

Diplomarbeit

LANGZEITERGEBNISSE NACH OPERATIVER
KORREKTUR EINES HALLUX VALGUS IM
KINDES- UND JUGENDALTER

*EINE RETROSPEKTIVE DATENANALYSE UND KLINISCH-
RADIOLOGISCHE NACHUNTERSUCHUNG*

eingereicht von:

Johannes Kaltenbach

Geburtsdatum: 13.07.1984

Wissenschaftliche Arbeit zur Erlangung des akademischen Grades:

Doktor der gesamten Heilkunde (Dr. med. univ.)

an der Medizinischen Universität Graz

Die Studie wurde durchgeführt an der
**Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie,
Klinische Abteilung für Kinderorthopädie**

Unter Anleitung von:

OA Dr. med. Tanja Kraus

Prof. Dr. med. Wolfgang E. Linhart

Meiner Familie in Dankbarkeit gewidmet

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

Unterschrift

VORWORT

Zugunsten der besseren Lesbarkeit wurde im Text auf eine gendergerechte Formulierung, also die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Personenbegriffe (Patient/Patientin bzw. PatientIn und dergleichen) verzichtet und nur die männliche Nominalform angeführt. „Der Patient“ wird als „genus commune“ verwendet und meint immer beide Geschlechter (vgl. „der Mensch“).

DANKSAGUNG

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all jenen Menschen bedanken, die mich bei der Anfertigung meiner Diplomarbeit so kräftig unterstützt haben. Allen voran möchte ich meinen Eltern für ihre finanzielle und emotionale Unterstützung und für ihre Geduld während der gesamten Studienzeit danken. Ihr seid immer zu mir gestanden und habt an mich geglaubt, dafür bin ich Euch unendlich dankbar! Ohne Eure Hilfe hätte ich es nicht geschafft, diesen Weg zu gehen.

Ganz besonders wichtig ist es mir, meiner Freundin Mojdeh danke zu sagen. Du hast mich immer wieder aufgebaut, mir neuen Mut und neue Kraft gegeben. Danke für Deine Motivation und Deine Geduld und vor allem, dass Du mir jeden Tag aufs Neue zeigst, wie schön das Leben ist.

Außerdem gilt mein Dank meiner Betreuerin, Frau OA Dr. Tanja Kraus, die immer ein offenes Ohr für meine Anliegen hatte. Auch bei Herrn Univ. Prof. Dr. Linhart möchte ich mich herzlich bedanken.

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort.....	3
Danksagung.....	4
Abkürzungen	8
Abbildungsverzeichnis	10
Tabellenverzeichnis.....	12
Zusammenfassung.....	13
Abstract.....	14
Einleitung.....	15
Ätiologie Erwachsene	15
Ätiologie Kinder	16
Anatomische Betrachtungen	18
Das Fußskelett.....	18
Gelenke des Fußes	21
Muskulatur.....	21
Fußmuskeln	22
Anatomie und Funktion des 1. Zehenstrahls.....	23
Os metatarsale I.....	23
Die Articulatio metatarsophalangea hallucis	25
Sesambeine.....	26
Generelles Fußlängenwachstum	28
Der Hallux-Valgus-Komplex	30
Definition.....	30
Ätiologie	31
Pathogenese.....	33

Der Hallux valgus bei Kindern und Jugendlichen	35
Ausgewählte Operationsmethoden mit Vor- und Nachteilen.....	39
Weichteileingriffe.....	39
Modifizierter Weichteileingriff nach McBride	39
Osteotomien des ersten Metatarsale	41
Mitchell Osteotomie	41
Chevron- Osteotomie in der Technik nach Austin	43
Überlegungen zur Indikationsstellung der Operation beim Hallux valgus.....	45
Studienziel	48
Patienten und Methoden.....	49
Indikation für die Operation in unserem Patientengut	51
Nachuntersuchung.....	52
Radiologische Beurteilung.....	52
Klinische Beurteilung	59
Verwendete Scores.....	61
Operationstechnik.....	63
Operationsmethode nach Austin	63
Postoperatives Management	68
Ergebnisse	69
Radiologische Ergebnisse.....	69
HV- und IMT-Winkel	69
Metatarsalindex.....	71
Sesambeinposition	71
COA – Cuneiform obliquity angle.....	73
Klinische Ergebnisse	73
Scores allgemein.....	73
Schmerzen.....	74

Gehstrecke/Gehhilfen	76
Schuhwerk/Tragen von Einlagen	76
Kosmetisches Ergebnis	76
Gehen	76
Diskussion.....	77
Literaturverzeichnis	84
Anhang	89
Votum Ethikkommission	90
Scores	92
AOFAS Midfoot Score.....	92
AOFAS Hallux Metatarsophalangeal-Interphalangeal Scale.....	93
Maryland Foot Score	94
Takakura-Score.....	95

ABKÜRZUNGEN

Abb.	Abbildung
AOFAS	American Orthopaedics Foot and Ankle Society
Art. (Artt.)	Articulatio (Articulationes)
bzw.	beziehungsweise
COA	Cuneiform obliquity angle
DMAA	distal metatarsal articular angle
ggf.	gegebenenfalls
HMIS	Hallux-Metatarsophalangeal-Interphalangeal-Scale
HV(-Winkel)	Hallux valgus(-Winkel)
IMT(-Winkel)	Intermetatarsal(-Winkel)
K-Draht	Kirschnerdraht
Lig. (Ligg.)	Ligamentum (Ligamenta)
M. (Mm.)	Musculus (Musculi)
MFS	Maryland Foot Score
MS	Midfoot Score
MT	Metatarsale
MTC(-Gelenk)	Metatarsocuneiforme(-gelenk)
MTP(-Gelenk)	metatarsophalangeal(-gelenk)
MW	Mittelwert

OP	Operation
OSG	oberes Sprunggelenk
PAA	phalangeal articular angle
SD	standard deviation (Standardabweichung)
USG	unteres Sprunggelenk
usw.	und so weiter

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Rechter Fuß von dorsal	20
Abb. 2: Rechter Fuß von plantar	20
Abb. 3: Kompressions- und Zugkräfte an der Epiphysenfuge bei Metatarsus primus varus	24
Abb. 4: Bänder und Sehnen des Vorfußes in der Ansicht von medial	26
Abb. 5: Sesambeinapparat.....	27
Abb. 6: Metatarsalkopf und Sesambein mit Ligamenten, Ansicht von medial.....	28
Abb. 7: Fußwachstum bei Mädchen (a) und Jungen (b)	29
Abb. 8: Bowstring-Effekt.....	33
Abb. 9: Lig. metatarsium transversum und Sesambeinschlinge.....	34
Abb. 10: Orientierung des Metatarsocuneiformegelenks	38
Abb. 11: McBride-Verfahren: Abtragung der Pseudoexostose	40
Abb. 12: Lösung des M. adductor hallucis	40
Abb. 13: Mitchell-Osteotomie.....	42
Abb. 14: Chevron Osteotomie	43
Abb. 15 Hallux-valgus-Winkel	53
Abb. 16: IMT-Winkel.....	54
Abb. 17:Metatarsalindex	55
Abb. 18: Röntgenbild eines Fußes mit Hallux valgus mit Messungen.....	55
Abb. 19: Sesambein-Luxationsgrade	56
Abb. 20: Darstellung des Cuneiform obliquity angle (COA)	58
Abb. 21: V-förmige Chevron-Osteotomie von medial.....	63
Abb. 22: Chevron-Osteotomie von oben	64
Abb. 23: L-förmige Eröffnung der Gelenkkapsel	65
Abb. 24: Abtragung der Pseudoexostose	66
Abb. 25: Positionierung des Führungsdrahtes	66
Abb. 26: V-förmige Osteotomieschnittflächen mit einem Winkel von 60°	66
Abb. 27: Lateralverschiebung des distalen Osteotomiefragments.....	67
Abb. 28: Fixierung mit K-Drähten und Abtragung des Knochens.....	67

Abb. 29: Verschluss der L-förmigen Kapsulotomie und Korrektur des metatarsophalangealen Valgus	68
Abb. 30: Mittelwerte des HV- und des IMT-Winkels prä-, postoperativ und bei Nachuntersuchung	71
Abb. 31: Sesambeinposition vor der Operation	72
Abb. 32: Sesambeinposition nach der Operation	72
Abb. 33: Sesambeinposition bei der Nachuntersuchung.....	73
Abb. 34: Votum der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz	91
Abb. 35: AOFAS Midfoot Score.....	92
Abb. 36: AOFAS Hallux Metatarsophalangeal-Interphalangeal Scale.....	93
Abb. 37: Maryland Foot Score (MFS)	94

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: HV-Winkel aller Patienten mit Mittelwert (MW) und Sandardabweichung (SD) prä- und postoperativ	70
Tabelle 2: IMT-Winkel aller Patienten mit Mittelwert (MW) und Sandardabweichung (SD) prä- und postoperativ	70
Tabelle 3: Erzielte Wertungen im Teilbereich <i>Schmerzen</i> der verschiedenen Scores für die einzelnen Füße sowie Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).	75
Tabelle 4: Score nach Takakura	95

Zusammenfassung

LANGZEITERGEBNISSE NACH OPERATIVER KORREKTUR EINES HALLUX VALGUS IM KINDES- UND JUGENDALTER

Hintergrund und Zielsetzung: In der Literatur wird über eine hohe Rate an postoperativen Rezidiven bei Kindern und Jugendlichen berichtet. Für milde bis moderate Fehlstellungen hat sich die Technik nach Austin als passend erwiesen. In dieser Studie wird über das Langzeitoutcome von juvenilen Hallux valgus Patienten nach einer modifizierten Osteotomie nach Austin berichtet.

Material und Methoden: Es wurde das klinische und radiologische Outcome von 12 Patienten (15 Füßen) mit einem Durchschnittsalter von 14,22 Jahren nach Operation eines Hallux valgus in einer modifizierten Technik nach Austin untersucht. Die radiologischen Messgrößen beinhalteten den Hallux valgus (HV)-Winkel, den Intermetatarsal (IMT)-Winkel, die Sesambeinposition, den Metatarsalindex sowie den COA prä- und postoperativ sowie bei einer Nachuntersuchung nach 7,28 Jahren (SD +/- 3,01; Range: 2,21-11,21). Die AOFAS-Hallux Metatarsophalangeal-Interphalangeal Scale (HMIS), der AOFAS-Midfoot Score (MS), der Maryland Foot Score (MFS) und der Takakura Score wurden ausgefüllt (alle max. 100 Punkte). Außerdem wurde über die subjektive Patientenzufriedenheit berichtet. Zum Vergleich der radiologischen Daten wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit dem Scheffé Post-hoc-Test verwendet. P-Werte < 0,05 wurden als statistisch signifikant definiert.

Ergebnisse: Die HV- und IMT-Winkel verbesserten sich postoperativ signifikant ($p=0,000$) und blieben bis zum Follow-Up unverändert ($p=0,863$). Bei 7 Patienten kam es bis zum Follow-Up zu einer Verschlechterung der Sesambeinposition. Der Metatarsalindex veränderte sich postoperativ bei 7 Patienten. Die AOFAS-HMIS zeigte im Mittel 85,33 Punkte (SD +/- 9,19; Range 73-95), der AOFAS-MS 90,8 Punkte (SD +/- 7,17; Range 80-100). Der MFS und der Takakura Score ergaben im Mittel 92,6 (SD +/- 6,3; Range 81-100) und 93,9 Punkte (SD +/- 5,43; Range 86-100).

Fazit: Die Osteotomie in der Technik nach Austin ist eine erfolgreiche und verlässliche Methode zur Korrektur des milden bis moderaten Hallux valgus bei Kindern und Jugendlichen und zeigt langanhaltende Verbesserungen sowie ein gutes funktionelles Ergebnis.

Abstract

LONG-TERM OUTCOME AFTER MODIFIED AUSTIN-OPERATION IN JUVENILE HALLUX VALGUS PATIENTS

Background and Aim: Various procedures for correction of juvenile hallux valgus are known. However, in children and adolescents high rates of recurrences are reported after surgery. For mild to moderate deformity the Austin procedure is indicated as adequate. In this retrospective study the long-term outcome of operated juvenile hallux valgus by a modified Austin procedure is reported.

Material and Methods: We investigated the clinical and radiological outcome of 12 patients (15 feet) aged 14.22 years (SD +/- 1.83; range 11.74-17.34 years) who underwent surgery for hallux valgus by a modified Austin procedure. Radiological measures included Hallux valgus angles (HV), intermetatarsal angles (IMT), the position of the sesamoids (POS), the metatarsalindex (MIT) and the cuneiform obliquity angle (COA) pre- and postoperatively and after 7.28 years (SD +/- 3.01; range: 2.21-11.21 years). Scores: AOFAS-Hallux Metatarsophalangeal-Interphalangeal Scale (HMIS) and AOFAS-Midfoot Score (MS), Maryland Foot Score (MFS) and the Takakura Score were completed (all scores max. 100 points) and subjective satisfaction was reported. To compare the radiological angles one-way ANOVA with Scheffé post-hoc-test was used. A p-value of < 0.05 was set as statistically significant.

Results: The HV and IMT improved significantly from pre- to postoperative (p=0.000) and remained even until follow up (p=0.863). In 7 patients the position of the sesamoids deteriorated. The MTI changed in 7 patients after operation. AOFAS HMIS score showed a mean of 85.33 points (SD +/- 9.19; range 73-95) and AOFAS-MS was 90.8 points (SD +/- 7.17; range 80-100) in mean. MFS added up to a mean of 92.6 points (SD +/- 6.3; Range 81-100) and the Takakura Score to 93.9 points (SD +/- 5.43; Range 86-100).

Conclusion: The modified Austin osteotomy is an effective and versatile procedure for the correction of a mild to moderate juvenile and adolescent hallux valgus deformity with long lasting improvement and good functional outcome.

EINLEITUNG

ÄTIOLOGIE ERWACHSENE

Der Hallux valgus, die Abweichung der Großzehe im Grundgelenk nach lateral, ist eine der häufigsten Fehlstellungen des Fußes in den westlich geprägten Ländern. Bei Erwachsenen ist er in der Mehrzahl der Fälle erworben und eine Folge von schlechtem Schuhwerk mit zu wenig Zehenfreiheit und zu hohen Absätzen (Wirth, 2002).

