

Kerstin Hengstmann<sup>1</sup>, Uwe Klapper<sup>1</sup>

# Hallux rigidus

## *Hallux rigidus*

**Zusammenfassung:** Nach dem Hallux valgus ist der Hallux rigidus eine der häufigsten Erkrankungen des Großzehengrundgelenks und die häufigste Arthrose des Fußes, die zuletzt in der fortgeschrittenen Arthrose des Großzehengrundgelenks endet. Die zur Erkrankung führenden Ursachen sind zum jetzigen Zeitpunkt nicht geklärt, es werden jedoch verschiedene prädisponierende Faktoren diskutiert. Die klinische Symptomatik präsentiert sich in Abhängigkeit von dem vorliegenden Stadium als lokaler Schmerz, Bewegungseinschränkung, Schuhkonflikt und zuletzt kompletter Einsteifung des Gelenks. In der Therapie kommen gelenkerhaltende ebenso wie das Gelenk opfernde Verfahren zur Anwendung, welche unter Bezug sowohl auf das Krankheitsstadium als aber auch auf individuelle Patientenfaktoren sorgfältig ausgewählt werden müssen.

**Schlüsselwörter:** Großzehengrundgelenk, Arthrose, Bewegungseinschränkung, Osteophyten, Arthrodesis

### Zitierweise

Hengstmann K, Klapper U: Hallux rigidus. OUP 2016; 12: 674–678 DOI 10.3238/oup.2016.0674–0678

**Summary:** Hallux rigidus is one of the most common diseases of the first metatarsophalangeal joint and the most common arthritis of the foot that recently ends in severe osteoarthritis of the joint. The cause of the hallux rigidus is still not determined, although several predisposing factors have been cited. Depending on the degree of degeneration different symptoms can be found such as local pain, limitation of movement, shoe conflict and finally complete stiffness of the joint can occur. Surgical treatment can basically be joint preserving or joint sacrificing depending on the progress of the degenerative process. The decision making is based on the grade of osteoarthritis, joint mobility and individual aspects of each patient. A very precise clarification has to be done referring to patient's needs and expectations.

**Keywords:** first metatarsophalangeal joint, arthritis, limitation of movement, osteophytes, arthrodesis

### Citation

Hengstmann K, Klapper U: Hallux rigidus. OUP 2016; 12: 674–678 DOI 10.3238/oup.2016.0674–0678

## Einleitung

Die schmerzhafte Bewegungseinschränkung des Großzehengrundgelenks sowie die sich im weiteren Verlauf entwickelnde Arthrose des Gelenks werden als Hallux rigidus beschrieben.

Initial besteht zunächst eine Einschränkung der Dorsalextension, im weiteren Verlauf kommt es zur Knorpeldegeneration mit begleitender Synovialitis, die zur Bildung osteophytärer Randanbauten vor allem in den Zonen der Überlastung führt.

Neben der Einschränkung der Beweglichkeit – insbesondere der Dorsalextension – beklagen die Patienten auch die mit ausgeprägtem Schuhkonflikt einhergehenden dorsal gelegenen Osteophyten.

Cotterill [1] stellte 1888 erstmalig das Krankheitsbild dar und vermutete, dass Infektionen sowie rheumatoide Arthritis als Hauptursache angesehen werden

müssten. Bereits 1887 wurde unter dem Begriff des „Hallux flexus“ eine plantarflektierte Position der Grundphalanx im Verhältnis zum Metatarsale-I-Kopf von Davies-Colley [2] beschrieben.

Andere Begriffe wie Hallux limitus, dorsal bunion, Hallux dolorosus und Hallux malleolus finden sich in der Literatur wieder [3].

