

R. Schmidt-Wiethoff<sup>1</sup>, W. Rapp<sup>2</sup>, F. Mauch<sup>3</sup>, T. Schneider<sup>1</sup>, P. Brüggemann<sup>4</sup>

## Ultraschallgestützte Bewegungsanalyse der glenohumeralen Rotationsbeweglichkeit bei Elite-Tennispielern

*Kinematic analysis of glenohumeral internal and external range of motion in elite tennis players.*

- 1) Klinik für Orthopädie und Sporttraumatologie, Dreifaltigkeits-Krankenhaus Köln
- 2) Institut für Sport und Sportwissenschaft, Universität Freiburg
- 3) Sportklinik Stuttgart
- 4) Institut für Biomechanik, Deutsche Sporthochschule Köln

### Zusammenfassung

Ziel der Untersuchung war die quantifizierende Erfassung der glenohumeralen Rotationsbeweglichkeit bei Weltrang-Tennispielern unter Verwendung eines 3D-ultraschallgestützten Mess-Systems. Dazu wurden bei 27 männlichen Tennisprofis und 20 männlichen Vergleichsprobanden beiderseitige Messungen der Innen- und Außenrotation bei rechtwinklig abduziertem Oberarm und fixierter Scapula durchgeführt.

Bei den Tennispielern fand sich eine signifikant höhere Außenrotationsbeweglichkeit und eine signifikant niedrigere Innenrotationsbeweglichkeit des Schlagarms im Vergleich zur Kontrollgruppe ( $p < 0,01$ ). Die Gesamtrotation im Glenohumeralgelenk war bei den Tennisprofis signifikant verringert ( $p < 0,01$ ). Keine signifikante Unterschiede fanden sich hingegen im Vergleich dominanter und nichtdominanter Seite bei den Vergleichsprobanden. Die ultraschallgestützte Messung der glenohumeralen Rotationsbeweglichkeit stellt ein neuartiges diagnostisches Verfahren in der Sportmedizin dar und liefert wichtige klinische Daten zur Beurteilung spezifischer Schulterparameter beim Überkopfsport.

**Schlüsselwörter:** Schulter, Rotation, Tennis

### Summary

The aim of the present study is to evaluate whether elite tennis players, who are under regular physiotherapeutic surveillance and should have a balanced kinematic situation, show an imbalanced kinematic situation of the glenohumeral joint as described for other overhead athletes. This was done with a novel objective ultrasound-based kinematic measuring device. The subjects were 27 ATP tour tennis players and 20 volunteers without any history of overhead sports. All subjects were bilaterally measured for internal and external rotation at 90 degrees of shoulder abduction while negating scapulothoracic motion. The tennis players showed a greater range of motion for external rotation, but a decreased internal rotational ability in their playing arms compared to the controls ( $p < 0.01$ ). The total rotational range of motion was also less in tennis players ( $p < 0.01$ ). It is concluded that the kinematic measurement device is a useful tool for objective measurements of joint movements providing clinically important data.

**Key words:** shoulder, rotation, tennis

### Einleitung

Die Schulter ist das Gelenk mit der größten Bewegungsfreiheit, welche durch die anatomische Formgebung nur minimal eingeschränkt wird. Die Kinematik zwischen Humeruskopf und Glenoid spielt eine wesentliche Rolle für die Funktion und Belastbarkeit des Gelenkes. Dabei muss der Humeruskopf Rotations-, Translations- und Rollbewegungen in Kombination durchführen, um die komplexen dreidimensionalen Bewegungsmuster der Schulter zu ermöglichen (8,21).

Klinische Beobachtungen weisen auf Veränderungen der Rotationsbeweglichkeit des Glenohumeralgelenkes bei Hochleistungs-Überkopfsportlern hin (7,9,10). Diese äußern sich funktionell in einer bereits manifesten oder sich andeu-

tenden reduzierten Innenrotationsamplitude bei gleichzeitig vermehrter Außenrotationsbeweglichkeit des Wurfarms bzw. des Schlagarms. Pathomorphologisch findet sich bei diesen Sportlern eine Verkürzung der dorsalen Schultergelenkscapsel. Folge ist eine pathologische anterior-superiore Translation des Humeruskopfes, die im Laufe der Zeit zu subakromialen Impingementmechanismen und somit zu strukturellen Veränderungen an der Rotatorenmanschette führen kann (7,8,13). Auf diese Problematiken sollte bereits beim jugendlichen Sportler geachtet werden, da nicht selten schmerzhafte Störungen der Kinematik des Schultergelenkes resultieren können.

