

# Inter- und Intraobserverreliabilität definierter Messpunkte zur sonografischen Diagnostik des Karpaltunnelsyndroms – eine Validierungsstudie an gesunden Probanden

Inter- and Intraobserver Reliability of Predefined Diagnostic Levels in High-Resolution Sonography of the Carpal Tunnel Syndrome – a Validation Study on Healthy Volunteers

## Authors

S. Kluge<sup>1</sup>, J. Kreuziger<sup>2</sup>, B. Hennecke<sup>1</sup>, E. Vögelin<sup>1</sup>

## Affiliations

<sup>1</sup> Department of Plastic and Hand Surgery, University of Bern, Inselspital

<sup>2</sup> Department of Anaesthesiology and Critical Care Medicine, Medical University Innsbruck

## Key words

- median nerve
- carpal tunnel syndrome
- ultrasound
- sonography
- interobserver reliability

## Zusammenfassung

**Ziel:** Die sonografische Untersuchung gewinnt in der Diagnostik des Karpaltunnelsyndroms (KTS) zunehmend an Bedeutung. Die meisten sonografischen Untersuchungen verlassen sich auf einzelne Querschnittsmessungen des N. medianus, individuelle Unterschiede der Nervendicke werden dabei nicht berücksichtigt. Ziel dieser Studie ist es, die Intra- und Interobserverreliabilität der Sonografie des N. medianus am Karpaltunnel für definierte gleichseitige Messpunkte der Nervenquerschnittsfläche zu bestimmen.

**Material and Methoden:** 50 Handgelenke gesunder Probanden wurden von 2 Untersuchern unabhängig sonografisch untersucht und die Querschnittsfläche des N. medianus dabei am Karpaltunneleingang sowie 2 cm proximal der Handgelenksbeugefalte bestimmt. Die Höhe und Breite des Karpaltunnels wurde anhand von anatomischen Fixpunkten, die Intra- und Interobserverreliabilität mittels Cronbach's  $\alpha$  ermittelt.

**Ergebnisse:** Die Mittelwerte für die Breite des Karpalkanals betragen je nach Untersucher 3,37 cm und 3,43 cm, für die Karpalkanalhöhe 1,18 cm und 1,19 cm. Die Mittelwerte der Nervenquerschnittsfläche lagen bei 8,43 und 9,05 mm<sup>2</sup> (distaler Messpunkt) sowie 9,37 und 9,68 mm<sup>2</sup> (proximaler Messpunkt). Die Interobserverreliabilität lag zwischen 0,754 und 0,940 (Cronbach's  $\alpha$ ), die Intraobserverreliabilität zwischen 0,924 und 0,996.

**Schlussfolgerung:** Um die Sonografie zur KTS-Diagnostik zuverlässig einsetzen zu können, muss die Anwenderfreundlichkeit mit reproduzierbaren Messwerten dokumentiert werden. Unsere Studie bestätigt eine sehr gute sonografische Reproduzierbarkeit definierter Messpunkte, die den Einsatz des Verfahrens rechtfertigt. Weitere Untersuchungen sollen zeigen, ob der Quotient dieser Werte eine Aussage in der Diagnostik eines KTS zulässt.

## Abstract

**Purpose:** High-resolution ultrasound is becoming increasingly important in the diagnosis of carpal tunnel syndrome (CTS). Most studies define cut-off values of the cross-sectional area (CSA) of the median nerve in different locations. The individual range of nerve swelling, the size of the nerve, and its CSA are not addressed. The aim of the study is to define the intra- and interobserver reliability of diagnostic ultrasound using two different cross-sectional areas of the median nerve at the carpal tunnel in predefined locations.

**Materials and Methods:** Two observers using high-resolution ultrasound examined 50 wrists of healthy volunteers independently. The CSA of the median nerve was measured at the entrance of the carpal tunnel and 2 cm proximal to the palmar wrist crease. The height and width of the carpal tunnel were determined using anatomical landmarks. The intra- and interobserver reliability was determined using Cronbach's  $\alpha$ .