## Epidemiologie

Der Hallux rigidus tritt bei 2,5 % der über 50-Jährigen auf und ist hiermit die häufigste Arthrose des Fußes [5, 6]. Die Erkrankung betrifft häufiger das weibliche Geschlecht mit einem Verhältnis von 1,5–2:1 gegenüber der männlichen Bevölkerung [7, 8], wobei der Altersgipfel bei den 30- bis 50-Jährigen liegt [8]. Des Weiteren kann die Erkrankung jedoch auch bereits beim Jugendlichen auftreten und zeigt sich radiologisch re-

gelmäßig in einer Entrundung des Metatarsale-I-Kopfs [7]. Ursächlich kann eine Osteochondrosis dissecans des Metatarsale-I-Kopfs oder auch sportliche Überlastungen im Sinne einer „turf toe“ sein. Ein bilaterales Auftreten der Erkrankung wurde von Gould [9] und Nilsonne [10] angenommen, wobei jedoch in Studien, welche den postoperativen Verlauf nach Hallux rigidus untersuchten, überwiegend eine einseitige Ausprägung beschrieben wird.

Insbesondere bei der juvenilen Form wurde häufig eine positive Familienanamnese gefunden [11].

## Einteilung

Unter der Berücksichtigung sowohl der klinischen Symptomatik als auch des radiologischen Befunds hat sich in Europa die Einteilung nach Regnaud etabliert (Tab. 1).

<sup>1</sup> Klinikum Westfalen, Dortmund

Grad	Klinische Symptomatik	Bewegungsausmaß	Röntgenbild
1	Mäßige Schmerzen	Dorsalextension reduziert, Plantarflexion frei	Knochenverdichtung gelenknah, minimale Verschmälerung des Gelenkspalts mit Verlust der Konvexität, minimale Vergrößerung der Sesambeine
2	Intermittierender Ruheschmerz	Dorsalextension stark eingeschränkt, Plantarflexion gering eingeschränkt	Verschmälerung des Gelenkspalts mit abgeflachter Konfiguration, Bildung paraartikulärer Osteophyten, subchondrale Sklerosierung, irreguläre Hypertrophie der Sesambeine
3	Zunehmende Schmerzen auch bei Bewegung	Schwere Bewegungseinschränkung bis hin zur Ankylose	Komplette Einschränkung des Gelenkspalts, Hypertrophie des gelenknahen Knochens und Ausbildung überbrückender Osteophyten, Osteophyten der Sesambeine

**Tabelle 1** Stadieneinteilung nach Regnaud (nach [4])

## Ätiologie

Bis heute sind die Ursachen, die zu einem Hallux rigidus führen, nicht sicher geklärt. Verschiedene prädisponierende Faktoren werden diskutiert. Unter ihnen führend ist die traumatische Schädigung des Gelenks, welche sowohl als Einzeltrauma mit intraartikulärer Fraktur, ligamentärer oder osteochondraler Läsion, aber auch als repetitives Mikrotrauma auftreten kann.

Beispielhaft ist hier die Turf-toe-Verletzung. Der zugrunde liegende Unfallmechanismus ist eine axiale Lasteinwirkung auf den im Sprunggelenk in Spitzfußstellung fixierten Fuß. Hierdurch kommt es zu einer Hyperextension im Großzehengrundgelenk mit in Abhängigkeit von der Lastaufnahme entstehenden Verletzungen des plantaren Kapsel-Band-Apparats (plantare Platte, Sehne des Flexor hallucis brevis), aber auch ossären Läsionen. Die Verletzung tritt gehäuft bei auf synthetischem Untergrund (Kunstrasen, Tartanboden) ausgeführten Sportarten (z.B. American Football) auf.

Aber auch Sportarten, die mit einer repetitiven Belastung des Großzehengrundgelenks einhergehen (Stop-and-go-Sportarten, Balletttanz) sowie berufliche Tätigkeiten, die eine dauerhafte Dorsalextension im Großzehengrundgelenk erfordern (Dachdecker, Fliesenleger), werden als prädisponierend angesehen [12].