Im Rahmen der klinischen Diagnostik werden Abduktion, Elevation und Rotation des Schultergelenkes bei aktiver und passiver Funktionsprüfung im Seitenvergleich getestet. Von wesentlichem Interesse ist auch der skapulo-thorakale Rhyth-

mus, da die Ausrichtung der Scapula für den Bewegungsumfang der Schulter mitverantwortlich ist (2). Um bei der Beweglichkeitsprüfung des Glenohumeralgelenkes skapulothorakale Mitbewegungen zu vermeiden, fixiert der Untersucher im „Codman-Griff“ mit einer Hand die Scapula und führt mit der anderen den Arm des Patienten. Alle Bewegungen werden mit denjenigen der Gegenseite verglichen. Grundlage der Dokumentation ist die Neutral-Null-Methode (2).



Abbildung 1: Bei dem verwendeten Messsystem (Fa. Zebris) sind drei Schallsender auf einer T-förmigen Plattform angeordnet. Die Schallsender werden bei den Probanden an der dorsalen Seite des proximalen Unterarmes in Höhe des Epikondylus humeri radialis fixiert.

## Material und Methode

In der vorliegenden Studie wurde die glenohumerale Rotationsbeweglichkeit bei 27 männlichen Tennisprofis getestet. Die Spieler waren im Mittel 26,5 Jahre alt (19-33 Jahre) und durchschnittlich seit 16 Jahren (10-24 Jahre) im Leistungstennis aktiv. Die Platzierung der Tennisprofis zum Zeitpunkt der Untersuchung betrug im Mittel Rang 30 der ATP Welt-rangliste (1-93). 22 der insgesamt 27 Tennisspieler waren Rechtshänder und fünf Linkshänder.

Um Referenzwerte zu ermitteln, wurden 20 männliche Vergleichsprobanden mit einem Durchschnittsalter von 30,3 Jahren (19-38 Jahre) untersucht. Es wurden keine Tennisspieler oder Überkopfsportler in die Vergleichsgruppe aufgenommen. Vorbestehende Schultererkrankungen oder Schmerzsyndrome waren Ausschlusskriterien.

Die Beweglichkeitsprüfung erfolgte unter Verwendung eines ultraschallbasierten Bewegungsanalysesystems (CMS 70P, Fa. Zebris). Das Messsystem arbeitet nach dem Prinzip der Laufzeitmessung von Ultraschallimpulsen, die von den Ultraschallsendern über Mikrophone an die Empfangsstation übermittelt werden. Somit können Winkelveränderungen über die Zeit mittels des Verfahrens der Triangulation mit einer Messgenauigkeit von  $\pm 0,5\%$  bei einer Messauflösung von 0,1mm berechnet werden (5,27). Bei dem verwendeten Messsystem sind drei Schallsender auf einer T-förmigen Plattform angeordnet. Die Schallsender wurden bei den Probanden an der dorsalen Seite des proximalen

Unterarmes in Höhe des Epikondylus humeri radialis fixiert (Abb. 1).

Die Positionierung der Probanden erfolgte sitzend bei aktiv aufgerichtetem Oberkörper. Die Beweglichkeitsmessungen wurden bei 90 Grad abduziertem Oberarm und rechtwinklig gebeugtem Ellenbogen durch einen Untersucher vorgenommen. Zur Vermeidung skapulothorakaler Mitbewegungen wurde das Schulterblatt mit einer Hand des Untersuchers fixiert, während die andere Hand die Bewegungen führte (Abb. 2).

Das Testprocedere begann mit der Gewöhnung der Probanden an die Position und den vorgegebenen vom Untersucher geführten Bewegungsablauf. Es wurden zunächst jeweils zwei Testbewegungen beider Schultergelenke, ausgehend von der Neutral-Null-Stellung, mit maximaler Innen- und Außendrehung ausgeführt. Im Anschluss daran erfolgten drei aufeinanderfolgende passiv geführte Rotationsbewegungen der dominanten und der nichtdominanten Schulter im Seitenvergleich. Als dominante Seite ist bei den Tennisspielern die Schlaghand und bei den Vergleichsprobanden die Arbeits- bzw. Schreibhand definiert.