**Results:** Depending on the observer, the mean width of the carpal tunnel ranged from 3.37 to 3.43 cm with the height ranging from 1.18 and 1.19 cm. The CSA of the nerve was measured with values of 8.43 and 9.05 mm<sup>2</sup> on the pisiform level and 9.37 and 9.68 mm<sup>2</sup> on the proximal level. Cronbach's  $\alpha$  ranged from 0.754 to 0.940 for the interobserver reliability and from 0.924 to 0.996 for the intraobserver reliability.

**Conclusion:** To use high-resolution ultrasound for the diagnosis of carpal tunnel syndrome, the reproducibility of this method has to be evaluated. Our study confirms examiner-independent reproducibility of two predefined diagnostic cross-sectional areas resulting in good  $\alpha$  values.

received 21.8.2008

accepted 1.6.2009

## Bibliography

DOI 10.1055/s-0028-1109570

Published online: October 21, 2009

Ultraschall in Med 2010; 31: 43–47 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York · ISSN 0172-4614

## Correspondence

Dr. Sebastian Kluge

Department of Plastic and Hand Surgery, University of Bern, Inselspital  
Freiburgstraße  
3010 Bern  
Switzerland  
Tel.: ++ 41/31/6 32 35 34  
Fax: ++ 41/31/6 32 34 96  
sebastian.kluge@gmx.ch

## Ziel

Das Karpaltunnelsyndrom (KTS) stellt die häufigste Kompressionsneuropathie des Menschen dar, bei der es zu einer Einengung des N. medianus im Karpalkanal kommt. Es resultiert entweder aus einer Abnahme der Karpaltunnelgröße oder einer Zunahme der den Kanal passierenden Strukturen [1]. Die Diagnose der Erkrankung erfolgte bisher über die klinische Symptomatik und eine elektroneuromyografische Verifizierung [2]. Zwar stellt die Messung der Nervenleitgeschwindigkeit und der distal-motorischen Latenz hier immer noch den Goldstandard dar [3–10], bei einer schwankenden Sensitivität von 66–94% und Spezifität von 57–98% [5–15] sowie einer nicht unerheblichen Rate falsch negativer und falsch positiver Befunde [16], können normale elektroneuromyografische Befunde das Vorhandensein eines Karpaltunnelsyndroms jedoch nicht ausschließen [8]. Zudem ist die Messung der Nervenleitgeschwindigkeit je nach Erfahrung des Untersuchers nicht selten mit einer variablen Untersuchungszeit verbunden und wird vom Patienten häufig als unangenehm empfunden.

Die sonografische Diagnosestellung des KTS erfolgt bisher über die Definition eines „cut-off values“ einer Querschnittsmessung des N. medianus, meist auf Höhe des Karpaltunneleingangs (Os pisiforme), der zwischen 9 und 15 mm<sup>2</sup> liegt [8–15, 17–23]. Diese Messlokalisierung bietet in unseren Augen den Vorteil, dass sie im Hinblick auf die Reproduzierbarkeit an klar definierte knöcherne Fixpunkte gebunden ist. Auch distale Messlokalisierungen wurden beschrieben, einen diagnostischen Vorteil konnten sie bisher jedoch nicht zeigen [5, 6, 9, 11, 14, 20, 23, 24]. Die direkte Darstellung ist hier häufig erschwert [23], zusätzlich kommt es distal der durch das Retinaculum flexorum verursachten Abflachung bereits zu einer Aufteilung der Nervenäste, die einer sehr hohen Varianz unterliegt und den direkten Vergleich mit einem proximalen Referenzwert erschweren kann.

Individuelle Unterschiede der Nervendicke als auch der Karpaltunnelgröße finden bei der Verwendung von cut-off values keine Berücksichtigung. In der vorliegenden Studie wird im Gegensatz dazu ein gleichzeitiger Referenzpunkt im proximalen Verlauf des N. medianus ermittelt, der im Falle eines KTS keiner Kompressionseinwirkung des N. medianus unterliegt und mit der Nervenquerschnittsfläche des N. medianus auf Höhe der prästenotischen Aufweitung verglichen (Ratio Nervenquerschnittsfläche distal/proximal).

Ziel dieser Validierungsstudie ist zunächst die Bestimmung dieses Verhältniswerts sowie der Intra- und Interobserverreliabilität der definierten Messpunkte bei gesunden Probanden. Hierdurch soll die beim KTS vermutete prästenotische Aufweitung des Nervs am Karpaltunneleingang später an Patienten intraindividuell erfasst und mit einem Referenzwert verglichen werden können, ohne sich auf generell definierte cut-off values verlassen zu müssen, die die individuelle Querschnittsgröße des N. medianus nicht berücksichtigen.