Neben diesen „äußeren“ Faktoren findet man auch „innere“ Faktoren, die für eine Entstehung des Hallux valgus prädestinieren. Bei etwa zwei Drittel der Patienten findet sich eine positive Familiengeschichte (Glynn *et al.*, 1980; Hardy and Clapham, 1951). Oft geht der Hallux valgus mit einem Metatarsus primus varus einher (Wirth, 2002). Ob ein kausaler Zusammenhang besteht, kann jedoch nicht eindeutig beantwortet werden (Wirth, 2002). Einige Autoren sehen einen Zusammenhang zwischen Pes planus und Hallux valgus. Der erste Strahl liegt dabei in vermehrter Pronation (Wirth, 2002). Seltener gibt es angeborene Fehlbildungen der Füße mit Hallux valgus Deformität, entzündliche (rheumatoide Arthritis) und posttraumatische Genese (Blauth, 1986).

Aufgrund der Lateraldeviation der Grundphalanx bleibt für die zweite Zehe weniger Platz. Entweder sie weicht auch in Abduktionsstellung aus, oder sie widersteht dem Druck, dann schiebt sich die erste Zehe über oder unter die zweite. Supinatorische Aufbiegung des ersten Strahls und pronatorische Aufbiegung des fünften Strahls führen zu vermehrter Belastung der Mittelfußköpfe II-IV mit konsekutiven Hyperkeratosen, Clavi und teilweise Schleimbeutelbildung. Adduktion und Innenrotation können dazu führen, dass sich die fünfte unter die vierte Zehe schiebt. Die übrigen Zehen, insbesondere die zweite, neigen zur Hammer- oder Krallenzehenbildung. (Blauth, 1986)

An der medialen Pseudoexostose kommt es zu Schmerzen Rötung, und Hypertrophie der Bursa aufgrund der mechanischen Irritationen durch das Schuhwerk (Canale

and Campbell, 2003; Blauth, 1986). Die Fehlbelastung des Großzehengrundgelenks kann schließlich zu arthrotischen Veränderungen und arthrogenem Schmerz führen (Blauth, 1986).

ÄTIOLOGIE KINDER

Der Hallux valgus bei Kindern und Jugendlichen unterscheidet sich in Anatomie, Pathogenese und Symptomatik von der Erwachsenenform. Anatomische und strukturelle Abnormitäten wie pronierter Plattfuß, abweichende Insertion der Tibialis posterior Sehne, verstärkte Schrägstellung des Metatarsocuneiforme-I-Gelenks, Überlänge des ersten Strahls, inkongruente Gelenkflächen am Metatarsophalangealgelenk und übermäßige valgische Verkipfung dieser Gelenkflächen, tragen einzeln oder in Kombination zum Hallux valgus bei (Herring and Tachdjian, 2002). Auch andere Erkrankungen wie Pes planus und Bandlaxität sind mit dem juvenilen Hallux valgus assoziiert (Coughlin and Mann, 1987; Thompson, 1996).

Der Hallux valgus im Wachstumsalter ist außerdem häufig mit einem Metatarsus primus varus vergesellschaftet (Coughlin and Mann, 1987; Canale and Campbell, 2003). Anatomisch spielt das Metatarsocuneiforme-I-Gelenk eine besondere Rolle. Die Beweglichkeit in diesem Gelenk hängt teilweise von dessen Konfiguration ab. Wenn es flach ist, kommt es zu minimaler Beweglichkeit, eine bogenförmige Konfiguration erlaubt größere Beweglichkeit (Thompson, 1996, p. 356).

Das Ausmaß der Fehlstellung ist in der Adoleszenz geringer und die Pseudoexostose weniger ausgeprägt. Am MTP-Gelenk finden sich kaum arthrotische Veränderungen und das Vorhandensein von Schmerzen, wenn welche bestehen, korreliert nicht mit dem Schweregrad der Fehlstellung (Canale and Campbell, 2003; Coughlin and Mann, 1987; Zollinger *et al.*, 1996).

Beim juvenilen Hallux valgus sind überwiegend Mädchen betroffen, bis zu 88 % der adoleszenten Patienten sind weiblich (Herring and Tachdjian, 2002, p. 1012). Normalerweise gibt es eine hochgradig positive familiäre Genese, wobei die meisten Pa-

tienten die Fehlstellung von ihrer Mutter erben (Herring and Tachdjian, 2002, p. 1012). Eine positive Familienanamnese wird bei bis zu 72 % der Patienten berichtet.

Unterschiede zwischen juvenilem und adultem Hallux valgus machen eine differenzierte Therapie erforderlich. Entsprechend wichtig ist es, die anatomischen Besonderheiten des Kindes mit in die Therapieplanung einzubeziehen, um die ursprüngliche Form und Funktion des Fußes wiederherzustellen. Die anatomischen Besonderheiten werden detailliert im Kapitel „Anatomische Betrachtungen“ besprochen.

ANATOMISCHE BETRACHTUNGEN

DAS FUSSSKELETT

Der Fuß besteht aus 26 Knochen, und ist gegliedert in: (Aumüller, 2010)

- Fußwurzel (Tarsus)
- Mittelfuß (Metatarsus)
- Vorfuß (Antetarsus)

Der Tarsus besteht aus (Ossa tarsi):

- Talus
- Calcaneus
- Os naviculare
- Os cuboideum
- 3 Ossa cuneiformia (mediale, intermedium, laterale)

Der Metatarsus wird von den fünf Ossa metatarsalia und den zahlreichen Ossa sesamoidea gebildet (Platzer *et al.*, 2003). Die Anzahl der Sesambeine kann variieren, regelmäßig sind nur jene beiden unter dem MTP-Gelenk vorhanden (Platzer *et al.*, 2003).

Der Antetarsus zeigt fünf Zehen (Ossa digitorum). Die erste Zehe besteht nur aus Phalanx proximalis und Phalanx distalis. Alle weiteren Zehen besitzen jeweils eine Phalanx proximalis, eine Phalanx media und eine Phalanx distalis. (Platzer *et al.*, 2003; Aumüller, 2010)

Systematisch anatomisch wird der Fuß in einen medialen (tibialen) und in einen lateralen (fibularen) Strahl unterteilt. Die Längs- und Querwölbung des Fußes entsteht dadurch, dass die beiden Fußstrahlen distal nebeneinander und proximal übereinander gelegt sind (Streicher *et al.*, 2012, p. 310).

Medialer Strahl:

- Talus
- Os naviculare
- Ossa cuneiformia
- Ossa metatarsalia und Ossa digitorum I-III

Lateraler Strahl:

- Calcaneus
- Os cuboideum
- Ossa metatarsalia und Ossa digitorum IV-V

Die klinische Einteilung des Fußes unterscheidet sich von der anatomischen: (Aumüller, 2010)

- Rückfuß (Talus, Calcaneus)
- Mittelfuß (Os naviculare, Ossa cuneiformia, Os cuboideum, Ossa metatarsi)
- Vorfuß (Digiti)

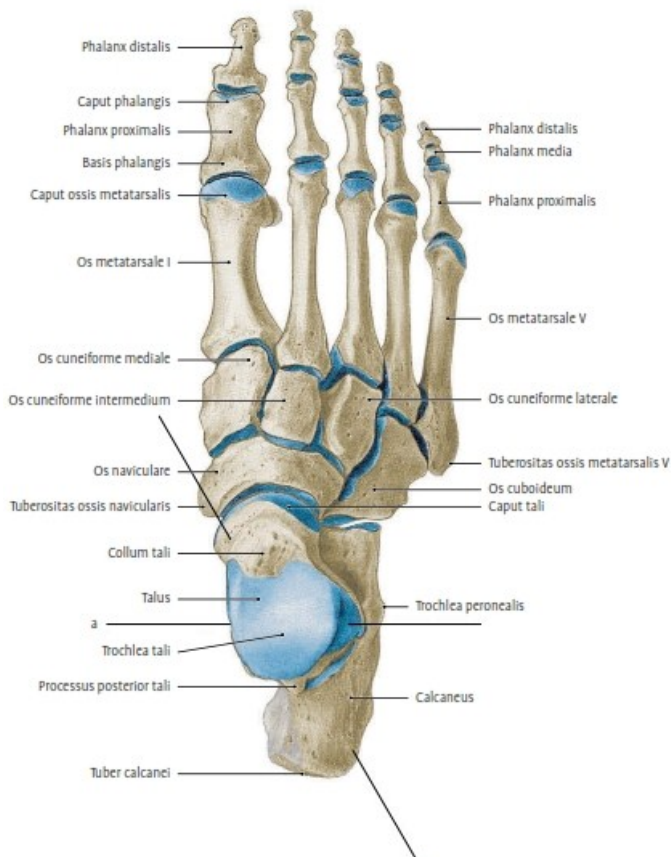


Abbildung 1: Rechter Fuß von dorsal mit Flexions-Extensions-Achse (a) und Eversions-Inversions-Achse (b)

(Quelle: Streicher *et al.*, 2012, p. 311)

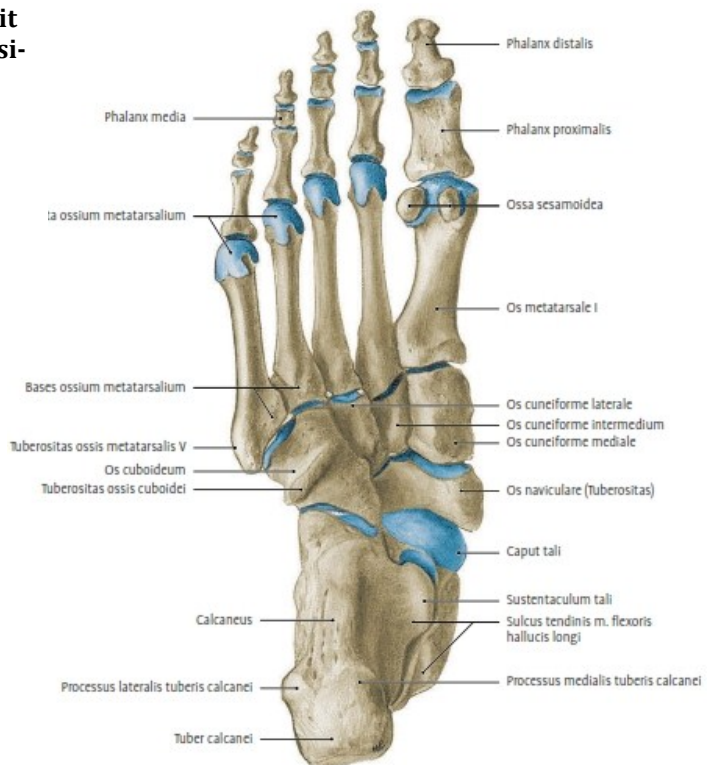


Abbildung 2: Rechter Fuß von plantar

(Quelle: Streicher *et al.*, 2012, p. 312)

GELENKE DES FUSSES

Die wichtigsten Gelenke sind: (Streicher *et al.*, 2012)

- Articulatio talocruralis
- Articulatio talotarsalis (bestehend aus 2 Kammern: Art. subtalaris und Art. talocalcaneonavicularis)
- Art. tarsi transversa (Chopart'sche Gelenklinie, bestehend aus Art. calcaneocuboidea und Art. talonavicularis)
- Artt. tarsometatarseeae
- Art. cuneonavicularis
- Artt. intercuneiformes
- Art. cuneocuboidea
- Artt. intermetatarsales
- Artt. metatarsophalangeae
- Artt. interphalangeae pedis

MUSKULATUR

(Streicher *et al.*, 2012, pp. 353–362)

Vordere Muskeln des Unterschenkels (Extensorengruppe):

- M. tibialis anterior
- M. extensor digitorum longus
- M. peroneus tertius
- M. extensor hallucis longus

Peroneusmuskeln:

- M. peroneus longus
- M. peroneus brevis

Oberflächliche Muskeln der Rückseite des Unterschenkels (oberflächliche Flexoren):

- M. gastrocnemius
- M. soleus
- M. plantaris

Tiefe Muskeln der Rückseite des Unterschenkels (tiefe Flexoren):

- M. tibialis posterior
- M. flexor digitorum longus
- M. flexor hallucis longus
- M. popliteus

FUSSMUSKELN

(nach Streicher *et al.*, 2012)

Muskeln des Fußrückens:

- M. extensor digitorum brevis
- M. extensor hallucis brevis
- M. abductor hallucis
- M. flexor hallucis brevis
- M. adductor hallucis
- M. flexor digitorum brevis
- M. quadratus plantae
- Mm. lumbricales
- Mm. interossei
- M. abductor digiti minimi
- M. flexor digiti minimi brevis
- M. opponens digiti minimi

ANATOMIE UND FUNKTION DES 1. ZEHENSTRAHLS

OS METATARSALE I

Das Os metatarsale I wird in Basis, Corpus und Caput eingeteilt. Beim Erwachsenen hat es eine durchschnittliche Länge von 65-75mm (Blauth, 1986). Es ist damit kürzer und kräftiger gebaut als die Metatarsalia II-V (Waldeyer and Fanghänel, 2009) und es korreliert in Größe und Dicke mit der Körpergröße (Wanivenhaus, 1989). Proximal artikuliert es mit dem Os cuneiforme mediale und manchmal mit der Basis des Os metatarsale II, distal mit der Phalanx proximalis hallucis (Wanivenhaus, 1989). Der Schaft ist plantar konkav gebogen und im Querschnitt dreieckig. Der Mittelteil des Os metatarsale I ist distal nach außen und proximal nach innen verdreht, diese Torsion ist stärker ausgeprägt als bei den übrigen Metatarsalia. Der Kopf trägt die konvexe Gelenkfläche, die plantar weiter ausgedehnt ist als dorsal. Diese läuft plantar in zwei Rinnen aus, in denen die Sesambeine eingelagert sind. Seitlich der Gelenkfläche befinden sich zwei Höcker, an denen jeweils die beiden Kollateral- und Sesambeinbänder befestigt sind (Haines and McDougall, 1954). Plantar gleiten die Köpfchen der Metatarsalia in faserknorpeligen Platten (plantare Platten) (Waldeyer and Fanghänel, 2009).

Die Wachstumsfuge des Metatarsale I befindet sich, anders als bei den übrigen Metatarsalia, proximal. Die verbleibende Wachstumsreserve in diesem Knochen vor Schluss der Epiphysenfuge beeinflusst die Operationsentscheidung. Die Epiphysenfuge richtet sich immer senkrecht zu den auf sie wirkenden Kräften aus. Endogene (Muskelungleichgewicht bei spastischer Zerebralparese) oder exogene Kräfte (Überlastung) können zu Wachstumsstörungen führen (Niethard, 2010). Beim Metatarsus primus varus entstehen aufgrund der Medialabweichung des Metatarsale an der Wachstumsfuge medial Kompressions- und lateral Zugkräfte, die zu einem beschleunigten Wachstum lateral und damit zu einer Verschlechterung führen (Luba and Rosman, 1984). Können diese Kräfte nicht durch eine operative Stellungskorrektur des ersten Strahls aufgehoben werden, besteht Rezidivgefahr. Deshalb können opera-

tive Korrekturen zwar durchaus erfolgreich sein, aber durch das Wachstum auch wieder negativ beeinflusst werden.

