundene Analyse weitgehend ortsungebunden zu. Der Nachteil, dass die bei Verwendung nur einer Videokamera in Frontalansicht bestehenden Verzerrungen die dynamische Valgisierung leicht reduzieren, kann hierbei im Sinne der Risikoabschätzung vernachlässigt werden.

Auch wenn ein Screening-Test wie der hier präsentierte als präventive Maßnahme immer nur in der Hoffnung, aber ohne Gewissheit auf zu erzielende positive Effekte ausgerichtet sein kann, so ist seine grundlegenden Bedeutung in Anbetracht der schweren Konsequenzen von ACL-Verletzungen nicht zu unterschätzen.

Literatur:

- Bahr, R., Krosshaug, T. (2005). Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *Br J Sports Med.* 39, 324-329.
- Daniel, D.M.; Stone, M.L.; Dobson, B.E.; Fithian, D.C.; Rossman, D.J.; Kaufman, K.R. (1994): Fate of the ACL injured patient. A prospective outcome study. *Am J Sports Med* 22, 632-644.
- Eloranta, V.; Komi, P. (1980): Function of the quadriceps femoris muscle under maximal concentric and eccentric contractions. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 20, 159-174.
- Gehring, D., Melnyk, M., Gollhofer, A. (2009). Gender and fatigue have influence on knee joint control strategies during landing. *Clinical Biomechanics* 24, 82-87.
- Griffin, L.Y., Albohm, M.J., Arendt, E.A., Bahr, R., Beynon, B.D., DeMaio, M., Dick, R.W., Engebretsen, L., Garrett, W.E., Hannafin, J.A., Hewett, T.E., Huston, L.J., Ireland, M.L., Johnson, R.J., Lephart, S., Mandelbaum, B.R., Mann, B.J., Marks, P.H., Marshall, S.W., Myklebust, G., Noyes, F.R., Powers, C., Shields, C., Shultz, S.J., Silvers, H., Slauterbeck, J.R., Taylor, D.C., Teitz, C.C., Wojtyk E.M., Yu, B. (2006): Understanding and Preventing Non-contact Anterior Cruciate Ligament Injuries - A Review of the Hunt Valley II Meeting, January 2005. *Amer J Sports Med.* 34, 9, 1512-1532.
- Grimm, K., Kirkendall, D. (2007): Gesundheit und Fitness für Fußballerinnen. FIFA (Fédération Internationale de Football Association) (ed.) rva, Altstätten, CH.
- Huston L.J., Vibert B., Ashton-Miller J.A., Wojtyk E.M. (2001). Gender differences in knee angle when landing from a drop-jump. *Am J Knee Surg.* 14, 4, 215-220.
- Kernozek, T.W., Torry, M.R., Iwasaki, M. (2008). Gender differences in lower extremity landing mechanics caused by neuromuscular fatigue. *Am J Sports Med.* 36, 3, 554-565.
- Mandelbaum BR, Silvers HJ, Watanabe DS. (2005): Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: a 2 year follow up. *Amer J Sports Med.* 33, 7, 1003-9
- Petersen W., Rosenbaum, D., Raschke M. (2005a). Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten. Teil 1: Epidemiologie, Verletzungsmechanismen und Ursachen. *Deut Z Sportmed.* 56, 6, 150-156.
- Petersen W., Zantop, T., Rosenbaum, D., Raschke M. (2005b). Rupturen des vorderen Kreuzbandes bei weiblichen Athleten. Teil 2: Präventionsstrategien und Präventionsprogramme. *Deut Z Sportmed,* 56, 6, 157-164.
- Petersen W., Zantop, T. (2009): Das vordere Kreuzband – Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie. Deutscher Ärzte-Verlag, Köln.
- Schmalfeld, K. & Olivier, N. (2007). Zum Einfluss hoher neuromuskulärer Beanspruchungen auf Parameter der Bewegungsausführung bei zyklischen Bewegungen. Zugriff am 28.8.2009 unter <http://www.ejournal-but.de>.