## Material und Methode

50 Handgelenke von 25 gesunden Probanden wurden von 2 im Umgang mit dem Ultraschall erfahrenen Untersuchern unabhängig sonografisch untersucht und sowohl die Intra- als auch die Interobserverreliabilität des Verfahrens bestimmt. Die Probanden wiesen dabei keine klinischen Symptome eines

Karpaltunnelsyndroms auf. Ausschlusskriterien waren für das KTS prädisponierende Faktoren wie proximale Medianusneuropathien, Radikulopathien, Polyneuropathien, Diabetes mellitus, rheumatoide Arthritis, eine bestehende Schwangerschaft, Akromegalie, eine Schilddrüsenunterfunktion oder anatomische Varianten des N. medianus wie zum Beispiel ein N. medianus bifidus.

## Ultraschallmethodik

Die sonografische Untersuchung erfolgte mit einem linearen 17-MHz-Schallkopf (Philips Ultravision iU22, Philips Medical Systems, Bothell, WA, USA). Die zu untersuchenden Handgelenke wurden, gemäß dem von Kuo et al. [25] vorgeschlagenen Standard, mit halb gestreckten Fingern in Neutralstellung auf einer harten Unterlage positioniert.

Als relevante Ebene für die beim KTS vorhandene prästenotische Aufweitung des N. medianus wurde der Eingang des Karpalkanals gewählt. Zu dessen Lokalisation wurden das Os pisiforme und das Tuberculum ossis scaphoidei gleichzeitig in ihrer größten axialen Ausdehnung dargestellt und dabei die Karpaltunnelbreite zwischen den palmarsten Punkten beider Handwurzelknochen, die Karpaltunnelhöhe zwischen dem sich von Os pisiforme zum Tuberculum ossis scaphoidei bogenförmig ausspannenden Retinaculum flexorum und dem senkrecht darunter liegenden Os lunatum bestimmt. Die Messung erfolgte dabei im stehenden B-Mode durch Abstandsmessung mittels der geräteeigenen Software (Abb. 1).

Auch die Bestimmung der Nervenquerschnittsfläche erfolgte im stehenden B-Mode durch direktes Umfahren des Nervs mittels Trackball. Dabei wurde die Innenseite des den Nerv umgebenden echogenen Ringes verwendet (Abb. 1). Eine zweite Nervenquerschnittsfläche wurde 2 cm proximal der Raszetta als Referenzwert bestimmt. An dieser Stelle ist noch keine kompressionsbedingte Schwellung zu erwarten (Abb. 2). Die Lokalisierung erfolgte durch eine abgemessene Markierung auf der Haut, auf die der Schallkopf aufgesetzt wurde (Abb. 3). Das Verfahren wurde pro Messung und Untersucher zweimalig durchgeführt und jeweils der Mittelwert zur Auswertung verwendet.



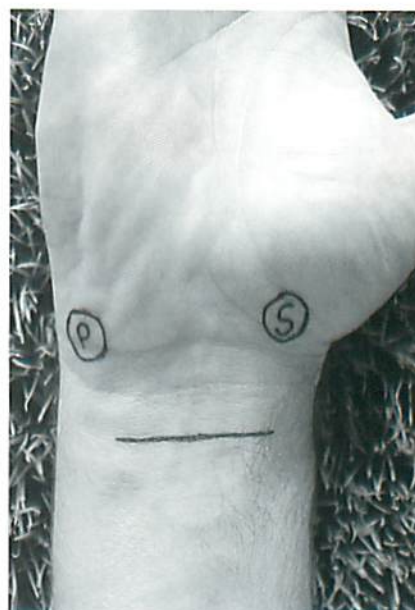
**Abb. 1** Distale Messung (Karpaltunneleingang): Breite und Höhe (weiß), Nervenquerschnittsfläche (grün).

**Fig. 1** Distal measurement (entrance of the carpal tunnel): width and height (white), cross-sectional area of the median nerve (green).