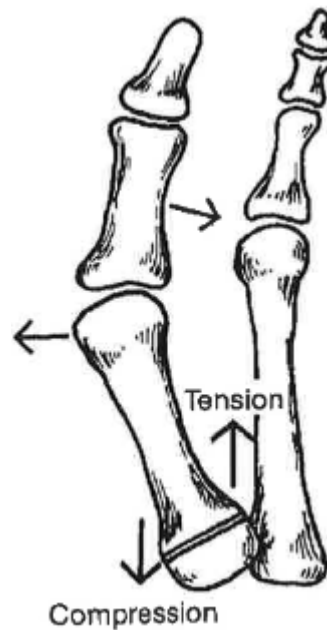


Abbildung 3: Kompressions- und Zugkräfte an der Epiphysenfuge bei Metatarsus primus varus.

(Quelle: Coughlin and Mann, 1987)

Die Funktion des Fußes ist auch abhängig von der Längs- und Querwölbung, die durch die fünf Metatarsalia und die Fußwurzelknochen gebildet und durch die Bänder und Muskeln des Fußes verspannt wird. Großzehengrundgelenk, Kleinzehengrundgelenk und Ferse tragen beim Abrollen die größte Last. Besonders wichtig für die richtige Funktion des Längsgewölbes ist die Stellung der Gelenkflächen der Metatarsalia, welche im langen Durchmesser bei den MT III-V supinatorisch, beim MT I pronatorisch und beim MT II vertikal ausgerichtet ist. (Blauth 1986).

DIE ARTICULATIO METATARSOPHALANGEA HALLUCIS

Das Großzehengrundgelenk, *Articulatio metatarsophalangea hallucis*, wird gebildet aus Os metatarsale I und der Phalanx proximalis hallucis.

Das MTP-Gelenk der großen Zehe unterscheidet sich von den anderen MTP-Gelenken in Anatomie und Funktion, vor allem durch seinen Sesambeinmechanismus (Haines and McDougall, 1954). Am distalen Ende des ersten Metatarsale findet sich das große, runde und knorpelbedeckte Köpfchen, das mit der etwas kleineren, elliptischen Basis der Phalanx proximalis der ersten Zehe artikuliert. An der Plantarseite des Metatarsale I finden sich zwei durch einen Grat getrennte Längsrillen, in denen die beiden Sesambeine gleiten. Diese sind in eine Pelotte aus dichtem Bindegewebe gebettet („plantar pad“) (Haines and McDougall, 1954). In eine Rille zwischen den Sesambeinen ist der *M. flexor hallucis longus* eingelagert, der, in einer straffen *Vagina fibrosa* geführt, an der Basis der Phalanx distalis ansetzt (Blauth, 1986; Haines and McDougall, 1954). Der Knochenschaft ist schmaler als das Köpfchen und trägt zwei Epikondylen für den Ansatz der Gelenkbänder. Von diesen entspringen die beiden Kollateralbänder, *Ligg. collateralia*, die an der Basis der Phalanx proximalis ansetzen. Weitere Bänder ziehen von den Epikondylen zu den Sesambeinen und zu dem umgebenden fibrösen Druckpolster (Haines and McDougall, 1954, p. 274).

An der dorsalen Seite des Gelenks verläuft die Sehne des *M. extensor hallucis longus* in einem Tunnel aus fibrösem Bindegewebe und setzt an der Basis der Phalanx distalis an. Die Sehne wird medial durch ein rechteckiges Band, dem „hood ligament“, plantar am Periost der proximalen Phalanx und am fibrösen Tunnel fixiert (Abbildung 4). Es bedeckt die Insertion des *M. extensor hallucis brevis* an der Phalanx proximalis und zieht in die Tiefe bis zur vereinigten Sehne des *M. abductor hallucis* und des medialen Kopfes des *M. flexor hallucis brevis* sowie mit Teilen zur plantaren Aponeurose. Da diese Strukturen alle an der Phalanx proximalis und nicht am Metatarsale inserieren, ist das Metatarsalköpfchen zwar ummantelt, wird aber de facto medial nur durch das Kollateral- und das mediale Sesambeinband in Position gehalten. (Haines and McDougall, 1954)

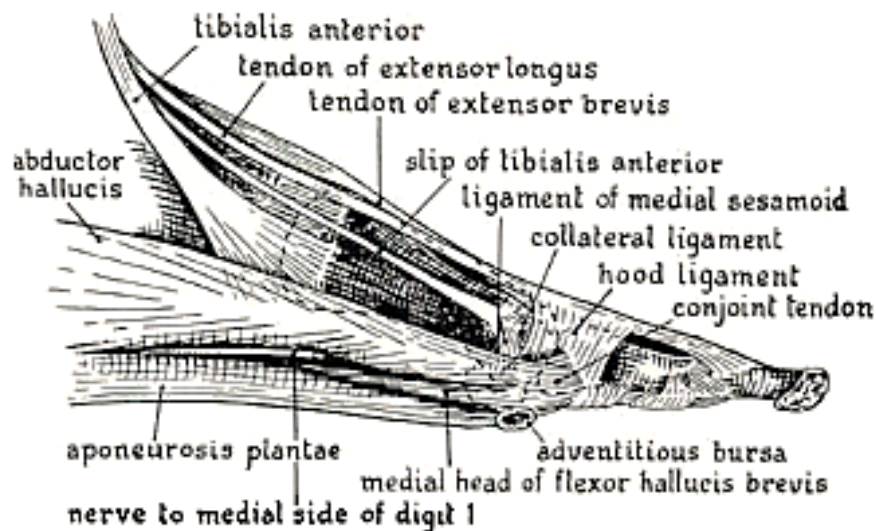


Abbildung 4: Bänder und Sehnen des Vorfußes in der Ansicht von medial

(Quelle: Haines and McDougall, 1954)

Während die Metatarsalköpfchen II-V durch das Lig. transversum metatarseum stabilisiert werden, setzt dieses Band am ersten Metatarsalköpfchen nicht retrokapital an, sondern am lateralen Sesambein (Wanivenhaus, 1989; Blauth, 1986). Das Metatarsalköpfchen ist also frei in den bindegewebigen Bandapparat der Sesambeine gebettet und es wird medial nur von dem Lig. sesamoideum mediale, dem Lig. metatarsophalangeum mediale und von Teilen des M. abductor hallucis gehalten (Blauth, 1986). Bei einem Metatarsus primus varus weicht das Metatarsale I nach medial auf den Sesambeinen aus, die durch die Fixierung am 2. Strahl im Wesentlichen ihre Position behalten (Wirth, 2002).

SESAMBEINE

Die beiden Sesambeine sind kaffeebohnenförmig (Haines and McDougall, 1954), wobei das mediale Sesambein mit 12-15 mm beim Erwachsenen etwas größer als das laterale mit 10-12mm ist (Blauth, 1986). Plantar sind sie in eine Pelotte aus dichtem, faserigem Bindegewebe eingebettet, das distal mit der Basis der Phalanx proximalis fest verwachsen ist. An den Rändern strahlen Faserzüge der Ligamente und der Mus-

kulatur ein und am proximalen Rand erhält die Pelotte eine Portion des M. flexor hallucis brevis und ist lose an das distale Ende des Metatarsale geheftet.

Aufgabe der Sesambeine ist es, die Kräfte im Stehen besser auf das Metatarsalköpfchen zu verteilen und die Sehne des M. flexor hallucis longus vom Druck zu entlasten. (Haines and McDougall, 1954)



Abbildung 5: Sesambeinapparat (eröffnet und hochgeklappt, in der Ansicht von plantar)

(Quelle: Haines and McDougall, 1954)

Am medialen Sesambein inserieren der M. abductor hallucis und das Caput mediale des M. flexor hallucis brevis. Am lateralen Sesambein setzen das Caput laterale des M. flexor hallucis brevis und der M. adductor hallucis mit seinen beiden Köpfen an. Zwischen den Sesambeinen verläuft die Sehne des M. flexor hallucis longus. (Blauth, 1986)

Die beiden Sesambeine sind durch das Lig. intersesamoideum miteinander verbunden. Die Lig. sesamoidea mediale und laterale befestigen die Sesambeine an den Metatarsalköpfchen (Abbildung 6). (Blauth, 1986)

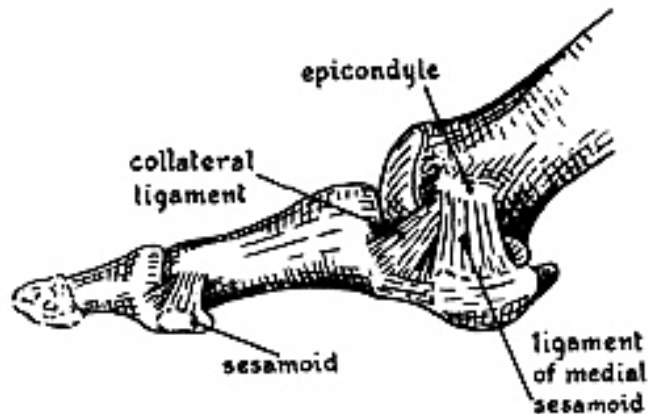


Abbildung 6: Metatarsalkopf und Sesambein mit Ligamenten, Ansicht von medial: Lig. collaterale mediale und Lig. sesamoideum mediale, die vom Epikondylus entspringen. Das Sesambein der Phalanx proximalis ist ebenfalls abgebildet.

(Quelle: Haines and McDougall, 1954)

GENERELLES FUSSLÄNGENWACHSTUM

Der Fuß erreicht seine endgültige Größe deutlich früher als die restliche Extremität. Bis zum 5. Lebensjahr kommt es zu einem schnellen Wachstums des Fußes. Danach findet ein relativ kontinuierliches Fußwachstum statt, das bei Mädchen bis zum 12. Lebensjahr und bei Jungen bis zum 14. Lebensjahr etwa 0,9 cm pro Jahr beträgt. Danach ist das Wachstum weitgehend abgeschlossen. (Niethard, 2010)

Längenwachstum:

- 1-3 Jahre: 1,5 mm/Monat
- 3-6 Jahre: 1,0 mm/Monat
- 5-12 Jahre ♀: 0,9 cm/Jahr
- 5-14 Jahre ♂: 0,9 cm/Jahr

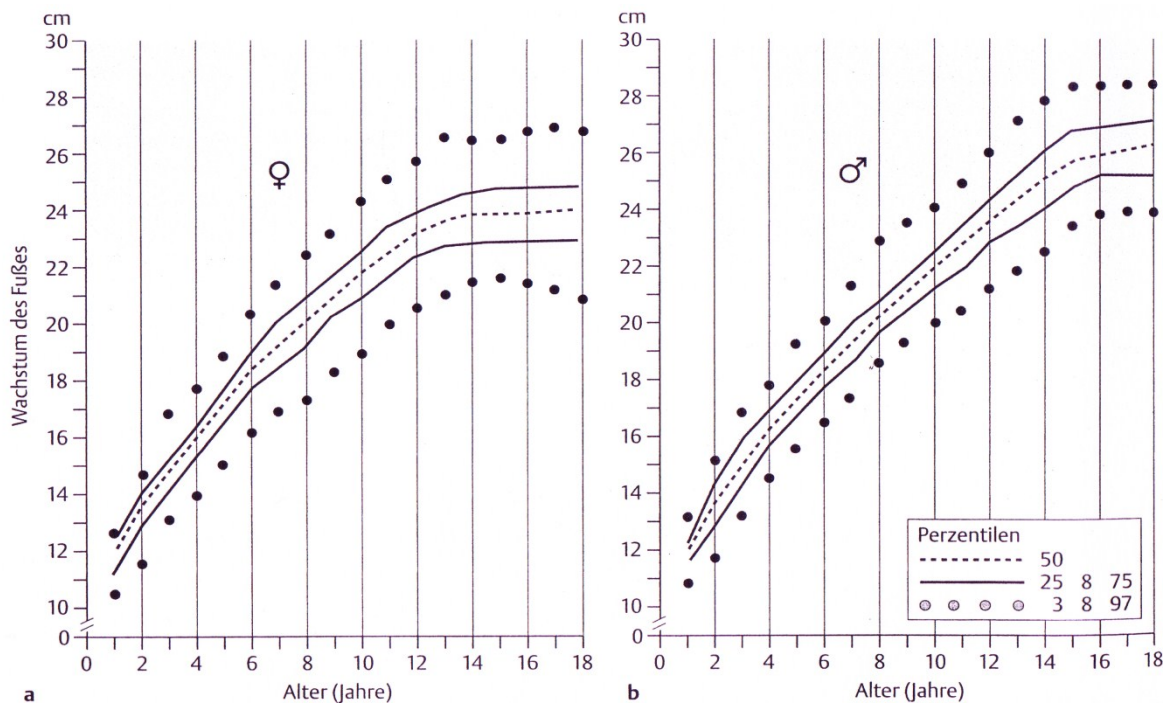


Abbildung 7: Fußwachstum bei Mädchen (a) und Jungen (b)

(Quelle: Niethard, 2010)

Während das Metatarsocuneiformegelenk beim Neugeborenen von medial schräg nach lateral vorne orientiert ist, ändert sich die Lage bis zur vollständigen Reifung des Fußskeletts hin zu einer queren Orientierung (Blauth, 1986).

DER HALLUX-VALGUS-KOMPLEX

DEFINITION

Hallux valgus bezeichnet eine Valgusfehlstellung der Großzehe im Grundgelenk über den normalen Gelenkwinkel hinaus, bei gleichzeitiger Pronation (Innenrotation). Meistens ist er mit einem Metatarsus primus varus vergesellschaftet, wobei nicht gesagt werden kann, ob der Hallux valgus die Folge des Metatarsus primus varus ist oder umgekehrt (Canale and Campbell, 2003; Blauth, 1986; Herring and Tachdjian, 2002). Die Pathogenese nimmt bei Erwachsenen oftmals einen typischen Verlauf: Durch die Varusabweichung des ersten Metatarsalknochens entsteht am medialen Metatarsophalangealgelenk eine Pseudoexostose. Diese kann sich entzünden und schmerzhaft anschwellen. Bei extremer Fehlstellung bleibt für die anderen Zehen kein Platz und es kann zur Entwicklung von Hammer- oder Krallenzehen kommen. Bei schweren Fällen kommt die erste Zehe über oder unter den benachbarten Zehen zu liegen.