Für die Datenanalyse wurden die erhaltenen Bewegungsamplituden der drei Einzelversuche mittels der Systemsoftware (Fa. Zebris) digitalisiert und zur weiteren statistischen

Abbildung 2: Echtzeit-Analyse der glenohumeralen Rotationsbeweglichkeit unter Verwendung eines ultraschallbasierten Messsystem (CMS 70P, Fa. Zebris) bei einem 28-jährigen Profi-Tennisspieler. Der Untersucher fixiert im "Codman-Griff" mit einer Hand die Scapula und führt mit der anderen den Arm des Patienten.



Auswertung in das Programm MS-Excel übertragen. Nach Überprüfung auf Normalverteilung wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet und mittels T-Test auf statistische Signifikanz überprüft. Für die weitere Analyse des Datenmaterials wurden die Mittelwerte aus den drei Versuchen zugrunde gelegt.

## Ergebnisse

In Tabelle 1a sind die Mittelwerte, Standardabweichungen sowie die maximalen und minimalen Bewegungsausmaße der Innen- und Außenrotation der dominanten Seite aller Probanden dargestellt, in 1b die der nicht-dominanten Seite. Die Innenrotationswerte der dominanten Seite reichen bei den Tennisspielern von 18,8° bis 66,9° (43,8 ± 11,0, Mittelwert ± SD), die der Normalprobanden von 47,1° bis 79,8° (61,6° ± 8,1°). Die Außenrotationswerte der Tennisspieler liegen bezüglich der dominanten Seite zwischen 68,4° und 126,5° (89,1° ± 13,7°), die der Vergleichsgruppe zwischen 72,1° und 99,1° (85,4° ± 7,6°). Die Außenrotationswerte liegen auf beiden Seiten signifikant höher als die Innenrotationswerte (p < 0,05), dies gilt sowohl für die Gruppe der Tennisspieler, als auch für die Vergleichsprobanden. Das Verhältnis Innenrotation zu Außenrotation (Quotient IRO/ARO) beträgt bei den Tennisspielern 0,49 bezüglich der dominanten und 0,75 bezüglich der nichtdominanten Seite. Bei den Vergleichsprobanden beträgt der IRO/ARO Quotient 0,75 bzw. 0,71 (dominante und nichtdominante Seite).

Tabelle 2 veranschaulicht die Mittelwerte und Standardabweichungen bezogen auf die glenohumerale Rotationsbeweglichkeit, die der Summe aus Innen- und Außenrotationsamplitude entspricht. Bei den Tennisspielern beträgt die Gesamtrationsbeweglichkeit der dominanten Seite 132,9° ± 15,0° und die der nichtdominanten Seite 142,0° ± 11,9°. Die Vergleichsprobanden erreichen 146,9° ± 8,7° bezüglich der dominanten und 143,3° ± 7,5° bezüglich der nichtdominanten Seite. Es lässt sich somit eine signifikant niedrigere Gesamtrationsbeweglichkeit im Bereich des Schlagarms bei den Tennisprofis festzustellen (p < 0,01).

Zur verbesserten Visualisierung der erhaltenen Messwerte sind in Abbildung 3 die Mittelwerte und Standardabweichungen der Innen- und Außenrotation für beide Gruppen im Seitenvergleich graphisch dargestellt. Auffälligstes Merkmal ist

Tabelle 1 a, b: Bewegungsausmaße, Innenrotation (IRO) und Außenrotation (ARO) in Grad, der dominanten Seite (1a) und der nichtdominanten Seite (1b). Mittelwerte, Standardabweichungen, maximale und minimale Bewegungsausmaße; Vergleich Kontrollgruppe und 27 Elite Tennisspieler.

Dominante Seite	Tennisspieler (n=27)				Kontrollgruppe (n=20)			
	Mittelwert	Std. Abw.	Maximum	Minimum	Mittelwert	Std. Abw.	Maximum	Minimum
IRO	43,8°	11,0°	66,9°	18,8°	61,6°	8,1°	79,8°	47,1°
ARO	89,1°	13,7°	126,5°	68,4°	85,4°	7,6°	99,1°	72,1°