**Abb. 2** Proximale Messung (2 cm proximal der Raszetta): Nervenquerschnittsfläche (grün).

**Fig. 2** Proximal measurement (2 cm proximal to the palmar wrist crease): cross-sectional area of the median nerve (green).



**Abb. 3** Messlokalisationen.

**Fig. 3** Localization of the measurements.

**Tab. 1** Mittelwerte (MW) für die Breite und Höhe des Karpaltunnels (KT) und die Nervenquerschnittsfläche (NQF) des Nervus medianus im Gesamtkollektiv (Untersucher 1 + 2) und getrennt nach Untersucher (Untersucher 1 bzw. Untersucher 2) (n = 50).

	Untersucher 1 + 2			Untersucher 1			Untersucher 2		
	MW	Range	SD	MW	Range	SD	MW	Range	SD
KT-Breite (cm)	3,40	2,88 – 4,09	±0,32	3,43	2,89 – 4,12	±3,2	3,37	2,86 – 4,07	±3,3
KT-Höhe (cm)	1,19	0,95 – 1,60	±0,12	1,19	0,93 – 1,61	±1,2	1,18	0,90 – 1,58	±1,2
NQF distal (mm <sup>2</sup> )	8,75	6,2 – 13,8	±1,61	9,05	5,8 – 13,7	±1,87	8,43	6,3 – 14,2	±1,55
NQF proximal (mm <sup>2</sup> )	9,54	6,9 – 14,7	±1,67	9,68	6,8 – 17,4	±2,00	9,37	6,5 – 14,0	±1,71
Ratio NQF dist/prox	0,92	0,70 – 1,28	±0,11	0,93	6,7 – 1,48	±0,15	0,90	6,1 – 1,16	±0,13

### Statistische Analyse

Die Auswertung der Daten erfolgte mittels SPSS (Version 13.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Neben der univariaten deskriptiven Statistik erfolgte die Bestimmung der Inter- und Intraobserverreliabilität über den Cronbach's  $\alpha$ -Koeffizienten. Gemäß Konvention wurde der cut-off für ein akzeptables Reliabilitätsniveau bei  $>0,7$  gesetzt. Ein statistisches Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  wurde als signifikant gewertet.

### Ergebnisse

Das Probandenkollektiv bestand aus 12 Frauen (24 Handgelenke) und 13 Männern (26 Handgelenke) mit einem Durchschnittsalter von 37 Jahren. Das durchschnittliche Gewicht lag bei 70 kg, die durchschnittliche Körpergröße bei 176 cm. Der mittlere Body-Mass-Index (BMI) betrug 22,6.

### Mittelwerte – Karpaltunnel und N. medianus

Im Gesamtkollektiv der Probanden lagen weder für die Karpaltunneldimensionen noch die Messungen der Nervenquerschnittsflächen und deren Verhältniswert statistisch relevante Unterschiede vor. Dies bezog sich sowohl auf die Untersucher unabhängige als auch die abhängige Beurteilung (Tab. 1). Im Gegensatz dazu zeigte sich jedoch eine statistisch relevante Geschlechtsabhängigkeit der erfassten Werte für Breite und Höhe des Karpaltunnels ( $p < 0,0001$ ). Hiervon eingeschlossen

waren auch die Messungen der Nervenquerschnittsfläche am Karpaltunneleingang (distale Messung), die bei einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  ebenfalls statistische Relevanz aufwiesen ( $p = 0,03$ ). Keine Signifikanz bestand hingegen bei der Messung der proximalen Nervenquerschnittsfläche und der Ratio aus distaler und proximaler Nervenquerschnittsfläche (Tab. 2).

### Inter- und Intraobserverreliabilität

Die Interobserverreliabilität lag je nach Messlokalisation zwischen 0,754 und 0,940. Der höchste  $\alpha$ -Wert konnte für die Nervenquerschnittsmessung am Karpaltunneleingang ermittelt werden, der niedrigste für die proximale Referenz bzw. den Verhältniswert aus beiden Messungen (Tab. 3). Die Intraobserverreliabilität für die Nervenquerschnittsflächen lag bei beiden Untersuchern stets über 0,9 (Tab. 3).