Klinisch findet sich bei Erwachsenen neben dem vergrößerten Hallux-valgus-Winkel eine mehr oder weniger prominente Pseudoexostose. Diese ist oftmals gerötet, geschwollen, durch den ständigen Schuhdruck gereizt und neigt zur Schwielenbildung. Viele Patienten klagen über Schmerzen im Bereich des Metatarsophalangealgelenks und im Bereich der Metatarsalia II-IV. Schwielen und Clavusbildung sind Folge der veränderten Druckverteilung am Vorfuß.

Die geschilderten Symptome zeigen sich vor allem bei erwachsenen Patienten. Da sich Symptomatik und Pathogenese bei Kindern und Jugendlichen in einigen Bereichen unterscheiden, werden diese im Kapitel „*Hallux valgus bei Kindern und Jugendlichen*“ abgehandelt.

ÄTIOLOGIE

Anhand der Literatur, die in den letzten ein- bis zweihundert Jahren über den Hallux valgus, seine Ätiologie, seine Pathogenese und die möglichen Therapieoptionen erschienen ist, lässt sich ableiten, dass dieses Krankheitsbild stark an Bedeutung gewonnen hat. Bis jetzt sind über 130 verschiedene Operationsmethoden für den Hallux valgus beschrieben worden (Canale and Campbell, 2003). Der Großteil der Literatur bezieht sich dabei auf den Hallux valgus des Erwachsenen, über die operative Therapie bei Kindern und Jugendlichen existieren dennoch nur sehr wenige Arbeiten.

Nicht zuletzt durch die Modevorlieben unserer modernen Gesellschaft ist der Hallux valgus im Erwachsenenalter zu einer der häufigsten erworbenen Fehlstellungen des Fußes geworden. Durch enge, vorne zugeschnittene Schuhe und hohe Absätze wird der Fuß in eine unnatürliche Form gedrückt (Wirth, 2002). Die Kräfteverteilung verlagert sich von der Ferse auf die Metatarsalköpfchen und durch die erzwungene Fehlstellung der Zehen entsteht eine muskuläre Imbalance und der Fuß kann nicht mehr richtig abgerollt werden. Kato und Watanabe (Kato and Watanabe, 1981) haben gezeigt, dass in Japan vor 1972 kein Hallux valgus operiert wurde und später die Zahl der Erkrankungen proportional mit der Anzahl der verkauften Schuhe westlicher Herkunft gestiegen ist.

Doch nicht in allen Fällen ist das Schuhwerk alleine die einzige Ursache, wie Untersuchungen von Kalmus (Kalmus, 1931) zeigten. Viele Menschen, die ihr Leben lang schlechtes Schuhwerk tragen, entwickeln trotzdem keine Fehlstellung. Andererseits findet sich der Hallux valgus auch bei Menschen, die keine Modeschuhe oder überhaupt gar keine Schuhe tragen (Wirth, 2002). Man nimmt an, dass dem Hallux valgus eine multifaktorielle Entstehung zugrunde liegt. Es scheint so, dass neben den äußeren Faktoren wie Schuhwerk, die Vererbung eine wichtige Rolle spielt (Groiso, 1992).

Nach Debrunner H. U. in „Hallux valgus“ (Blauth, 1986) lassen sich 5 verschiedene Ursachen des Hallux valgus unterscheiden:

1. **Angeboren:** Bei einer Minderheit der Hallux valgus Patienten ist die Fehlstellung schon bei Geburt vorhanden und tritt zumeist in Kombination mit anderen Fehlentwicklungen des Fußes auf.
2. **Entzündlich:** Aufgrund entzündlicher Prozesse bei der Arthritis des Großzehengrundgelenks, v.a. bei rheumatoider Arthritis und Gicht, aber auch bei anderen Entzündungen, kann es zur Zerstörung des Gelenkknorpels und zur Weitung des Band- und Kapselapparates kommen.
3. **Störung des Muskelgleichgewichts:** Schlanke oder spastische Lähmungen an einem oder mehreren Muskeln des ersten Zehenstrahles können zu einem Überwiegen der adduktorischen Komponente führen.
4. **Posttraumatisch:** Diese Form ist leicht von den übrigen zu unterscheiden. Eine Fraktur des MT I, der Phalanx proximalis oder massive Weichteilverletzungen können die anatomische Form bzw. das muskuläre Gleichgewicht so stark verändern, dass sich ein Hallux valgus entwickelt.
5. **Idiopathisch:** Dies ist die häufigste Form des Hallux valgus. Bei ihm spielt die Vererbung eine große Rolle. Meistens wird die Fehlstellung von der Mutter auf die Tochter vererbt (Scranton and Zuckerman, 1984; Groiso, 1992). Johnston (Johnston, 1956) postulierte einen autosomal-dominanten Erbgang mit inkompletter Penetranz. Aber angesichts des Überwiegens des weiblichen Geschlechts wird eine geschlechtsgebundene Vererbung nicht ausgeschlossen (Blauth, 1986). Welche Veränderungen dieser Erbfaktor aber genau bewirkt, ist noch ungeklärt, diskutiert werden Muskel- und Sehnenanomalien bzw. besondere Skelettvarianten (Blauth, 1986). Diese Veränderungen stellen den Boden dar, auf dem sich die Deformität entwickeln kann. Es müssen zu den inneren prädisponierenden Faktoren auch noch äußere hinzukommen (z.B. Schuhwerk), damit sich die Fehlstellung entwickeln kann.

PATHOGENESE

Die Entstehung des Hallux valgus ist ein komplexes und multifaktorielles Geschehen. Mechanische Veränderungen am Fuß und Änderungen der Muskelwirkung an der großen Zehe führen zu einem Circulus vitiosus, der schließlich zu einer kontrakten Fehlstellung der großen Zehe führt (Wirth, 2002). Die große Zehe wird allein durch das subtile Zusammenspiel von M. extensor hallucis longus et brevis, M. flexor hallucis longus et brevis, M. adductor hallucis und M. abductor hallucis in antegrader Ausrichtung gehalten. Ist der Summenvektor der Kräfte, die an diesem Gelenk wirken, nicht in einer Linie mit der Längsachse des Os metatarsale I, entstehen Biegekräfte, die hauptsächlich an der physiologischen Schwachstelle, dem MTP-Gelenk I angreifen (Wirth, 2002). Die Phalanx weicht aufgrund der fehlenden Gegenspieler nach lateral aus und bildet gemeinsam mit dem Os metatarsale I einen „Bogen, der von den Sehnen der Fußmuskeln gespannt wird“ (Wirth, 2002, p. 177).

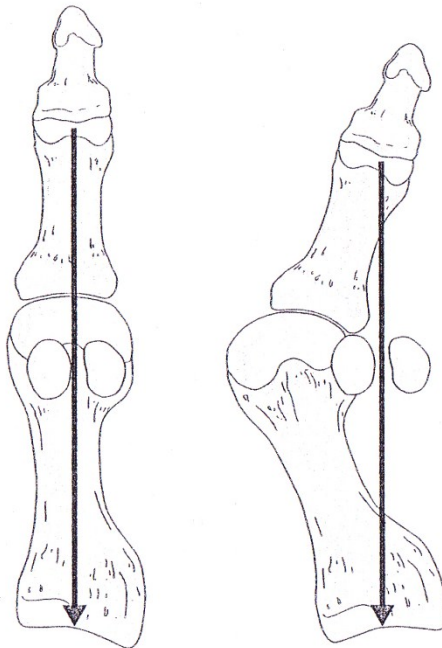


Abbildung 8: Bowstring-Effekt

(Quelle: Wirth, 2002)

Durch die Fixierung der Sesambeine durch das Lig. metatarsium und das Lig. intersemoideum am Os metatarsale II („Sesambeinschlinge“) bleiben diese in ihrer Position.

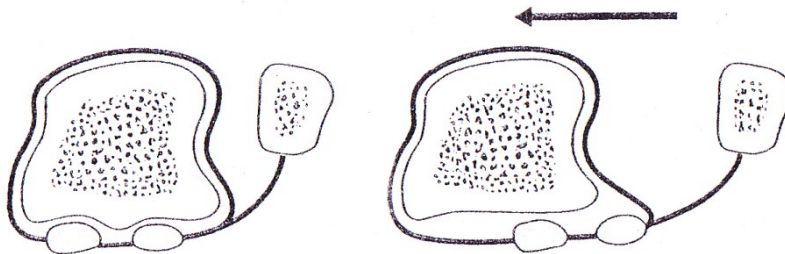


Abbildung 9: Lig. metatarsium transversum und Sesambeinschlinge

(Quelle: Wirth, 2002)

Die Gelenkkapsel wird medial überdehnt und verliert ihre stabilisierende Wirkung. Distal, am Übergang von Sesambeinschlinge zur Kapsel, existiert medialseitig eine Schwachstelle, durch die das Os metatarsale I nach medial ausweichen kann. Das bedeutet, dass eigentlich nicht, wie das Röntgenbild vermuten lässt, die Sesambeine, sondern das Os metatarsale I subluxiert ist und aus der Sesambeinschlinge herausrutscht (Wirth, 2002). Die Gelenkflächen von Grundphalanx und Metatarsale stehen nun nicht mehr senkrecht aufeinander. Wenn es allerdings während des Skelettwachstums zu dieser Veränderung kommt, kann sich das Metatarsalköpfchen anpassen und die Gelenkfläche wird nach lateral abgewinkelt. In diesem Fall stehen die Gelenkflächen kongruent zueinander. Beim Erwachsenen lassen sich nach Piggott 3 Stellungen im MTP-Gelenk unterscheiden: kongruent, deviiert und subluxiert (Piggott, 1960).

Die zunehmende mediale Deviation und Supination des ersten Metatarsale führt dazu, dass der M. abductor hallucis, der seinen Ansatz am medialen Sesambein und an der Phalanx proximalis hat, immer weiter nach plantar verlagert wird. Er verliert seine abduzierende Wirkung und wird zum Flexor im MTP-Gelenk. Durch seinen Ansatz an der Basis der Grundphalanx zieht er die große Zehe in Pronationsstellung. Auch die kurzen und langen Beuge- und Strecksehnen der großen Zehe verlagern sich nach lateral und die adduktorische Komponente wird verstärkt.

Die veränderte Belastung am Vorfuß führt zur Belastungsmetatarsalgie an den Köpfchen der Metatarsalia II-IV.

Bei sehr starker Lateraldeviation des Hallux bleibt für die übrigen Zehen wenig Platz und es kommt zur Entwicklung von Hammer- bzw. Krallenzehen, die vorerst reponierbar bleiben, im Verlauf jedoch kontrakt werden.

DER HALLUX VALGUS BEI KINDERN UND JUGENDLICHEN

Der Hallux valgus im Kindes- und Jugendalter unterscheidet sich signifikant von der Form, die bei Erwachsenen auftritt. Meistens ist der Hallux-valgus-Winkel geringer und der Intermetatarsalwinkel stärker ausgeprägt als beim Erwachsenen (Coughlin and Mann, 1987). Allerdings korreliert das Ausmaß der Deformität nicht unbedingt mit der Stärke der Beschwerden (Zollinger *et al.*, 1996). Schmerzen stehen für viele Patienten nicht im Vordergrund der Symptomatik (Canale and Campbell, 2003). Degenerative Veränderungen am MTP-Gelenk sind sehr selten, die mediale Pseudoexostose ist kleiner und die Bursa ist nicht so stark hypertrophiert (Coughlin and Mann, 1987). Die hereditäre Komponente scheint beim juvenilen Hallux valgus eine noch größere Rolle zu spielen als bei Erwachsenen. Coughlin (Coughlin, 1995) fand in seiner retrospektiven Studie mit 45 Patienten (60 Füßen) in 72 Prozent der Fälle eine Vererbung durch die Mutter. 88 Prozent der betroffenen Patienten in dieser Arbeit waren Frauen, was für eine klare Prädisposition des weiblichen Geschlechts spricht. Die ethnische Herkunft ist ein weiterer wichtiger Einflussfaktor: Kinder mit schwarzer Hautfarbe sind fünfmal häufiger betroffen als hellhäutige Kinder. Dieses Verhältnis sinkt bis zum Erwachsenenalter auf 2:1 (Halebian and Gaines, 1983).

Für gewöhnlich ist der juvenile und adoleszente Hallux valgus mit einem Metatarsus primus varus assoziiert, welche Entität aber primär und welche kompensatorisch entsteht, ist Gegenstand vieler Diskussionen und bleibt vorerst ungeklärt (Herring and Tachdjian, 2002).

Bandlaxizität (Scranton and Zuckerman, 1984), langes erstes Metatarsale (Halebian and Gaines, 1983; Scranton and Zuckerman, 1984) und Pes planus (Halebian and Gaines, 1983; Scranton and Zuckerman, 1984; DuVries, 1965; Goldner and Gaines, 1976) wurden von vielen Autoren mit dem juvenilen Hallux valgus assoziiert.

Schlechtes Schuhwerk kann dazu beitragen, auf dem Boden angeborener, prädisponierender anatomischer Ursachen, die Entwicklung des juvenilen Hallux valgus zu beschleunigen und zu aggravierern (Haleblian and Gaines, 1983). Es scheint aber im Gegensatz zu Erwachsenen in der Pathogenese des Kindes bzw. Jugendlichen eine untergeordnete Rolle zu spielen (Groiso, 1992).

Sekundär kann ein Hallux valgus durch Muskelungleichgewicht aufgrund von infantiler Zerebralparese, Poliomyelitis, Myelomeningozele und anderen neuromuskulären Erkrankungen sowie außerdem auch bei Hemihypertrophie und juveniler rheumatoider Arthritis auftreten. (Niethard, 2010)

Variationen der Form der Gelenkflächen des ersten Metatarsophalangealgelenks kann die intrinsische Stabilität beeinflussen. Ein runder Metatarsalkopf scheint anfälliger für die Entwicklung eines Hallux valgus zu sein, während eine abgeflachte oder Chevron-förmige Gelenkfläche den deformierenden Kräften auf den Hallux eher widersteht. (Coughlin and Mann, 1987)

In den Arbeiten von Coughlin und Mann wird besonderes Augenmerk auf den DMAA (distal metatarsal articular angle) gelegt. Dieser Winkel beschreibt die Orientierung der distalen metatarsalen Gelenkfläche in Relation zur Längsachse des ersten Metatarsale. Der Normalwert für diesen Winkel beträgt 10° bis 15° (Canale and Campbell, 2003). Frühes Auftreten der Deformität geht mit einem größeren Ausmaß der Fehlstellung und einem vergrößerten DMAA einher (Coughlin, 1995; Coughlin and Mann, 1987).