Neben den genannten äußerlich einwirkenden Faktoren werden anlagebedingte Faktoren wie der Metatarsus

primus elevatus, der Pes planovalgus, der Vorfußvarus und der Spitzfuß als prädisponierende Faktoren angesehen [12]. Diese führen zu einer exzessiven Pronation während der Standphase des Gangzyklus.

Anlagebedingte Formvarianten des Metatarsale-I-Kopfs mit Abflachung desselben zeigen ein signifikant häufigeres Auftreten bei Patienten mit einer Arthrose des Gelenks [13]. Eine überhöhte Belastung des Gelenks bei Patienten mit einer relativen Überlänge des 1. Zehs oder des 1. Metatarsale wird ebenfalls diskutiert.

## Symptomatik und klinische Befunde

Initial ist der Hallux rigidus charakterisiert durch Schmerzen über dem Großzehengrundgelenk, welche unter längerer Belastung zunehmen und dann auch gehäuft mit einer Schwellung bei Ergussbildung einhergehen. Bedingt durch die Synovialitis des MTP-I-Gelenks sind zuletzt die Beschwerden auch über die Belastungsphase hinaus vorhanden.

Bei Fortschreiten des Prozesses entstehen die osteophytären Randanbauten mit Maximalausdehnung auf der Dorsalseite des Metatarsale-I-Kopfs, wo sie gelegentlich als dorsaler Kranz palpieren werden können. In engem oder rigidem Schuhwerk führen diese Osteophyten zusätzlich zu Bewegungsschmerzen, einer lokalen Druckproblematik mit Schwielenbildung und einer Entzündungssymptomatik der Weichteile.



**Abbildung 1** Geröllzysten, Gelenkspaltverschmälerung, subchondrale Sklerose



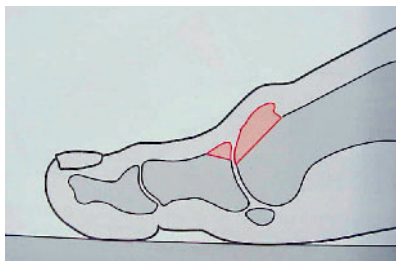
**Abbildung 2** Dorsale Osteophyten im seitlichen Röntgenbild



**Abbildung 3** Ausgeprägter dorsaler Osteophyt



**Abbildung 4** Fortgeschrittene Arthrose mit aufgehobenem Gelenkspalt



**Abbildung 5** Cheilektomie



**Abbildung 6** Cheilektomie

Die durch die eingeschränkte Dorsal-extension hervorgerufenen Schmerzen in der Abstoßphase des Fußes führen zu einer Abwicklung desselben über den lateralen Fußrand. Hierdurch können Transfermetatarsalgien der benachbarten Zehenstrahlen, aber auch Ermüdungsfrakturen der Metatarsalia hervorgerufen werden. Im klinischen Bild findet dies in der Vermehrung der plantaren Beschwiellung über den nachgeordneten Metatarsaleköpfen seinen Ausdruck. Ebenso kann gegebenenfalls eine Hyperkeratose unter dem IP-Gelenk entstehen durch die hier durchgeführte Kompensation der eingeschränkten Beweglichkeit des MTP-I-Gelenks.

## Radiologische Befunde

Zur Standardbildgebung gehören die a.-p.-Aufnahme des Fußes im Stand, die streng seitliche Aufnahme im Stand sowie die Schrägaufnahme. Ergänzend kann eine Tangentialaufnahme des Vorfußes Auskunft über eine bereits vorliegende Sesambeinarthrose geben. Beurteilt werden:

- Gelenkspaltverschmälerung (Abb. 1)
- subchondrale Sklerose (Abb. 1)
- Geröllzysten (Abb. 1)
- osteophytäre Anbauten (Abb. 2–4)
- freie Gelenkkörper
- Gelenkdestruktion
- osteochondrale Läsionen
- Längenverhältnisse der Metatarsalia
- Längsachse des MFK I in Relation zu der des MFK II (Metatarsus primus elevatus)

Im frühen Stadium des Hallux rigidus zeigen sich im Röntgenbild nur geringförmige Veränderungen wie eine diskrete Verschmälerung des Gelenkspalts oder kleinere dorsale Exostosen (Abb. 2). Im fortgeschrittenen Stadium dominieren dann die Gelenkdestruktion und ausgeprägte Osteophytenbildungen (Abb. 3). Der Gelenkspalt stellt sich nahezu aufgehoben dar (Abb. 4).