Um eine eventuelle Lernkurve zu bestimmen, wurden die Patientengruppen 1–10, 11–20, 21–30, 31–40 und 41–50 zusätzlich hinsichtlich der Intraobserverreliabilität untersucht, ein Lerneffekt konnte dabei jedoch nicht ermittelt werden. Interessant im Hinblick auf die bei einem Karpaltunnelsyndrom zu erwartende prästenotische Aufweitung war aber die Tatsache, dass der N. medianus bei allen gesunden Probanden am Karpaltunneleingang eine geringere Nervenquerschnittsfläche als auf Höhe der 2 cm proximal der Raszetta definierten Referenz aufwies.

**Tab. 2** Mittelwerte (MW) für die Breite und Höhe des Karpaltunnels (KT) und die Nervenquerschnittsfläche (NQF) des Nervus medianus nach Geschlecht (n = 26 männliche Handgelenke [m]/24 weibliche Handgelenke [w]).

	Männer (n = 26)			Frauen (n = 24)			p (m/w)
	MW	Range	SD	MW	Range	SD	
KT-Breite (cm)	3,62	3,09 – 4,09	± 0,26	3,16	2,88 – 3,40	± 0,15	<0,0001
KT-Höhe (cm)	1,26	1,04 – 1,60	± 0,10	1,11	0,95 – 1,32	± 0,09	<0,0001
NQF distal (mm <sup>2</sup> )	9,21	6,8 – 13,8	± 1,73	8,23	6,2 – 10,9	± 1,33	0,03
NQF proximal (mm <sup>2</sup> )	9,78	7,7 – 14,7	± 1,78	9,25	6,9 – 13,1	± 1,53	0,26
Ratio NQF dist/prox	0,94	8,1 – 1,10	± 0,77	0,90	7,0 – 1,28	± 0,13	0,15

**Tab. 3** Inter- und Intraobserverreliabilität (Cronbach's  $\alpha$ ) für die Breite und Höhe des Karpaltunnels (KT) und die Nervenquerschnittsfläche (NQF) des Nervus medianus (n = 50).

	Interobserverreliabilität	Intraobserverreliabilität	
		Untersucher 1	Untersucher 2
KT-Breite	0,940		
KT-Höhe	0,835		
NQF distal	0,873	0,996	0,944
NQF proximal	0,754	0,981	0,924
Ratio NQF dist/prox	0,366		

## Schlussfolgerungen

Ziel der vorliegenden Validierungsstudie war es, die Intra- und Interobserverreliabilität der Sonografie am Karpaltunnel für 2 definierte Messpunkte der Nervendicke des N. medianus an gesunden Probanden zu bestimmen und diese im Vorfeld einer patientenbezogenen Untersuchung miteinander zu vergleichen. Der Referenzwert wurde dabei 2 cm proximal der Raszetta gewählt, da die kompressionsbedingte Schwellung des Nervs auf dieser Höhe noch nicht vorhanden und der N. medianus hier durch seine oberflächliche Lage im Vergleich zu proximal gelegenen Lokalisationen der Untersuchung sehr gut zugänglich ist.

Die Nervenquerschnittsfläche wurde durch kontinuierliches Umfahren des Nervs (direct tracing) ermittelt. Obwohl kein statistisch relevanter Unterschied zwischen direkter und indirekter Erfassung der Nervenquerschnittsfläche gezeigt werden konnte [10], nimmt der N. medianus gerade bei der proximalen Messung oft andere, häufig auch u-förmige Querschnittsflächen an; eine indirekte Messung könnte hier zu Verfälschungen führen. Gemäß den Voruntersuchungen von Wong et al. [14] erfolgte die Querschnittsmessung unter Ausschluss der echogenen Randzone des Nervs. Wong et al. propagierten diese Vorgehensweise zum einen wegen der besseren Abgrenzbarkeit der hypoechoenen Zone der Nervenfaszikel zum hyperechogenen Perineurium als des hyperechogenen Perineuriums vom echogenen perineuralen Fettgewebe, zum anderen scheinen beim Karpaltunnelsyndrom eher die Nervenfaszikel einer Schwellung zu unterliegen als das Perineurium. Das Perineurium wird dabei schlechter beurteilbar, was wahrscheinlich ein Resultat der intrinsischen Kompression ist. Somit scheint die isolierte Messung der faszikulären Nervenquerschnittsfläche im Vergleich zur Messung des gesamten Nervs (inklusive des Perineuriums) potenziell eine bessere Unterscheidung zu gewährleisten [14].