Der PAA (phalangeal articular angle) beschreibt die Ausrichtung der proximalen phalangealen Gelenkfläche in Relation zur Längsachse der proximalen Phalanx des Hallux. Sieben bis 10° werden als normal angenommen. (Canale and Campbell, 2003)

Wenn DMAA, PAA oder beide Werte erhöht sind, kann ein exzessiver Hallux valgus die Folge sein (Coughlin and Mann, 1987). Fehlende Korrektur dieser Werte bei der Operation des Hallux valgus, kann zu unbefriedigenden Ergebnissen führen. Allerdings muss auch gesagt werden, dass die genaue Messung dieser Werte schwer zu reproduzieren ist aufgrund der unterschiedlichen Röntgen- und Messmethoden (Canale and Campbell, 2003). Es konnte gezeigt werden, dass die radiologische knöchernen Form der Gelenkfläche nur sehr schlecht mit der anatomischen knorpeligen

Gelenkfläche korreliert (Deenik *et al.*, 2008). Aus diesem Grund wurde auf die Messung des DMAA und des PAA in unserer Studie verzichtet.

Wichtig für die Operationsentscheidung ist die Frage, ob die Gelenkflächen des Metatarsophalangealgelenks kongruent sind oder nicht. Ein kongruentes Gelenk liegt vor, wenn die beiden korrespondierenden Gelenkflächen in konzentrischer Art und Weise ausgerichtet sind. Ein kongruentes Gelenk ist normalerweise stabil und das Ausmaß des Hallux valgus scheint sich im Laufe der Zeit nicht zu vergrößern. (Coughlin and Mann, 1987)

Beim inkongruenten Gelenk deviiert oder subluxiert die Basis der proximalen Phalanx in Relation zur Gelenkfläche des ersten Metatarsale. Frühe Deviation führt möglicherweise zu signifikanter Subluxation und lässt das mediale Metatarsalköpfchen unbedeckt. Piggott (Piggott, 1960) schlussfolgerte, dass das kongruente Gelenk stabil ist und nicht zu signifikantem Hallux valgus fortschreitet, während das inkongruente Gelenk mit leichter Deviation ein signifikantes Risiko für eine progressive metatarsophalangeale Subluxation darstellt. Eine Valgusausrichtung des Metatarsophalangealgelenks kann demnach entweder durch Verkipfung der Gelenkflächen in Relation zu den Längsachsen von Metatarsale I und Phalanx, oder durch Dislokation des MTP-Gelenks verursacht sein. (Coughlin and Mann, 1987)

Das Metatarsocuneiformegelenk spielt, wie auch das Metatarsophalangealgelenk, eine Schlüsselrolle in der Entstehung des juvenilen und adoleszenten Hallux valgus (Coughlin and Mann, 1987). Die Orientierung dieses Gelenks ist nach Coughlin (Coughlin and Mann, 1987) möglicherweise der wichtigste Faktor für die Entwicklung eines vergrößerten Intermetatarsalwinkels. Normalerweise ist das MTC-Gelenk transversal orientiert (Coughlin and Mann, 1987). Die anteriore Gelenkfläche des Os cuneiforme mediale artikuliert mit der proximalen Gelenkfläche des ersten Metatarsale. Die Gelenkfläche des ersten Cuneiforme ist elliptisch, leicht konvex und in einer leicht plantar-medialen Richtung orientiert (Coughlin and Mann, 1987). Form und Orientierung der MTC-Gelenks scheinen die Stabilität signifikant zu beeinflussen (Abbildung 10) (Coughlin and Mann, 1987): Ein horizontaler Aufbau ist resistent gegen eine Vergrößerung des IMT-Winkels, während ein schräger Aufbau offenbar mit einem vergrößerten IMT-Winkel korreliert. Eine gekurvte Form des MTC-Gelenks geht mit Hypermobilität einher und lässt eine Medialdeviation des ersten Metatarsale zu. Exis-

tiert eine am zweiten Metatarsale angrenzende Facette an der lateralen Basis des ersten Metatarsale, ist die Flexibilität eingeschränkt und die Basis des Metatarsale I in Varusstellung fixiert und die operativen Korrekturmöglichkeiten eingeschränkt.

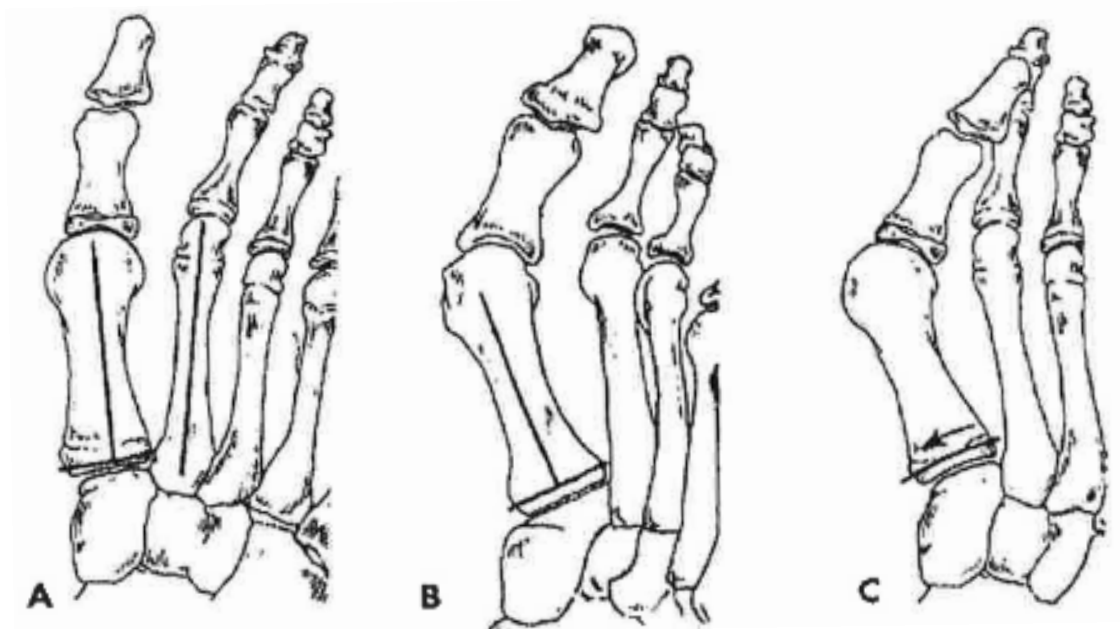


Abbildung 10: Orientierung des Metatarsocuneiformgelenks: horizontaler (A), schräger (B), gekrümmter Aufbau (C)

(Quelle: Coughlin and Mann, 1987; Austin and Leventen, 1981)

Zusätzlich kommt bei der Operation des Hallux valgus im Kindes- und Jugendalter hinzu, dass die Strukturen noch knorpelig und verformbar sind, und damit schwerer zu beurteilen. Man sollte unbedingt darauf achten, die Wachstumszonen nicht zu verletzen. Verbleibendes Skelettwachstum kann sich auch negativ auf die korrigierte Fehlstellung auswirken.

AUSGEWÄHLTE OPERATIONSMETHODEN MIT

VOR- UND NACHTEILEN

Zahlreiche Operationsmethoden für die Korrektur dieser Fehlstellung sind in der Literatur beschrieben worden.

Nach „*Tachdjian's pediatric orthopaedics*“ (Herring and Tachdjian, 2002) kann die operative Therapie in 4 Komponenten gegliedert werden:

1. Distaler Weichteileingriff (z.B.: McBride)
2. Distale metatarsale Osteotomien (Mitchell- und Chevron-Osteotomien)
3. Basale metatarsale Osteotomien
4. Metatarso-cuneiforme Fusion

WEICHTEILEINGRIFFE

Man ist davon abgekommen, Weichteileingriffe beim juvenilen Hallux valgus isoliert durchzuführen, da sich, ohne gleichzeitige Osteotomie, in 50 bis 75 Prozent ein Rezidiv entwickelt. Oftmals sind sie aber Teil der chirurgischen Rekonstruktion. (Herring and Tachdjian, 2002)

MODIFIZIERTER WEICHTEILEINGRIFF NACH MCBRIDE

Der modifizierte Weichteileingriff nach **McBride** sollte hier kurz Erwähnung finden, da er bei Kindern und Jugendlichen häufig gemeinsam mit einer Osteotomie des ersten Metatarsale durchgeführt wird. Die wichtigsten Schritte bei dieser Operation sind: (Canale and Campbell, 2003)

1. Abtragung der Pseudoexostose (Abbildung 11)
2. laterales Kapselrelease
3. Ablösung der Sehne des M. adductor hallucis von proximaler Phalanx und lateralem Sesambein (Abbildung 12)
4. Transposition dieser Sehne auf das Metatarsalköpfchen
5. mediale Raffung der Kapsel

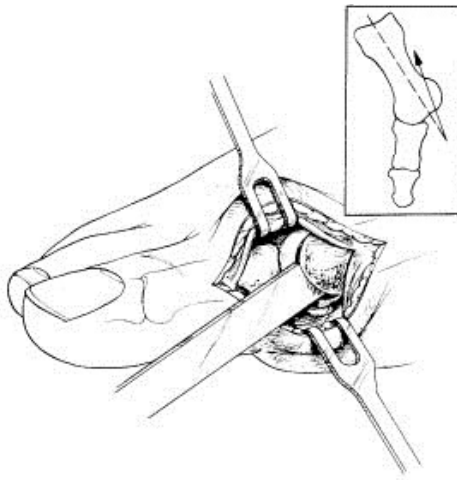


Abbildung 11: McBride-Verfahren: Abtragung der Pseudoexostose

(Quelle: Canale and Campbell, 2003)

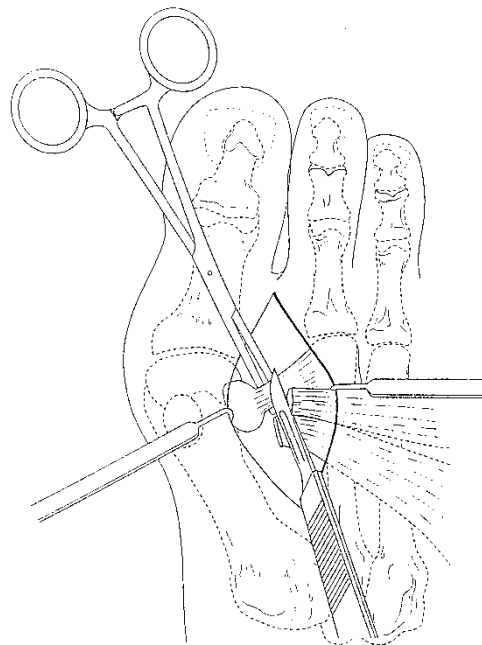


Abbildung 12: Lösung des M. adductor hallucis von lateralem Sesambein und Grundphalanx und scharfe Durchtrennung des Lig. metatarsium transversum.

(Quelle: Wirth, 2002)

OSTEOTOMIEN DES ERSTEN METATARSALE

MITCHELL OSTEOTOMIE

Bei der **Mitchell-Osteotomie** (Mitchell *et al.*, 1958) wird das erste Metatarsale distal durch eine transversale Osteotomie durchtrennt. Es folgt einige Millimeter distal eine zweite Osteotomie, die ihren Ursprung am medialen Schaft hat, das Periost lateral aber nicht durchtrennt. Das distale Knochenfragment wird so nach lateral verschoben, dass sich die Stufe über dem lateralen Rand des proximalen Fragments einhakt.

Die Mitchell-Osteotomie ist ein Verfahren, das in der Behandlung von Kindern und Jugendlichen häufig angewendet wird und mehrfach in der Literatur über juvenilen Hallux valgus beschrieben wurde (Luba and Rosman, 1984; Canale *et al.*, 1993; Ball and Sullivan, 1985). Deshalb soll die Mitchell-Osteotomie, neben der Chevron-Osteotomie, hier mit ihren Vor- und Nachteilen ausführlicher beschrieben werden.

VOR – UND NACHTEILE

Die Resultate bei Kindern und Jugendlichen für diese Operationsmethode variieren bei den unterschiedlichen Autoren. Ball und Sullivan (Ball and Sullivan, 1985) berichteten in ihrer Studie von 11 Rezidiven bei insgesamt 18 operierten Füßen (61 %) und kamen zum Schluss, dass die Mitchell Osteotomie in der Behandlung des juvenilen Hallux valgus nicht angewendet werden sollte. Canale et al. (Canale *et al.*, 1993) kamen bei 19 von 51 operierten Füßen (37 %) zu einem exzellenten Ergebnis, bei 16 (31 %) zu einem guten, bei 6 (12 %) zu einem ausreichenden und bei 10 (20 %) zu einem mangelhaften. Bei 5 Füßen (10 %) kam es zu einem Rezidiv. Bessere Ergebnisse konnten Glynn et al. vorweisen. In ihrer Arbeit (Glynn *et al.*, 1980) wurden 72 Mitchell-Osteotomien über 10 Jahre nachverfolgt. 92 % der operierten Füße wurden mit gut oder exzellent bewertet, nur 8 % mit unzureichend. Bei 9 Füßen (12,5 %) kam es zu einem Rezidiv. Carr und Boyd (Carr and Boyd, 1968) untersuchten 54 operierte Füße und klassifizierten 41 als exzellent, 10 als gut und nur 3 als unzureichend.

MÖGLICHE KOMPLIKATIONEN

Die störendsten Komplikationen der Mitchell-Osteotomie sind Metatarsalgie, bedingt durch Fehlheilung des distalen Fragments in Dorsiflexion und übermäßiger Verkürzung des ersten Metatarsale, oder beidem. Wenn jedoch darauf geachtet wird, die Knochenlänge zu erhalten, das Metatarsalköpfchen in Plantarflexion auszurichten und die Fragmente intern zu fixieren, können gute Ergebnisse mit der modifizierten Mitchell-Osteotomie erreicht werden (Herring and Tachdjian, 2002).