Weitergehende Untersuchungen wie z.B. eine MRT-Diagnostik zur Beurteilung des Knorpelüberzugs sollte ausgewählten Fällen, beispielsweise bei angenommener osteochondraler Läsion des Metatarsale-I-Kopfs, vorbehalten werden.

## Therapie

### Konservativ

Das konservative Therapieregime des Hallux rigidus hängt von den Symptomen des Patienten und dem Fortschritt des degenerativen Prozesses ab. Somit kommt es gehäuft in den Frühstadien der Erkrankung zur Anwendung oder aber bei Kontraindikationen gegen eine operative Therapie.

Krankengymnastische Bewegungsübungen im Sinne einer Traktion mit axialem Zug an der Zehe erbringen einen positiven therapeutischen Effekt. Unterstützend kommen physikalische Maßnahmen, Kälteanwendungen, Iontophorese, Reizstrom und Hochfrequenzstrom zur Anwendung.

Eine supportive medikamentöse Therapie mit NSAR oder auch Coxiben kann in den frühen Stadien mit Synovialitis eine Verminderung der entzündungsbedingten Schmerzen bewirken. Eine intraartikuläre Injektion mit einer Cortison-Lokalanästhetika-Mischung kann kurzfristig einen Rückgang der Symptome bewirken, zeigt aber keinen dauerhaften Effekt, sondern kann im Gegenteil den degenerativen Prozess bei wiederholter Anwendung beschleunigen. Der Effekt einer intraartikulären Hyaluronsäuretherapie ist aktuell noch unzureichend untersucht.

Orthopädieschuhtechnische Maßnahmen finden sowohl als Einlagenversorgung als auch als Schuhzurichtung Anwendung. Ziel ist hier jeweils die Verringerung des Bewegungsausmaßes des Großzehengrundgelenks sowie die externe Stabilisierung desselben durch Einarbeitung rigider Elemente. Besonders häufig ist hier die Hallux-rigidus-Rolle: Dies sind langsohlige Einlagen, welche retrokapital quer entlasten und die Zehe in der Stellung einbetten, welche am wenigsten schmerzhaft ist. Ergänzend kann durch Einarbeitung einer Ballenrolle der eingeschränkte Abrollvorgang wieder egalisiert werden.

Orthesen, welche die Zehenbeweglichkeit einschränken, werden häufig nicht gut toleriert, da die Raumbefreiheit in der Zehenkappe eingeschränkt wird und es zu Druckdolenzen unter dem Oberleder in Höhe der Osteophyten kommen kann.

### Operativ

Grundsätzlich muss zwischen gelenkerhaltenden und gelenkresezierenden Verfahren unterschieden werden, welche in Abhängigkeit vom Stadium der Erkrankung zur Anwendung kommen. Hierbei sollte in den Stadien I und II den gelenkerhaltenden Verfahren der Vorzug gegeben werden.

### Arthroskopie

Die arthroskopischen Möglichkeiten begrenzen sich auf die Synovektomie, die Entfernung freier Gelenkkörper und die Beurteilung des Knorpelbelags. Sie sollte daher nur von einem erfahrenen Operateur im Stadium I der Erkrankung durchgeführt werden.