Nicht-dominante Seite	Tennisspieler (n=27)				Kontrollgruppe (n=20)			
	Mittelwert	Std. Abw.	Maximum	Minimum	Mittelwert	Std. Abw.	Maximum	Minimum
IRO	60,8°	7,4°	75,4°	46,6°	59,3°	8,3°	74,0°	47,8°
ARO	81,2°	10,2°	100,2°	53,6°	84,0°	7,3°	100,7°	69,6°

die signifikante Einschränkung der Innenrotationsbeweglichkeit im Bereich des Schlagarms bei den Tennisspielern (p < 0,01). Für die Außenrotation ergibt sich ein gegenläufiges Bild wenn auch nicht im gleichen Ausmaß. Hier erreichen die Tennisspieler mit 89,1° gegenüber 81,2° im Mittel signifikant höhere Außenrotationswerte im Vergleich dominanter und nichtdominanter Seite (p < 0,05). Hinsichtlich der Vergleichsgruppe ergeben sich hingegen keine signifikanten Unterschiede im Seitenvergleich. Dieses gilt sowohl für die Innen- als auch für die Außenrotation.

Tabelle 2: Gesamtrationsbeweglichkeit im Glenohumeralgelenk, dominante und nicht-dominante Seite: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bewegungsamplituden. Vergleich Kontrollgruppe und 27 Elite Tennisspieler.

	Tennisspieler (n=27)		Kontrollgruppe (n=20)	
	Mittelwert	Std. Abw.	Mittelwert	Std. Abw.
Dominante Seite	132,9°	15,0°	146,9°	8,7°
Nicht-dominante Seite	142,0°	11,9°	143,3°	7,5°

Die Auswertung der Einzelmesswerte im Vergleich dominanter und nichtdominanter Seite zeigt in bezug auf die Innenrotation als wesentliches Resultat drei Tennisspieler, bei denen die Innenrotationsbeweglichkeit weniger als 30° beträgt. Die Analyse der Außenrotationswerte zeigt, dass sechs Spieler mehr als 100° erreichen. Ein 30-jähriger Tennisprofi weist mit 122°, insgesamt betrachtet, die größte Außenrotationsbeweglichkeit der in dem Kollektiv untersuchten Probanden auf. Dieser Spieler zeigt hingegen mit einer Innenrotationsamplitude von 25° gleichzeitig ein deutliches Funktionsdefizit im Bereich des Schlagarms.

Die Reproduzierbarkeit der Messungen wurde anhand der Einzelauswertungen der Testserien überprüft. Hierbei ergab sich, bezogen auf die Gruppe der 27 untersuchten Tennisspieler, eine mittlere Abweichung von 3,9° und, bezogen auf das Vergleichskollektiv, eine mittlere Abweichung von 3,4° pro Messung.

## Diskussion

Die Häufigkeit behandlungsbedürftiger Beschwerden im Bereich der Schulter bei Überkopfdisziplinen – Tennis, Baseball, Volleyball, Schwimmen, Wurf- und Stoßdisziplinen – wird mit bis zu 24% angegeben (14,26). Als klassische Problemkomplexe des Überkopfsportlers werden vor allem Überlastungssyndrome der capsulolabro-ligamentären Strukturen, primäre und sekundäre

Schulterinstabilitäten und das intraartikuläre Impingement der Rotatorenmanschette am dorsalen Glenoidrand angesehen. Ferner werden mechanische und funktionelle Konzepte des subakromialen Impingementsyndroms sowie Imbalancen der skapulohumeralen und skapulothorakalen Muskulatur diskutiert (6,8,10,11,13,19,28, 29).

Bei der Betreuung von Tennisspielern und Hochleistungs-Überkopfsportlern ist auf eine Verkürzung der dorsalen Gelenkkapsel zu achten, die sich klinisch in einer reduzierten Innenrotationsamplitude des Schultergelenkes äußert (13). Verschiedene Studien weisen auf diese Problematik im Zusammenhang mit Überkopfsportarten hin (7,9,10). Kibler (10) beschreibt eine Zunahme der Innenrotationseinschränkung bei Tennisspielern in Abhängigkeit vom Alter und der Dauer der Sportausübung. Der Autor nimmt als Ursache für die reduzierte Innendrehfähigkeit repetitive Dehnungsbeanspruchungen der das Gelenk stabilisierenden posterioren Weichteilstrukturen an.