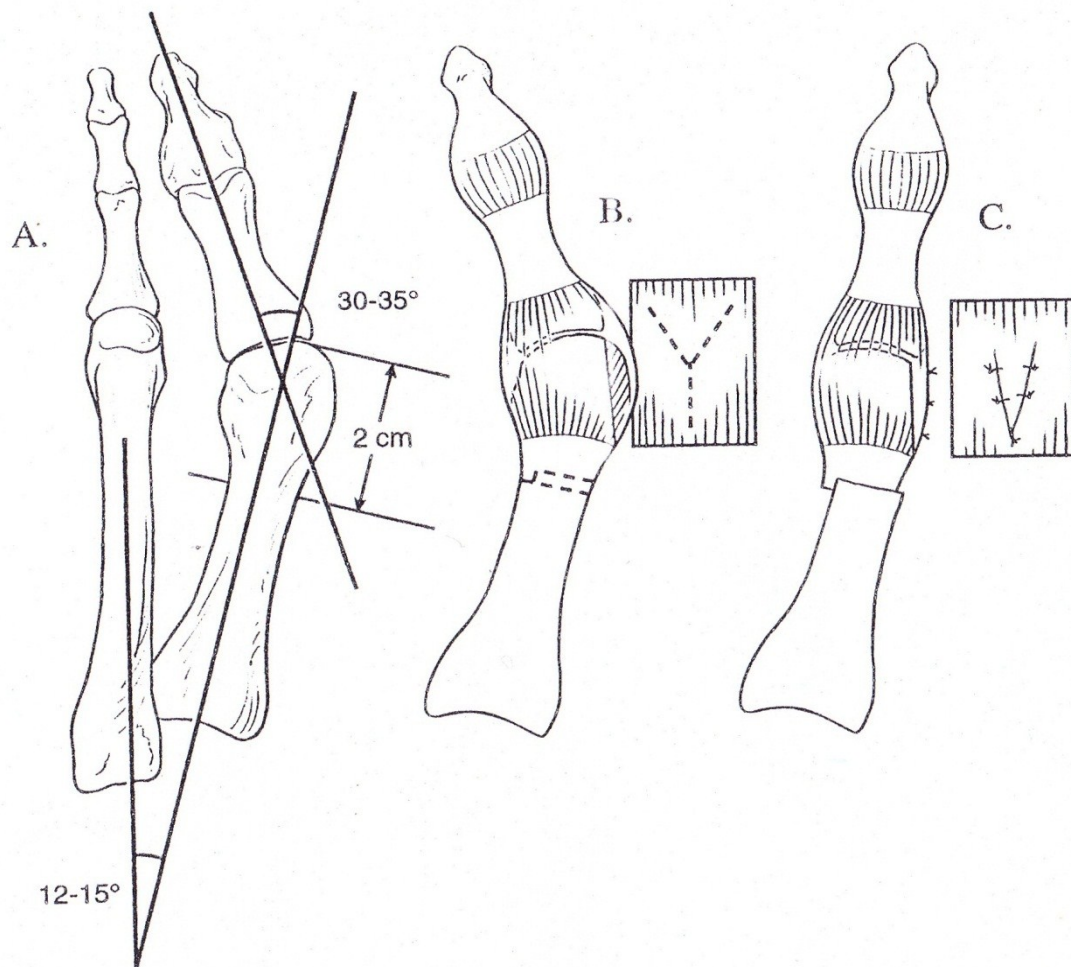


Abbildung 13: Mitchell-Osteotomie: A-C Zwei Osteotomien werden durchgeführt, wobei die distalere lateral inkomplett ist. Fragment wird lateral verschoben und mit Schrauben oder Pins fixiert. Vorsichtige Abtragung der Pseudoexostose. V-Y-Kapsulorrhaphie des medialen MTP-Gelenks.

(Quelle: Herring and Tachdjian, 2002, p. 1016)

CHEVRON- OSTEOTOMIE IN DER TECHNIK NACH AUSTIN

Eine zweite Osteotomie des distalen Metatarsale, die zur Behandlung des Hallux valgus bei Erwachsenen sowie Jugendlichen populär geworden ist, ist die **Chevron- bzw. Austin-Osteotomie** (Herring and Tachdjian, 2002, p. 1016). Auch auf sie soll mit Vor- und Nachteilen sowie möglichen Komplikationen eingegangen werden. Diese Operation besteht aus: (Canale and Campbell, 2003)

1. Abtragung der medialen Pseudoexostose
2. „V“-förmige intrakapsuläre Osteotomie
3. Lateralverschiebung des distalen Fragments
4. Entfernung des überstehenden Knochenschafts
5. mediale Kapsulorrhaphie

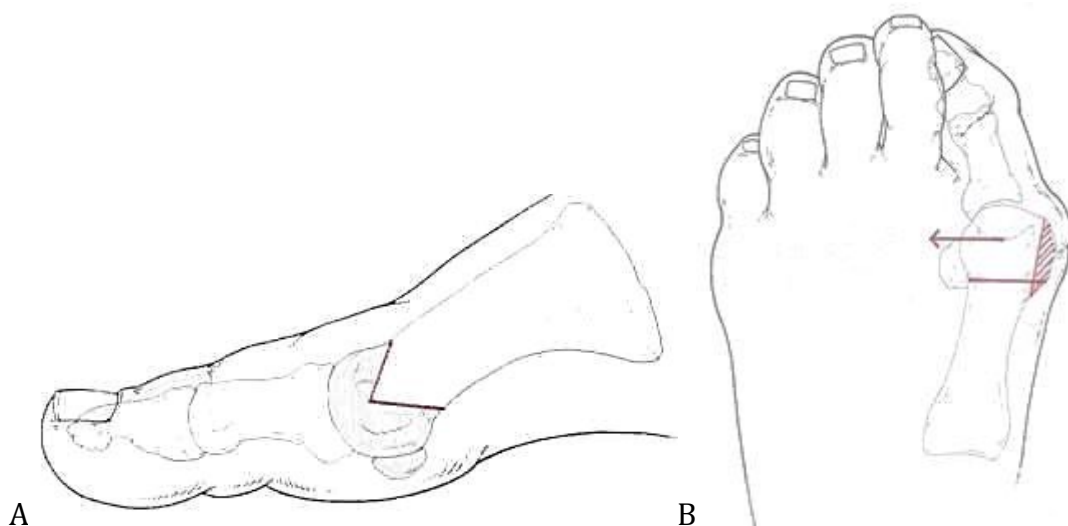


Abbildung 14: Chevron Osteotomie:
(A) V-förmige Osteotomieschnittflächen mit Schnittpunkt im Metatarsalköpfchen
(B) Lateralverschiebung des distalen Fragments und Abtragung der Pseudoexostose

(Quelle: <http://www.journalmed.de/aktuellview.php?id=372>;
zuletzt geöffnet am: 09.08.2012)

INDIKATION, VOR- UND NACHTEILE DER METHODE

Diese Methode wird empfohlen für jüngere Patienten (Adoleszenz bis zur vierten Dekade) mit einem Hallux-valgus-Winkel von $< 30^\circ$ und einem IMT-Winkel von $< 13^\circ$. Mit einigen Modifikationen können etwas schwerere Deformitäten mit einem Hallux-valgus-Winkel bis 35° und einem IMT-Winkel bis 15° operiert werden (Canale and Campbell, 2003). Der Vorteil dieser Methode ist die hohe Primärstabilität und die relativ große Kontaktfläche der Osteotomie (Wirth, 2002). Schlechte Resultate werden technischen Fehlern wie zum Beispiel dem Verlust der Stellung oder übereifriger Resektion der Pseudoexostose zugeschrieben (Herring and Tachdjian, 2002).

Ein gemeinsamer Vorteil der Mitchell- und der Chevron-Osteotomie ist, dass sie distal ausgeführt werden und damit die proximal gelegene Epiphysenfuge des ersten Metatarsale schonen.

Die Chevron-Osteotomie hat mehrere Vorteile gegenüber der Mitchell-Osteotomie und ihren Modifikationen: Sie wird durch den spongiösen Knochen gemacht, verkürzt das Metatarsale weniger und ist formstabil (Canale and Campbell, 2003).

Die avaskuläre Nekrose ist eine Komplikation, die bei beiden Operationsverfahren auftreten kann (Herring and Tachdjian, 2002, p. 1016).

Welche Operationsmethode ausgewählt wird, wird anhand der präoperativen Messungen in den Röntgenbildern (Vorfuß im Stehen, dorso-plantarer Strahlengang) entschieden. Vermessen werden: Hallux-valgus-Winkel, IMT-Winkel, ggf. DMAA, Metatarsalindex, Sesambeinposition und Arthrosegrad des MTP-Gelenks (Herring and Tachdjian, 2002). Auf die genannten radiologischen Winkel und Abkürzungen wird später detailliert im Kapitel „Radiologische Beurteilung“ eingegangen.

ÜBERLEGUNGEN ZUR INDIKATIONSSTELLUNG DER OPERATION BEIM HALLUX VALGUS

Für die operative Korrektur des Hallux valgus im Kindes- und Jugendalter gibt es keine klaren Richtlinien. Indikationen und richtiger Zeitpunkt für die Operation werden kontrovers diskutiert. (Coughlin and Mann, 1987, p. 123)

Coughlin (Coughlin, 1995) schlug folgendes Vorgehen anhand unterschiedlicher Schweregrade vor:

- Chevron- oder McBride Operation für leichte Deformitäten
- Distaler Weichteileingriff mit proximaler Metatarsale-I-Osteotomie bei moderaten bis schweren Deformitäten mit subluxiertem MTP-Gelenk
- Doppelosteotomie des Halses und der Basis des Metatarsale I bzw. Doppelosteotomie des Halses des Metatarsale I und der Basis der proximalen Phalanx bei moderaten bis schweren Fällen mit vergrößertem DMAA

Für schwere Fehlstellungen empfahlen Coughlin und Mann eine Trippelosteotomie, bestehend aus einer Open-Wedge-Osteotomie des medialen Os cuneiforme, einer distalen Osteotomie des Metatarsale I zur Korrektur des abnormen DMAA und einer Akin-Osteotomie (Basisosteotomie der proximalen Phalanx) (Canale and Campbell, 2003). Das Verfahren sollte für Patienten mit ausgesprochen gespreiztem Vorfuß mit einem Metatarsale I-V Winkel von mehr als 30° und einem IMT-Winkel von mehr als 15° angewendet werden. Der Hallux-valgus-Winkel sollte über 35° und der DMAA über 15° liegen. (Canale and Campbell, 2003).

Peterson und Newman (zitiert in *Campbell's operative orthopaedics*. Canale and Campbell, 2003) befürworteten hingegen eine proximale oder distale Osteotomie des Metatarsale kombiniert mit einem Weichteileingriff für leichte bis moderate Deformitäten. Für Hallux-valgus-Winkel über 30° und IMT-Winkel über 13° empfahlen sie eine Doppelosteotomie des Metatarsale (Open-Wedge proximal, Closed-Wedge distal,

um den DMAA zu korrigieren). Bei 13 von 15 operierten Füßen (Durchschnittsalter 16 Jahre 10 Monate) konnte eine exzellente Korrektur mit diesem Verfahren erreicht werden.

E. Greer Richardson und Brian G. Donley beschreiben die aktuelle Situation in „*Campbell's operative orthopaedics*“ (10th ed., Mosby, St. Louis) folgendermaßen:

Die Indikationen für die chirurgische Korrektur des Hallux valgus im Kindes- und Jugendalter sind weder strikt, noch klar definiert und auch über den optimalen Zeitpunkt für die Operation besteht keine Einigkeit. Die Debatte, ob man warten soll, bis die Wachstumsfugen der Phalanx und des Metatarsale geschlossen sind, ob die Progression vor der Operation zuerst röntgenologisch sichergestellt werden sollte, oder ob Schmerz eine Hauptindikation sein sollte, ist noch nicht abgeschlossen. Es existieren gut dokumentierte Arbeiten (Bonney and Macnab, 1952; Scranton and Zuckerman, 1984), die eine operative Korrektur nur für Jugendliche mit schmerzvoller, fortschreitender Deformität und erst nach Schluss der Wachstumsfuge empfehlen. Andererseits gibt es ebenfalls gut dokumentierte Arbeiten (Simmonds and Menelaus, 1952 Aug; Helal et al., 1974), die nahelegen, dass die Operation vor dem Alter von 15 Jahren, ob offene oder geschlossene Wachstumsfuge, die besten Langzeitergebnisse bringt.

Quelle: *Canale, S.T. and Campbell, W.C. (2003), Campbell's operative orthopaedics, 10th ed., Mosby, St. Louis.*

Die Angaben in der Literatur über die Resultate der operativen Hallux valgus Korrektur sind uneinheitlich und die Rezidivrate wird als hoch angegeben (Zollinger et al., 1996). Somit gestaltet sich die Korrektur des Hallux valgus bisweilen schwierig und oftmals enttäuschend (Canale and Campbell, 2003).

Vereinzelt wird empfohlen, mit der Operation bis zum Ende des Knochenwachstums zu warten, was aber aufgrund beträchtlicher Beschwerden oft unmöglich ist (Zollinger et al., 1996). Coughlin sah bei seinen Patienten mit offener Epiphysenfuge eine Überkorrektur zum Hallux varus als das größte Risiko an (Coughlin, 1995).

Neben dem Entwicklungsstand des Skelettsystems scheinen noch eine Reihe weiterer Faktoren bei der Entstehung eines Rezidivs eine Rolle zu spielen:

- Technische Durchführung der OP (Helal *et al.*, 1974)
- Stabilität der Operationsmethode (Helal *et al.*, 1974)
- Grad der Mobilität am MTP-Gelenk (beeinflusst durch Ausmaß der Weichteildissektion, postoperativer Fibrose, relativer Länge des Knochens im Vergleich zu den Weichteilstrukturen) (Helal *et al.*, 1974)
- Breite des Vorfußes auf Höhe der Metatarsalköpfchen (Helal *et al.*, 1974)
- Vermögen des ersten Metatarsale, seinen Gewichtsanteil zu tragen (Helal *et al.*, 1974)
- Begleiterkrankungen des Fußes (Pes planus, Metatarsus primus varus, Hyperlaxizität der Bänder, verkürztes Metatarsale I, rheumatoide Arthritis, arthrotische Veränderungen,...)
- Postoperative Nachsorge

STUDIENZIEL

Das Ziel dieser retrospektiven Arbeit ist es, über klinische und radiologische Langzeitergebnisse bei Patienten, die im Kindes- und Jugendalter mit einer Chevron-Osteotomie nach Austin (Austin and Leventen, 1981) operiert wurden, zu berichten. Auf mögliche Faktoren, die ein Rezidiv begünstigen, soll eingegangen werden sowie auf die Frage, ob die Operation vor Epiphysenfugenschluss die Wahrscheinlichkeit für ein Rezidiv erhöht.