### Cheilektomie

Die dorsale Cheilektomie bezeichnet die Resektion des dorsalen Drittels des Metatarsale-I-Kopfs mitsamt den gelenknahen Osteophyten (Abb. 5, 6). Auch die knöchernen Anbauten im Bereich der Basis der Grundphalanx müssen mit reseziert werden. Ergänzend erfolgt wie bei allen gelenkerhaltenden Verfahren die Arthrolyse des MTP-I-Gelenks. Dieses auch als „clean-up arthroplasty“ bezeichnete Verfahren wurde erstmalig 1959 von Du Vries beschrieben [14].

Die intraoperativ erzielte Verbesserung der Beweglichkeit wird noch während der Operation mit einer Zügelung in maximaler Dorsalextension gehalten. Essenziell für den Erfolg der Methode ist die eigenständige, intensive und nahtlose Beübung des Gelenks durch den Patienten selbst. Ohne stattgehabte Osteotomie ist eine sofortige Vollbelastung und Frühmobilisation erlaubt.

Über ein späteres Fortschreiten der Erkrankung muss der Patient aufgeklärt werden.

### Kessel-Bonney-/Moberg-Osteotomie

Dieses Verfahren wurde erstmalig von Bonney und McNab 1952 beschrieben [15] und zweimalig von Moberg 1979 [16], weswegen beide Termini zur Anwendung kommen.

Prinzip ist die Entnahme eines dorsalbasigen Keils aus der Grundphalanx, einer Closing-wedge-Osteotomie entsprechend. Als Osteosynthese wird eine Fadencerclage empfohlen. Eine Kombination mit einer Cheilektomie ist sinnvoll, um eine zusätzliche Erweiterung des Bewegungsumfanges zu erzielen [17].

Im Gegensatz zur alleinigen Cheilektomie sind nach der Osteotomie keine sofortigen Bewegungsübungen möglich, da erst die knöcherne Konsolidierung abgewartet werden muss. Daher wird als Nachteil der Operation eine postoperative Gelenkeinstellung angeführt, wobei bei Anwendern eine Zufriedenheit ihrer Patienten von 82 % aufgezeigt wurde [18].

### Watermann-Osteotomie

Es handelt sich um eine dorsalbasige Keilentnahme aus der Region des Metatarsalehalses. Ziel ist die Aufrichtung der

Gelenkfläche und somit Verbesserung der Dorsalextension und das Einschwenken des erhaltenen plantaren Knorpelbelags in das Gelenk [19]. Bei zu weit distal gelegener Osteotomie besteht das Risiko einer Nekrose des Metatarsale-I-Kopfs.

Eine Modifikation dieser Technik stellt die Operation nach Green-Watermann dar, bei welcher eine subkapitale Verkürzungsosteotomie zur Anwendung kommt. Wird diese „chevronartig“ unter Entnahme einer dorsalen Knochenscheibe vorgenommen, entspricht sie der Youngswick-Austin-Osteotomie (Abb. 1, 2).

### Resektionsarthroplastik nach Keller-Brandes

Aufgrund der ungünstigen Langzeitverläufe mit Instabilität und sekundärer Achsabweichung sollte dieses Verfahren nur noch beim älteren, inaktiven Patienten zur Anwendung kommen.

### MTP-I-Arthrodesese

Die Versteifung des Großzehengrundgelenks ist im Stadium 3 nach Regnaud indiziert und hier der Goldstandard. Sie kann auch als Revisionseingriff bei Rezidiv nach den oben genannten Verfahren zur Anwendung kommen.

Das Alignment der Zehe ist essenziell für das postoperative Ergebnis, ebenso wie die stabile Fixation, die zu einer sicheren Durchbauung führt. Hierbei erzielen kleine, winkelstabile Platten in Kombination mit einer Kompressionschraube die höchste Stabilität [20, 21].

Bei der Einstellung der Zehe wird eine 5–20°-Valgusstellung in Abhängigkeit von der Position der 2. Zehe sowie eine Dorsalextensionsstellung von 10–15° in Relation zur Belastungsebene des Fußes angestrebt (Abb. 2, 3). Die Großzehenbeere soll beim Aufstellen des Fußes über eine Flexion im IP-Gelenk den Boden problemlos erreichen können.