Aussagen über die Reproduzierbarkeit des Ultraschalls im Hinblick auf die Diagnostik des Karpaltunnelsyndroms als auch Empfehlungen zu definierten Messlokalisationen sind rar. In einer Serie von 120 Patienten konnte zwar die Interobserverreliabilität der Ultraschalluntersuchungen von Patienten mit

Karpaltunnelsyndrom ermittelt werden, die Daten beschränken sich jedoch auf eine Stichprobe von lediglich 8 Patienten [13]. Duncan et al. berichteten über eine gute Reproduzierbarkeit der Messungen, eine Aussage über deren Bestimmung ist jedoch nicht zu finden [10]. Auch Nakamichi und Tachibana beschreiben eine gute Intraobserverreliabilität, die Interobserverreliabilität wurde von den Autoren jedoch außer Acht gelassen [26].

Unsere Studie kann bei einem Kollektiv von 50 gesunden Probanden eine sehr gute Reproduzierbarkeit der beiden vordefinierten Messlokalisationen nachweisen. Die Interpretation der Reliabilitätskoeffizienten zeigt dabei, dass der  $\alpha$ -Wert für die Messung der Karpaltunnelhöhe im Vergleich zur dem der Karpaltunnelbreite leichtgradig geringer ausfällt. Dies führen wir einerseits auf die begrenzte Eindringtiefe des 17-MHz-Schallkopfs zurück, andererseits auf die Tatsache, dass die Abbildung des Os lunatum durch die Mobilität der proximalen Handwurzelreihe bereits durch leichte Veränderungen der Handgelenksstellung abweichen kann. Mit einem  $\alpha$ -Koeffizienten von 0,754 hat die proximale Messung der Nervenquerschnittsfläche die geringste Interobserverreliabilität. Als Grund hierfür müssen die fehlenden knöchernen Fixpunkte in Kombination mit einer nach proximal zunehmend ungenauen Abgrenzbarkeit des N. medianus zur Umgebung gewertet werden.

Als wichtigstes diagnostisches Kriterium für weitere Untersuchungen hat sich die Tatsache herausgestellt, dass der N. medianus bei gesunden Probanden proximal eine dickere Nervenquerschnittsfläche aufweist als distal am Karpaltunneleingang. Im Hinblick auf eine beim KTS erwartete prästenotische Schwellung am Karpaltunneleingang könnte sich damit eine wichtige diagnostische Eigenschaft im Sinne einer umgekehrten Proportionalität des Verhältnisses distaler zu proximaler Nervendicke ergeben. Unsere Ergebnisse zeigen darüber hinaus, dass bei der Messung der Nervenquerschnittsfläche am Karpaltunneleingang statistisch signifikante Geschlechtsunterschiede vorliegen, die eine geschlechtsunabhängige Anwendung von cut-off values auf dieser Höhe infrage stellen. Auch diese Erkenntnis spricht für die Anwendung eines gleichseitigen Verhältniswerts, der nicht durch das Geschlecht beeinträchtigt zu sein scheint. Inwieweit die erfasste Höhe und

Breite des Karpaltunnels und deren Relation zur Nervendicke bei der Ausschlussdiagnostik eine Rolle spielen, bleibt derzeit noch unklar und muss in patientenbezogenen Studien untersucht werden.