Ellenbecker et al. (7) untersuchten 200 jugendliche Elite-Tennisspieler im Alter zwischen 11 und 17 Jahren in bezug auf die glenohumerale Rotationsfähigkeit. Die Messungen wurden bei 90° abduziertem Arm und vom Untersucher fixierter Scapula durchgeführt. Die Autoren fanden signifikant verminderte Innenrotationswerte der dominanten Schulter im Vergleich zur Gegenseite. Diese Ergebnisse stimmen mit den eigenen klinischen Beobachtungen hinsichtlich kinematischer Veränderungen des Schultergelenkes bereits beim jugendlichen Leistungssportler überein.

Als weiteres Merkmal wird bei Werfern und Tennisspielern häufig eine im Seitenvergleich vermehrte Außenrotationsbeweglichkeit des Wurfarms bzw. des Schlagarms vorgeführt. Die vermehrte Außenrotation bei Überkopfsportarten ist einerseits Leistungsvoraussetzung und darf primär nicht als pathologisch gewertet werden. Andererseits bedingt sie potentielle Schädigungsmechanismen durch exzentrische Glenoidbelastung und chronische Dehnungsbeanspruchung der vorderen Gelenkkapsel, die sich zu Ungunsten der Schulterstabilität auswirken können (13).

In der vorliegenden Studie wurde die glenohumerale Rotationsbeweglichkeit bei Hochleistungs-Tennisspielern mittels des ultraschallgestützten Bewegungsanalysesystems (CMS 70P, Fa. Zebris) gemessen. Die Eignung des Systems für kinematische Bewegungsanalysen sowie die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen wurde bereits in vorausgegangenen Studien nachgewiesen (1,3,5,24,27). Im Zusammenhang mit der hier vorliegenden Fragestellung – kinematische Analyse der Rotationsbeweglichkeit des Schultergelenkes – wurde das System erstmals in der klinischen Diagnostik eingesetzt. Die Vorteile des Verfahrens gegenüber der Verwendung eines externen Goniometers liegen in der dynamischen Ausführung und der Möglichkeit der Echtzeit-Analyse der Messungen unter gleichzeitiger visueller Kontrolle der Bewegungsabläufe durch den Untersucher. Die Messungen sind einfach und schnell durchzuführen, wobei das erhaltene Datenmaterial zur weiteren Bearbeitung mittels der Systemsoftware dokumentiert wird.

Die Hauptproblematik bei der Messung der glenohumeralen Beweglichkeit, die jedoch unabhängig von dem verwen-

deten Messsystem zu werten ist, liegt darin, dass die Messwerte durch Mitbewegungen der Scapula verfälscht werden können. Voraussetzung für den Erhalt valider Messwerte ist daher die exakte Fixation der Scapula durch die Hand des Untersuchers, während die andere Hand die korrekte Bewegungsausführung des Probanden kontrolliert. Die ermittelte Bewegungsamplitude hängt, wenn auch nur in geringem Ausmaß, auch vom Untersucher und seiner „Kraftanwendung“ bei der passiven Funktionsprüfung ab. Die Untersuchung sollte daher ohne jegliche Kraftanwendung ausgeführt werden.

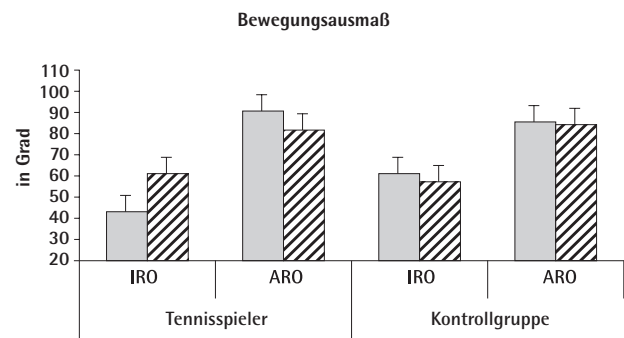


Abbildung 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der Außen- und Innenrotationsbeweglichkeit im Vergleich Tennisspieler (n=27) und Kontrollgruppe (n=20). Die gefüllten Balken repräsentieren die dominante Seite und die schraffierten Balken die nicht-dominante Seite.

Als Resultat der Untersuchungen lassen sich drei wesentliche Besonderheiten der glenohumeralen Rotationsbeweglichkeit bei Elite-Tennisspielern bestätigen. Aus dem Kollektiv von 27 Tennisprofis war eine signifikante Einschränkung der Innenrotationsbeweglichkeit im Bereich des Schlagarms bei gleichzeitig vermehrter Außenrotation festzustellen ( $p < 0,01$ ). Die Gesamtrotationsbeweglichkeit, bestehend aus maximaler Innen- und Außenrotationsamplitude, war bei den Tennisspielern auf der Schlagarmseite signifikant reduziert.