Bei ausreichend hoher Primärstabilität kann postoperativ im Verbandsschuh die Vollbelastung freigegeben werden.

In der Ganganalyse zeigen sich nach stattgehabter Arthrodesese eine deutlich verbesserte Plantarflexion des Fußes in der Zehenabstoßphase sowie eine Verlängerung der Unterstützungsphase bei jedoch verringerter Schrittlänge [22].



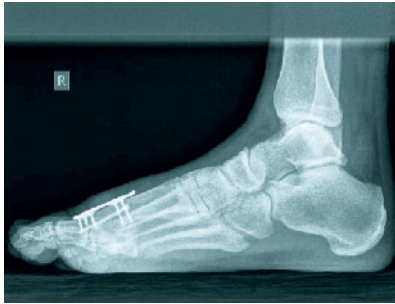
**Abbildung 7** Röntgen seitlich und a.-p. vor Youngswick-Osteotomie



**Abbildung 8** Röntgen seitlich und a.-p. nach Youngswick-Osteotomie

### Endoprothese des MTP-I-Gelenks

Im Gegensatz zur Prothetik der großen Gelenke wird der Ersatz des Großzehengrundgelenks weiterhin kontrovers disku-



**Abbildung 10** Röntgen a.-p.  
MTP-I-Arthrodesese



**Abbildung 9** Röntgen seitlich  
MTP-I-Arthrodesese

tiert. Bislang konnte sich trotz einer Vielzahl an Prothesentypen noch keines als überlegen darstellen. Zu fordern ist eine ausreichende Primärstabilität, eine anatomisch adaptierte Form der Prothesenkomponenten und ein modulares Design [23].

Eine Indikation zum Gelenkersatz besteht im Stadium 2 des Hallux rigidus, weil hier noch eine ausreichende Beweglichkeit des Gelenks vorhanden ist und somit auch eine zufriedenstellende postoperative Funktion erzielt werden kann.

Aufgrund der hohen Kosten und gleichsam hohen Revisionsraten bleiben die Endoprothesen weiterhin im Vergleich zu den Arthrodesen im Ergebnis zurück [23].

### Fazit

Der Hallux rigidus stellt ein häufiges Problem dar. Bereits junge und häufig sportlich Aktive sind davon betroffen und suchen deshalb schon früh einen Arzt auf.

Durch die exakte klinische Untersuchung und ergänzende radiologische Diagnostik kann die Erkrankung eindeutig und schnell diagnostiziert wer-

den. Stadienabhängig stehen verschiedene gelenkerhaltende Verfahren zur Behandlung zur Verfügung. Die Indikationsstellung muss das Ausmaß der Degeneration, die Funktion des Gelenks und die Erwartungen des Patienten berücksichtigen und erfordert deshalb eine detaillierte präoperative Absprache zwischen Operateur und Patient.

Im Endstadium, der fortgeschrittener Arthrose, kann nur noch die Arthrodesese, also die Versteifung, empfohlen werden. Die Prothesenversorgung hat bisher nicht die gewünschten Ergebnisse erzielen können. Eine Resektionsarthroplastik ist langfristig der Arthrodesese unterlegen. OUP

**Interessenkonflikt:** keine angegeben

#### Korrespondenzadresse

Dr. med. Uwe Klapper  
Chefarzt der Abteilung Orthopädie und  
Spezielle Orthopädische Chirurgie  
Klinikum Westfalen GmbH  
Am Knappschafts Krankenhaus 1  
44309 Dortmund  
uwe.klapper@klinikum-westfalen.de