## Literatur

- 1 Bianchi S, Martinolli C, Abdelwahab IF. High-frequency ultrasound examination of the wrist and hand. *Skeletal Radiol* 1999; 28: 121–129
- 2 Rempel D, Dahlin L, Lundborg G. Pathophysiology of nerve compression syndromes: response of peripheral nerves to loading. *J Bone Joint Surg Am* 1999; 81: 1600–1610
- 3 Wee AS, Abernathy SD. Carpal tunnel syndrome: comparison of the median sensory nerve conduction findings from the index and middle fingers. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2003; 43: 251–253
- 4 El-Karabaty H, Hetzel A, Galla TJ et al. The effect of carpal tunnel release on median nerve flattening and nerve conduction. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2005; 45: 223–227
- 5 Buchberger W, Judmaier W, Birbamer G et al. Carpal tunnel syndrome: diagnosis with high-resolution sonography. *Am J Roentgenol* 1992; 159: 793–799
- 6 Buchberger W, Schon G, Strasser K et al. High-resolution ultrasonography of the carpal tunnel. *J Ultrasound Med* 1991; 10: 531–537
- 7 Keberle M, Jenett M, Kenn W et al. Technical advances in ultrasound and MR imaging of carpal tunnel syndrome. *Eur Radiol* 2000; 10: 1043–1050
- 8 Lee D, van Holsbeek MT, Janevski PK et al. Diagnosis of carpal tunnel syndrome: ultrasound versus electromyography. *Radiol Clin North Am* 1999; 37: 859–872
- 9 Sarria L, Cabada T, Cozcolluela R et al. Carpal tunnel syndrome: usefulness of sonography (review). *Eur Radiol* 2000; 10: 1920–1925
- 10 Duncan I, Sullivan P, Lomas F. Sonography in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Am J Roentgenol* 1999; 173: 681–684
- 11 Kwon BC, Jung KI, Baek GH. Comparison of sonography and electrodiagnostic testing in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg* 2008; 33: 65–71
- 12 Wiesler ER, Chloros GD, Cartwright MS et al. The use of diagnostic ultrasound in carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg* 2006; 31: 726–732
- 13 Wong SM, Griffith JF, Hui AC et al. Carpal tunnel syndrome: diagnostic usefulness of sonography. *Radiology* 2004; 232: 93–99
- 14 Wong SM, Griffith JF, Hui AC et al. Discriminatory sonographic criteria for the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *Arthritis Rheum* 2002; 46: 1914–1921
- 15 Ziswiler HR, Reichenbach S, Vögelin E et al. Diagnostic Value of Sonography in Patients With Suspected Carpal Tunnel Syndrome. A Prospective Study. *Arthritis & Rheumatism* 2005; 52: 304–311
- 16 Atroshi I, Gummesson C, Johnsson R et al. Diagnostic properties of nerve conduction tests in population-based carpal tunnel syndrome. *BMC Musculoskelet Disord* 2003; 4: 9
- 17 Swen WA, Jacobs JW, Bussemaker FE et al. Carpal tunnel sonography by the rheumatologist versus nerve conduction study by the neurologist. *J Rheumatol* 2001; 28: 62–69
- 18 Nakamichi K, Tachibana S. Ultrasonographic measurement of median nerve cross-sectional area in idiopathic carpal tunnel syndrome: diagnostic accuracy. *Muscle Nerve* 2002; 26: 798–803
- 19 Leonard L, Rangan A, Doyle G et al. Carpal tunnel syndrome: is high-frequency ultrasound a useful diagnostic tool? *J Hand Surg* 2003; 28: 77–79
- 20 Keles I, Kendi ATK, Aydin G et al. Diagnostic Precision of Ultrasonography in Patients with Carpal Tunnel Syndrome. *Am J Phys Med Rehabil* 2005; 84: 443–450
- 21 Koyuncuoglu HR, Kutluhan S, Yesildag A et al. The value of ultrasonographic measurement in carpal tunnel syndrome in patients with negative electrodiagnostic tests. *Eur J Radiol* 2005; 56: 365–369
- 22 El Miedany YM, Aty SA, Ashour S. Ultrasonography versus nerve conduction study in patients with carpal tunnel syndrome: substantive or complementary tests? *Rheumatology* 2004; 43: 887–895
- 23 Kele H, Verheggen R, Bittermann HJ et al. The potential value of ultrasonography in the evaluation of carpal tunnel syndrome. *Neurology* 2003; 61: 389–391
- 24 Bayrak IK, Bayrak AO, Tilki HE et al. Ultrasonography in carpal tunnel syndrome: comparison with electrophysiological stage and motor unit number estimate. *Muscle Nerve* 2007; 35: 344–348
- 25 Kuo MH, Leong CP, Cheng YF et al. Static wrist position associated with least median nerve compression: sonographic evaluation. *Am J Phys Med Rehabil* 2001; 80: 256–260
- 26 Nakamichi KI, Tachibana S. Enlarged median nerve in idiopathic carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve* 2000; 23: 1713–1718