PATIENTEN UND METHODEN

Patienten, die zwischen 1999 und 2009 an der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie Graz an einem Hallux valgus mittels Chevron OP operiert wurden, wurden in diese Studie inkludiert. Die Patientendaten wurden aus dem klinikeigenen Dokumentationssystem MEDOCS akquiriert.

MEDOCS ist ein SAP (System Applications and Products in Data Processing, Walldorf, Germany) basiertes System, das an den Universitätskliniken Graz für administrative Patientenverwaltung, Kostenkalkulation, Speicherung und Verwaltung von Patientendaten verwendet wird.

Der Einschluss in die Studie war an folgende Kriterien gebunden: Es wurden ausschließlich Patienten ausgewählt, die nach der Operationsmethode nach Austin mit kombinierter Weichteilkorrektur operiert wurden (Austin and Leventen, 1981). Es wurden nur Patienten mit einem primären Hallux valgus ohne Begleiterkrankungen eingeschlossen. Ein sekundärer Hallux valgus, zum Beispiel posttraumatisch oder bei Cerebralparese, wurde nicht berücksichtigt. Bei allen Patienten musste ein prä- und ein postoperatives Röntgen des operierten Fußes vorhanden sein. Die Ausschlusskriterien waren: Alter beim OP-Zeitpunkt über 16 Jahren; Ablehnung der Nachuntersuchung; Voroperation am betroffenen Fuß vor der Hallux valgus-Operation.

Die Nachuntersuchung beinhaltete ein neuerliches Röntgen im Stehen, die klinische Untersuchung des Fußes und das Ausfüllen von standardisierten Fragebogen. Radiologisch wurden der HV- und der IMT-Winkel, der COA, der Metatarsalindex sowie die Sesambeinposition erfasst. Für die Fragebögen wurden die AOFAS-HMIS, der AOFAS-MS, der Maryland Foot Score und der Takakura-Score verwendet. Die Scores berücksichtigten Schmerzen, Bewegungsumfang, Gehstrecke, Stabilität, Schuhkonflikte und Zurechtkommen im Alltag. Detaillierte Informationen über die Scores sind weiter unten zu finden.

Statistik

Die Daten waren gemäß dem Kolmogorow-Smirnow-Test normalverteilt. Die radiologischen Daten und die klinischen Erhebungen vor und nach der Operation wurden mittels Varianzanalyse (ANOVA) mit dem Scheffé Post-hoc-Test statistisch bewertet. P-Werte kleiner als 0,05 wurden als statistisch signifikant erachtet.

Die Studie wurde von der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz (EK-Nummer 23-507 ex 10/11) geprüft, ein positives Ethikvotum wurde ausgestellt.

INDIKATION FÜR DIE OPERATION IN UNSEREM PATIENTENGUT

In „*Campbell's operative orthopaedics*“ (Canale and Campbell, 2003) wird die Chevron-Operation für Heranwachsende und Erwachsene bis zur 4. Lebensdekade, mit einem HV-Winkel von $< 30^\circ$ und einem IMT-Winkel von $< 13^\circ$, empfohlen. Mit Modifikationen (in Kombination mit einem Weichteilrelease) können auch HV-Winkel bis 35° und IMT-Winkel bis 15° operiert werden. Für in diese Studie inkludierte Patienten wurde ein maximaler HV-Winkel von 30° als Obergrenze gewählt sowie ein maximaler IMT von 15° . An der klinischen Abteilung für Kinderorthopädie der Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie sind diese Werte die Standardwerte. Der operative Eingriff wurde erst bei Versagen der konservativen Therapiemöglichkeiten und bei Progression der Deformität, entsprechend der Empfehlung von Goldner and Gaines (1976), indiziert.

Die konservative Therapie bestand in einer Einlagenversorgung mit retrocapitaler Abstützung sowie in einer Schuhverordnung, die den Zehen ausreichend Platz bieten und keinen lateralen Druck auf die große Zehe ausüben konnte. Traten dennoch Schuhprobleme oder Schmerzen auf, war bei diesen Patienten die Operation indiziert. Berichteten die Patienten über Schmerzen, traten diese meist am prominenten Metatarsalköpfchen oder am medialen MTP-Gelenk auf.

Eine rein kosmetische Indikation zur Operation bei Patienten ohne Schmerzen, die aber unzufrieden mit dem Aussehen ihres Fußes waren, wurde abgelehnt. Bei Patienten mit beidseitigem Hallux wurde ein zweizeitiges Vorgehen gewählt.

NACHUNTERSUCHUNG

RADIOLOGISCHE BEURTEILUNG

Bei der Nachuntersuchung wurde ein neuerliches Röntgen des Fußes in den Ebenen anterior/posterior und seitlich im Stehen angefertigt. Es wurden Hallux-valgus-Winkel, Intermetatarsalwinkel, Metatarsalindex und Sesambeinposition ermittelt und mit den präoperativen sowie den postoperativen Röntgenaufnahmen (1-3 Monate postoperativ) verglichen.

Hallux valgus-Winkel (HV-Winkel)

Der Hallux valgus-Winkel wurde nach der Methode von Hardy und Clapham (Hardy and Clapham, 1951) gemessen (Abbildung 15): Der Metatarsalschaft wird an zwei Punkten halbiert, die Punkte verbunden und die Linie nach oben und unten verlängert. Eine zweite Linie wird durch die Längsachse der Phalanx proximalis gelegt. Der Schnittpunkt dieser beiden Linien ergibt den Hallux valgus-Winkel. Normalerweise beträgt er 16° oder weniger (Thompson, 1996).



Abbildung 15 Hallux-valgus-Winkel

(Quelle: Hardy and Clapham, 1951)

Intermetatarsalwinkel (IMT-Winkel)

Der Intermetatarsalwinkel wurde nach der Methode von Hawkins (Hawkins F. B., 1945) gemessen (Abbildung 16): Eine Linie wird durch die Längsachse des ersten Metatarsale gelegt und nach unten verlängert. Beim zweiten Metatarsale wird gleich verfahren, der Schnittpunkt dieser beiden Linien ergibt den Intermetatarsalwinkel. Ein Wert von 10° und mehr im belasteten Röntgen ist pathologisch (Herring and Tachdjian, 2002).



Abbildung 16: IMT-Winkel
(Quelle: Hardy and Clapham, 1951)

Metatarsalindex

Der Metatarsalindex bewertet die relative Länge des ersten Metatarsale zu den Übrigen. Es gibt verschiedene Methoden der Messung, die zum Teil unterschiedliche Resultate bringen können (Blauth, 1986). Für die Studie wählten wir die Methode nach Nilsonne (Nilsonne, 1930): Zuerst wird eine Linie in die Längsachse des Metatarsale II gelegt. Von dieser wird je ein Lot in Höhe der distalen Gelenkfläche des Metatarsale I und II gelegt und auf diese Achse gefällt. Der Abstand dieser beiden Linien zueinander ist die gesuchte relative Längendifferenz. Ist das erste Metatarsale kürzer als das zweite, spricht man von einem **Minus-Index**, bei gleicher Länge von einem **Plus-Minus-Index** und bei längerem ersten Metatarsale von einem **Plus-Index** (Abbildung 17).

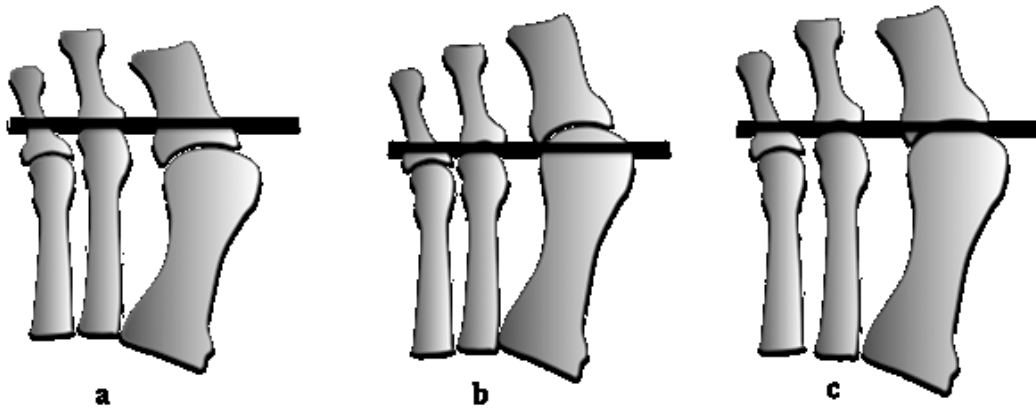


Abbildung 17:Metatarsalindex:
 (a) Minus-Index
 (b) Plus-Index
 (c) Plus-Minus-Index



Abbildung 18: Röntgenbild eines Fußes mit Hallux valgus mit folgenden Messungen: HV-Winkel (HV), IMT-Winkel (IMT) und Metatarsalindex (IMT-Index). Man beachte außerdem die Lateralisierung der Sesambeine.

(Quelle: Wanivenhaus *et al.*, 2009)

Sesambeinposition

Die Position der Sesambeine in Relation zur Längsachse des ersten Metatarsale wurde vereinfacht nach der Methode von Hardy und Clapham (Hardy and Clapham, 1951) gemessen. Dabei wurde die Lage der Sesambeine in 4 Grade eingeteilt, entsprechend der Empfehlung der Österreichischen Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie (Skriptum der Österreichischen Gesellschaft für Orthopädie – Ausbildungsseminar: Fuß)

- Stadium 0 (a): mediales Sesambein überragt die Längsachse zu 0 %
- Stadium 1 (b): mediales Sesambein zu < 50 % lateralisiert
- Stadium 2 (c): mediales Sesambein zwischen 50 % und 100 % lateralisiert
- Stadium 3 (d): mediales Sesambein zur Gänze (>100 %) lateral der Längsachse

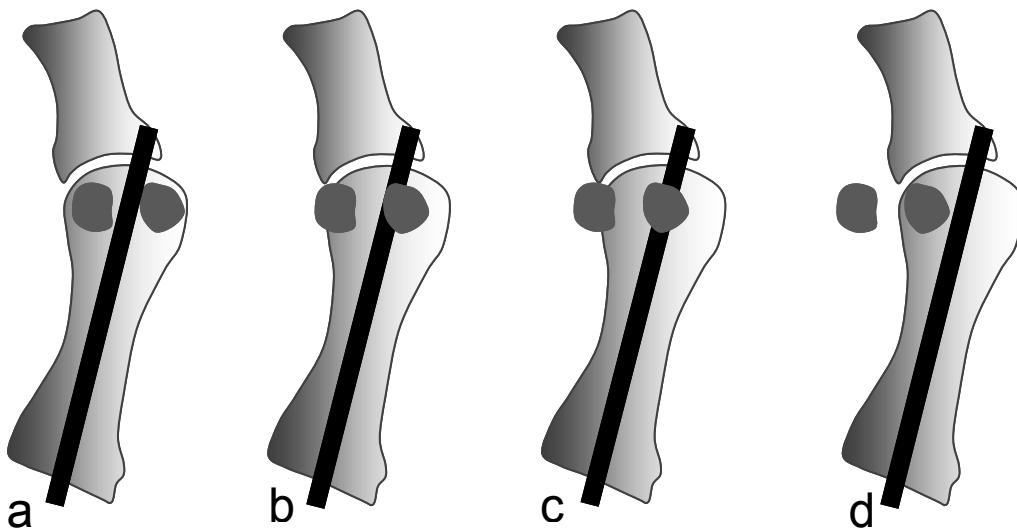


Abbildung 19: Sesambein-Luxationsgrade:
(a) Stadium 0
(b) Stadium 1
(c) Stadium 2
(d) Stadium 3

COA – Cuneiform obliquity angle – Schrägstellung des Metatarsocuneiformegelenks

Zusätzlich zu den bereits genannten Winkeln wurde der COA (Cuneiform obliquity angle) ermittelt. Dieser Winkel ist ein Maß für die Schrägstellung des Metatarsocuneiformegelenks nach medial und ergibt sich aus der Längsachse des medialen Os cuneiforme und der distalen Gelenkfläche. Die Längsachse ist definiert als Verbindungslinie zwischen dem proximalen medialen und dem distalen medialen Eckpunkt des Os cuneiforme (Abbildung 20).

Da dieser Winkel nicht standardmäßig gemessen wird, existieren für ihn keine Normwerte. Vyas et al. (Vyas *et al.*, 2010) haben in ihrer Arbeit „The role of the first metatarsocuneiform joint in juvenile hallux valgus“ keinen Anhaltspunkt für eine signifikante Änderung dieses Winkels beim juvenilen Hallux valgus gefunden (68,34° in der Gruppe mit juvenilem HV versus 67,81° in der gesunden Kontrollgruppe). Dennoch könnte er beim unreifen Jugendlichen mit Hallux valgus Einfluss auf das weitere Wachstum des Os metatarsale I und damit auf die mögliche Entwicklung eines postoperativen Rezidives haben. Mehrere Autoren (Coughlin and Mann, 1987) sehen in der übermäßigen Schrägstellung des MTC-Gelenks den Grund für eine Inklination des ersten Metatarsale.



Abbildung 20: Darstellung des Cuneiform obliquity angle (COA). Er wird gebildet durch die medialen Eckpunkte des Os cuneiforme mediale und der distalen Gelenkfläche.

Quelle: (Vyas *et al.*, 2010)

KLINISCHE BEURTEILUNG

Es folgte die klinische Untersuchung des Fußes. Auch sie war Bestandteil der Scores und wurde entsprechend bewertet. Folgende Parameter wurden überprüft:

1. Schuhwerk
2. Gangbild
3. Fuß und Fußform
4. Aktive und passive Beweglichkeit (OSG, USG, MTC-Gelenk, MTP-Gelenk)

Ad 1.: Eine genaue Betrachtung des Schuhwerks kann bereits gute Hinweise auf eine Fehlbelastung des Fußes geben. Kommt es zu Problemen mit bestimmten Schuhen? Gibt es Druckstellen oder Fehlbelastung? Durch die Abnutzung der Sohle und der Form des Schuhs kann man auf Bereiche vermehrter oder verminderter Belastung schließen. Von Interesse ist auch die Art des Schuhs: Material, Absatz, Zehenfreiheit und Innensohle.