### Literatur

- Cotterill J: Stiffness of the great toe in adolescents. *BMJ* 1888; 1: 1158
- Davies-Colley N: On contraction of the metatarsophalangeal joint of the great toe (hallux flexus). *Trans Clin Soc Lond* 1887; 20: 165–171
- Kelikian H: Hallux valgus allied deformities of the forefoot and metatarsalgia. Philadelphia: WB Saunders, 1997: 262–281
- Graady I, Axe TM, Zager EJ, Sheldon LA: A retrospective analysis of 772 patients with hallux limitus. *J Am Podiatr Med Assoc* 2002; 92: 102–108
- Deland JT, Williams BR: Surgical management of hallux rigidus. *J Am Acad Orthop Surg* 2012; 20(6): 347–358
- Gould N, Schneider W, Ashikaga T: Epidemiological survey of foot problems in the continental United States: 1978–1979. *Foot Ankle* 1980; 1(1): 8–10
- Dereymaeker G: Die operative Therapie des Hallux valgus. *Orthopäde* 2005; 34: 742
- Fuhrmann RA, Liepold K, Venbrocks RA: Hallux rigidus. Die Arthrose des Großzehengrundgelenks. *Ärztbl Thuring* 2004; 15(8): 395–398
- Gould N: Hallux rigidus: Cheilotomy or implant? *Foot Ankle* 1981; 1(6): 315–320
- Nilsonne H: Hallux rigidus and its treatment. *Acta Orthop Scand* 1930; 1: 295–303
- Bonney G, Macnab I: Hallux valgus and hallux rigidus; a critical survey of operative results. *J Bone Joint Surg Br* 1952; 34(3): 366–385
- Mooney J, Campbell R: Adult foot disorders. In: Frowen P, O'Donnel M, Lorimer D, Burrow G (eds): *Neales disorders of the foot*. 8. ed. Edinburgh, London, New York: Churchill Livingstone, 2010: 81–144
- Stein G, Pawel A, Koebe J, Müller LP, Eysel P, Thelen U, Dargel J et al.: Morphology of the first metatarsal head and hallux rigidus: a cadaveric study. *Surg Radiol Anat* (2012); 34: 589–592
- Du Vries HL: Hallux rigidus. In: Du Vries HL (ed.): *Surgery of the foot*. St. Louis: Mosby, 1959: 341–440
- Bonney G, McNab I: Hallux valgus and hallux rigidus. *J Bone Joint Surg Br* 1952; 34: 366–85
- Moberg E: A simple operation for hallux rigidus. *Clin Orthop* 1979; 142: 55–6
- Wingefeld C, Abbara-Czardybon M, Arabab D, Frank D: Die Cheilektomie und Operation nach Kessel-Bonney zur Behandlung des initialen Hallux rigidus. *Oper Orthop Traumatol* 2008; 20(6): 484–91
- Wingefeld C, Abbara-Czardybon M, Frank D: Gelenkerhaltende Therapie des Hallux rigidus. *Fuß Sprunggelenk* 2011; 9: 13–20
- Watermann H: Die Arthritis deformans des Großzehengrundgelenks als selbstständiges Krankheitsbild. *Z Orthop Chir* 1927; 48: 346–355
- Faraj AA, Naraen A, Twigg P: A comparative study of wire fixation and screw fixation in arthrodesis for the correction of hallux rigidus using an in vitro biomechanical model. *Foot Ankle Int* 2007; 28: 89–91
- Politi J, John H, Njus G, Bennett GL, Kay DB: First metatarsophalangeal joint arthrodesis: a biomechanical assessment of stability. *Foot Ankle Int* 2003; 24: 332–337
- Brodsky JW, Baum BS, Pollo FE, Mehtha H: Prospective gait analysis in patients with first metatarsophalangeal joint arthrodesis for hallux rigidus. *Foot Ankle Int* 2007; 28: 162–165
- Fuhrmann RA: Hallux rigidus – Arthrodesese vs. Endoprothese. *Trauma Berufskrankh* 2010; 12: 119–124