Um das Verhältnis von Innen- und Außenrotationsamplitude zu quantifizieren, wurde ein Quotient IRO/ARO (Innenrotation/Außenrotation) gebildet, der bei den Tennisspielern mit 0,49 bezüglich der dominanten Seite einen auffällig niedrigen Wert gegenüber 0,75 bezüglich der nicht-dominanten Seite zeigte. Innerhalb der Kontrollgruppe betrug der Quotient IRO/ARO 0,75 bzw. 0,71 (dominante und nichtdominante Seite). Die eigenen Untersuchungen ließen keinen Zusammenhang zwischen Alter und Grad der Rotationseinschränkung des Schultergelenkes feststellen.

Die veränderte glenohumerale Rotationsbeweglichkeit stellt unseres Erachtens eine spezifische Folge Überkopfbelastender Disziplinen dar. Weitere Merkmale, die in den Symptomkomplex schmerzhafter Schultererkrankungen beim Überkopfsportler einfließen, sind eine Dysfunktion und Kraftminderung der außenrotatorisch wirkenden Anteile der Rotatorenmanschette sowie eine veränderte Kinematik der Scapula (4, 12, 15, 16, 23, 25, 30). Die ultraschallgestützte kinematische Analyse der Innen- und Außenrotationsbeweglich-

keit ist ein neuartiges und gut reproduzierbares Untersuchungsverfahren in der sportmedizinischen Diagnostik. Im präventiven und rehabilitativen Bereich bietet die vorgestellte Methodik eine geeignete Einsatzmöglichkeit, um Verlaufsuntersuchungen hinsichtlich der Rotationsbeweglichkeit am Schultergelenk durchzuführen.

## Literatur

1. *Banzer W, Vogt L*: Reproduzierbarkeit thorakaler und lumbaler Wirbelsäulenbewegungen mit der 3D-Ultraschalltopometrie. *Phys Rehab Kur Med* 7 (1997) 21-25
2. *Brunner UH*: Klinische Untersuchung der Schulter. In: Habermeyer P, Schweiberer L (Hrsg.): *Schulterchirurgie*. München-Wien-Baltimore, Urban & Schwarzenberg (1995) 41-58
3. *Castro W, Sautmann A, Schilgen M, Sautmann M*: Noninvasive three-dimensional analysis of cervical spine motion in normal subjects in relation to age and sex. *Spine* 25 (2000) 443-449
4. *Chandler TJ, Kibler WB, Stracener EC, Ziegler AK, Pace B*: Shoulder strength, power, and endurance in college tennis players. *Am J Sports Med* 20 (1992) 455-458
5. *Dalichau S, Scheele K, Reissdorf C, Huebner J*: Die Kinematische Ganganalyse unter besonderer Berücksichtigung von Lendenwirbelsäule und Becken. *Dtsch Z Sportmed* 49 (1998) 340-346
6. *Davidson PA, Elattrache NS, Jobe CM, Jobe FW*: Rotator cuff and posterior-superior glenoid labrum injury associated with increased glenohumeral motion: A new side of impingement. *J Shoulder Ellbow Surg* 4 (1995) 384-390
7. *Ellenbecker TS, Roetert EP, Piorkowski PA, Schulz DA*: Glenohumeral joint internal and external rotation range of motion in elite junior tennis players. *J Orthop Sports Phys Ther* 24 (1996) 336-341
8. *Habermeyer P*: Sehnenrupturen im Schulterbereich. *Orthopäde* 18 (1989) 257-267
9. *Herrington L*: Glenohumeral joint: internal and external rotation range of motion in javelin throwers. *Br J Sports Med* 32 (1998) 226-228
10. *Kibler WB, Chandler TJ, Livingston BP, Roetert EP*: Shoulder range of motion in elite tennis players. Effect of age and years of tournament play. *Am J Sports Med* 24 (1996) 279-285
11. *Kibler WB*: The role of the scapula in athletic shoulder function. *Am J Sports Med* 26 (1998) 325-337
12. *Kugler A, Krüger-Franke M, Reiningger S, Trouillier HH, Rosemeyer B*: Muscular imbalance and shoulder pain in volleyball attackers. *Br J Sports Med* 30 (1996) 256-259
13. *Lehmann, M, Habermeyer P*: Schulter, AC- und Sternoklavikulargelenk. In: *GOTS Manual Sporttraumatologie*, Huber-Verlag 1997, 91-103
14. *Lehman RC*: Shoulder pain in the competitive tennis player. *Clin Sports Med* 7 (1988) 309-327
15. *Leroux JL, Codine P, Thomas E, Pocholle M, Mailhe D, Blotman F*: Isokinetic evaluation of rotational strength in normal shoulders and shoulders with impingement syndrome. *Clin Orthop* 304 (1994) 108-115
16. *McMasters WC, Long SC, Caiozzo VJ*: Isokinetic torque imbalances in the rotator cuff of the elite water polo player. *Am J Sports Med* 19 (1991) 72-75
17. *Perry J*: Anatomy and biomechanics of the shoulder in throwing, swimming, gymnastics, and tennis. *Clin Sports Med* 2 (1983) 247-270
18. *Perry J*: Biomechanics of the shoulder. In: Rowe, C.R. (ed) *The shoulder*. Churchill Livingstone, New York Edinburgh London (1988), 1-15
19. *Radas C, Pieper H-G, Quack G, Krahl H*: Schulterengpaßsyndrom des Überkopfsportlers - primäres oder sekundäres Subakromialsyndrom. *Dtsch Z Sportmed* 48 (1997) 379-384
20. *Richardson AB*: Overuse syndromes in baseball, tennis, gymnastics, and swimming. *Clin Sports Med* 2 (1983) 379-390
21. *Rockwood CA, Matsen FA (2nd ed.)*: *The Shoulder*. Saunders Company, Philadelphia (1998)
22. *Rupp S, Berninger K, Hopf T*: Shoulder problems in high level swimmers - impingement, anterior instability, muscular imbalance? *Int J Sports Med* 16 (1995) 557-562
23. *Schmidt-Wiethoff R, Rapp W, Schneider T, Haas H, Steinbrück K*: Funktionelle Schulterprobleme und Muskelimbancen beim Leistungssportler mit Überkopfbelastung. *Dtsch Z Sportmed* 51 (2000) 327-35
24. *Schreiber TU, Smolenski U, Seidel EJ*: 3-Dimensionale Bewegungsanalyse zur Funktionsbeurteilung der Halswirbelsäule - Messverfahren und Reliabilität. *Phys Med Rehab Kuror* 11 (2001) 4, 113-122
25. *Sirota SC, Malanga GA, Eischen JJ, Laskowski ER*: An eccentric- and concentric-strength profile of shoulder external and internal rotator muscles in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med* 25 (1997) 59-64
26. *Steinbrück K, Lehmann M*: Sportmedizinische Aspekte von Schulterverletzungen. In: Habermeyer P, Schweiberer L (Hrsg.): *Schulterchirurgie*. München-Wien-Baltimore, Urban & Schwarzenberg (1995) 357-366
27. *Vogt L, Pfeifer K, Banzer W*: Der Einsatz bewegungsanalytischer Verfahren für Funktionsdiagnose und Risikoscreening des Sportlers. *Sportverl Sport-schad* 15 (2001) 33-36
28. *Walch G, Boileau P, Noel E, Donell ST*: Impingement of the deep surface of the supraspinatus tendon on the posterosuperior rim: An arthroscopic study. *J Shoulder Ellbow Surg* 1 (1992) 238-245
29. *Warner JJP, Micheli LJ, Arslanian L et al.*: Scapulothoracic motion in normal shoulders and shoulders with glenohumeral instability and impingement syndrom. A study using Moiré Topographic analysis. *Clin Orthop* 285 (1992) 191-99
30. *Wilk KE, Andrews JR, Arrigo CA, Keirns MA, Erber DJ*: The strength characteristics of internal and external rotator muscles in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med* 21 (1993) 61-66

Korrespondenzadresse:  
 OA Dr. med. R. Schmidt-Wiethoff  
 Klinik für Orthopädie und Sporttraumatologie  
 Dreifaltigkeits-Krankenhaus  
 Aachenerstrasse 445-449  
 50933 Köln  
 Fax: 0221-94071-469  
 E-Mail: schmidt-wiethoff@t-online.de