Ad 2.: Es wird auf die Schrittlänge, die Geschwindigkeit, die Bewegung in den Gelenken, das Aufsetzen der Ferse und das Abrollen über den Vorfuß geachtet. Wie erfolgt die Belastungsverteilung in der Standphase? Kommt es zu einer Valgisierung der Großzehe? Wie verhält sich das Fußgewölbe unter Belastung? Liegen Fehlstellungen des Skelettapparates vor, insbesondere Knick-, Senk- oder Plattfuß? Kommt es zu einer Schonhaltung oder zum Hinken? Bestehen Abweichungen der Beinachse oder eine Beinlängendifferenz? Ist die Beinmuskulatur seitengleich ausgeprägt? Es werden immer beide Beine im Seitenvergleich untersucht.

Ad 3.: Die Fußform kann schon beim ersten Blick auf eine Deformität hinweisen. Beim stehenden Patienten wurde die Form des Fußes, die Ausbildung des Längs- und Quergewölbes und die Stellung der Zehen beurteilt. Es wird geprüft, ob die erste Zehe richtig ausgerichtet ist, oder ob sie nach lateral abweicht. Die Fehlstellung beim Hallux valgus kann so groß sein, dass sich die erste Zehe über oder unter die zweite Zehe schiebt. Das kann zu einer hammerzehenartigen Veränderung der lateralen Ze-

hen führen. Weiters achtet man auf die Trophik der Haut, Schwielen, Clavi, Druckstellen und Entzündungszeichen über der Pseudoexostose.

Ad 4.: Beim Zehenspitzen- und Hakengang kann grob der aktive Bewegungsumfang und die Neurologie geprüft werden. Am sitzenden Patienten werden bei herabhängenden Füßen folgende Gelenke aktiv und passiv durchbewegt: OSG (Plantarflexion/Dorsalextension), USG (Inversion/Eversion), MTC-Gelenk (Plantarflexion/Dorsalextension) und MTP-Gelenk (Flexion/Extension). Dabei können sowohl der Zustand der Gelenke, als auch muskuläre Dysfunktionen aufgrund neurologischer Erkrankungen wie Cerebralparese untersucht werden. Die Zehen und übrigen Gelenke sollten auch begutachtet werden.

VERWENDETE SCORES

Die Patienten wurden zu ihren derzeitigen Beschwerden und zum Zurechtkommen im Alltag befragt – hierbei wurden standardisierte Fragebogen (AOFAS; Maryland Foot Score und Takakura-Score) verwendet. Im Besonderen wurden erfasst: Schmerzen, Gehstrecke, Schuhwerk, Zurechtkommen im Alltag, kosmetisches Ergebnis und Zufriedenheit nach der Operation. Alle Scores können detailliert im Anhang eingesehen werden.

AOFAS (AMERICAN ORTHOPAEDIC FOOT AND ANKLE SOCIETY) (KITAOKA, 1991; KITAOKA *ET AL.*, 1994):

Für die Studie wurden zwei Scores der AOFAS verwendet, der „AOFAS Midfoot-Score“ und die „AOFAS Hallux Metatarsophalangeal-Interphalangeal Scale“.

Der AOFAS Midfoot-Score (MS) umfasst die drei Teilbereiche *Schmerzen* (40 Punkte), *Funktion* (45 Punkte) und *Ausrichtung* (15 Punkte). Der Teilbereich *Funktion* umfasst dabei die Kategorien: Aktivität/Gehhilfen, Schuhwerk, maximale Gehstrecke, Bodenbelag/-profil und Gehfehler.

Die AOFAS Hallux Metatarsophalangeal-Interphalangeal Scale (HMIS) bewertet ebenfalls die Teilbereiche *Schmerzen* (40 Punkte), *Funktion* (45 Punkte) und *Ausrichtung* (15 Punkte) des Hallux. Der Bereich *Funktion* bewertet Aktivität, erforderliches Schuhwerk sowie die Beweglichkeit bzw. Stabilität im Metatarsophalangeal- bzw. im Interphalangealgelenk.

Radiologische Faktoren sind keine enthalten. Erreichbare Punktezahl: 0 bis 100.

Bewertung:

- 90-100 Punkte = exzellent
- 75-89 Punkte = gut

- 60-74 Punkte = ausreichend
- < 60 Punkte = schlecht

MARYLAND FOOT SCORE (MFS) (SANDERS *ET AL.*, 1993):

Der MFS erfasst Schmerzen, Gehstrecke, Stabilität, Gehhilfen, Hinken, Schuhwerk, Treppensteigen, Bodenbelag, kosmetisches Ergebnis und Bewegungsumfang, welcher jedoch nur grob unterteilt wird. Er gibt besonders gut die subjektive Patientenzufriedenheit wieder. Erreichbare Punktezahl: 5 bis 100.

Bewertung:

- 80-100 Punkte = exzellent
- 70-79 Punkte = gut
- 60-69 Punkte = ausreichend
- < 60 Punkte = schlecht

TAKAKURA-SCORE (TAKAKURA *ET AL.*, 1990):

Bei diesem Score werden erfasst: Schmerzen, Gehstrecke, Hinken, Treppensteigen, Bewegungsumfang OSG, Stehen am operierten Fuß und Sitzen im Seiza (kniend auf den Fersen). Er wurde deshalb ausgewählt, weil er die Probleme im Alltagsleben gut abdeckt. Erreichbare Punktezahl: 0 bis 100.

Bewertung:

- 90–100 Punkte = exzellent
- 80-89 Punkte = gut
- 70-79 Punkte = ausreichend
- < 70 Punkte = schlecht

OPERATIONSTECHNIK

Bei allen Patienten wurde sowohl eine modifizierte Weichteilkorrektur nach McBride (Mann and Pfeffinger, 1991), als auch eine knöchernerne Korrektur nach Austin (Austin and Leventen, 1981) durchgeführt.

OPERATIONSMETHODE NACH AUSTIN

Diese auch als „Chevron-Osteotomie“ bekannt gewordene Operationsmethode ist 1962 erstmals von *Dale W. Austin* in den USA angewandt worden. Der Name „Chevron“ kommt daher, weil die Osteotomieschnittflächen an die V-förmigen Abzeichen auf Militäruniformen erinnern. Die Besonderheit an dieser Methode ist die V-förmige, nach proximal geöffnete Osteotomie, die es ermöglicht, das Metatarsalköpfchen an den Schnittflächen nach lateral zu verschieben. Corless (Corless, 1976) brachte erstmals ein Abstract über diese Technik heraus. Das Verfahren wurde von Austin weiter ausgefeilt und verfeinert. Schließlich konnten Austin & Leventen in einer 1981 publizierten Studie mit Patienten mit leichtem bis mittelschwerem Hallux valgus gute Ergebnisse für diese Methode nachweisen.

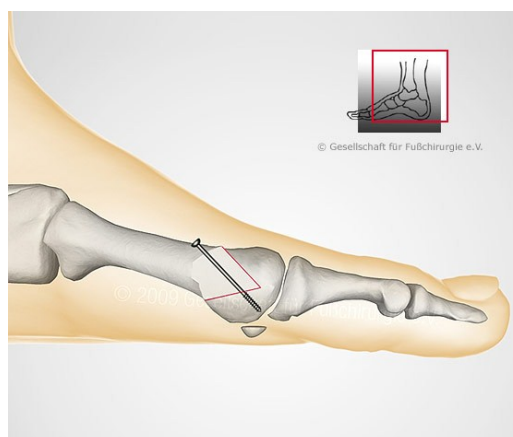


Abbildung 21: V-förmige Chevron-Osteotomie von medial: Fragmente mit Schraube fixiert.

(Quelle: <http://www.gesellschaft-fuer-fusschirurgie.de/hallux-valgus.html> (zuletzt geöffnet am 05.09.2012))



Abbildung 22: Chevron-Osteotomie von oben: Verschiebung des distalen Osteotomiefragments nach lateral, Fixation und Abtragung der Pseudoexostose

(Quelle: <http://www.gesellschaft-fuer-fusschirurgie.de/hallux-valgus.html> (zuletzt geöffnet am 05.09.2012))

ABLAUF DER OPERATION

Die Operation fand in Allgemeinnarkose statt. Der Operationsbereich wurde steril abgewaschen und abgedeckt. Der Eingriff wurde mit einer am Oberschenkel angelegten Esmarch'schen Blutsperrung durchgeführt. Der Hautschnitt erfolgte mittels einer dorso-medialen Inzision über dem MTP-Gelenk und wurde nach proximal bis an die Basis des MT I weitergeführt.

Es folgte ein „Laterales Release“, bei dem entweder über diesen, oder über einen 2. separaten Hautschnitt zwischen 1. und 2. Zehe, der 1. Interdigitalraum aufgesucht wurde. Dann wurden die Sehne des M. adductor hallucis und das Lig. metatarsium transversum vom lateralen Sesambein scharf abgetrennt. Die erste Zehe sollte somit ausreichend manuell reponierbar sein. War dies nicht möglich, konnte durch weiteres Lösen der bindegewebigen Kontrakturen und durch Mobilisieren der lateralen Sesambeingleitlager zusätzlich Bewegungsspielraum gewonnen werden.

Medialseitig wurde der M. abductor abgelöst. Die mediale Kapsel des MTP-Gelenks wurde im Anschluss L-förmig oder T-förmig eröffnet und lappenförmig freipräpa-

riert, das Periost und die Basis der proximalen Phalanx wurden dargestellt (Abbildung 23). Wenn erforderlich, wurde die mediale Pseudoexostose über dem Mittelfußköpfchen mit einem Meißel oder einer Säge vorsichtig abgetragen (Abbildung 24), dabei achtete man auf den Erhalt des Sesambeingleitlagers. Es wurde nun ein Kirschnerdraht (Abbildung 25) von medial nach lateral durch das Caput eingebracht, der als Führungsdraht für die Osteotomie diente und in der Spitze des „V“ lag. Es erfolgte dann eine V-förmige transversale Osteotomie des 1. Metatarsale in einem Winkel von 60° (Abbildung 26). Auf dieser Schnittebene konnte das distale Knochenfragment um maximal 2/3 der Schaftbreite des MT I nach lateral verschoben werden (Abbildung 27). Nach erfolgreicher Reposition wurde die Osteotomie mit Kirschnerdrähten fixiert und der nach medial überstehende Anteil des Schafts abgetragen (Abbildung 28). Die Kapsel wurde gerafft, das überschüssige Gewebe reseziert und die Kapsel wieder verschlossen (Abbildung 29).



Abbildung 23: L-förmige Eröffnung der Gelenkkapsel

(Quelle: Canale and Campbell, 2003)



Abbildung 24: Abtragung der Pseudoexostose
(Quelle: Canale and Campbell, 2003)



Abbildung 25: Positionierung des Führungsdrahtes
(Quelle: Canale and Campbell, 2003)



Abbildung 26: V-förmige Osteotomieschnittflächen mit einem Winkel von 60°
(Quelle: Canale and Campbell, 2003)

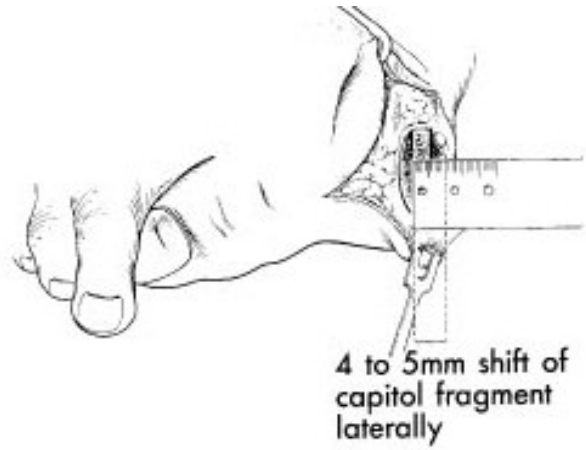


Abbildung 27: Lateralverschiebung des distalen Osteotomiefragments

(Quelle: Canale and Campbell, 2003)

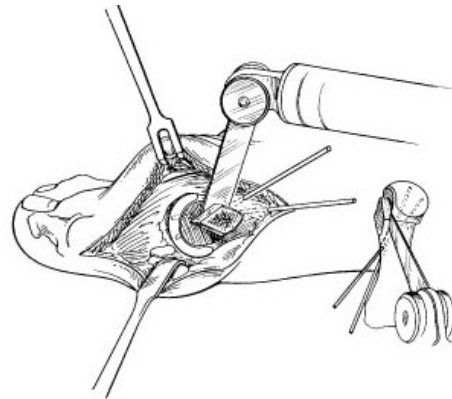


Abbildung 28: Fixierung mit K-Drähten und Abtragung des überstehenden Knochens

(Quelle: Canale and Campbell, 2003)



Abbildung 29: Verschluss der L-förmigen Kapsulotomie und Korrektur des metatarsophalangealen Valgus.

(Quelle: Canale and Campbell, 2003)

POSTOPERATIVES MANAGEMENT

Alle Patienten wurden postoperativ nach demselben Protokoll behandelt: Unmittelbar nach der Operation wurde ein Acrylastic®-Verband (BSN Medical) angelegt, um die große Zehe in medialer Position zu fixieren. Nach Abklingen der Schwellung und Wundheilung wurde für 6 Wochen ein Unterschenkelgehgips angelegt. Volle Belastung des operierten Fußes im Gips war erlaubt. Die perioperative Thromboseprophylaxe wurde bis zur Gipsentfernung fortgeführt.

Nach der Entlassung wurden wöchentliche Kontrollen zum Gipswechsel und zur Wundkontrolle durchgeführt. Nach sechs Wochen wurden der Gips und die K-Drähte ambulant entfernt.

Postoperative Röntgenaufnahmen im Stehen wurden innerhalb der ersten 3 Monate nach der Operation angefertigt. Röntgenaufnahmen vor Entfernung der K-Drähte waren nicht bei jedem Patient obligat.

ERGEBNISSE

27 Patienten (8 männlich, 19 weiblich, 33 Füße) erfüllten die Einschlusskriterien und wurden zur Nachuntersuchung eingeladen. An der Nachuntersuchung nahmen schließlich 12 Patienten (15 Füße) teil.

Die durchschnittliche Zeit zwischen Operation und Nachuntersuchung betrug 7,28 Jahre (SD +/- 3,01; Range: 2,2 – 11,2 Jahre). Das mittlere Alter der Patienten zum Operationszeitpunkt war 14,2 Jahre (SD +/- 1,83; Range 11,7 – 17,3 Jahre).

RADIOLOGISCHE ERGEBNISSE

HV- UND IMT-WINKEL

Präoperativ lag der HV-Winkel bei einem Mittel von 31,53° (SD +/- 8,57; Range 14-45) und der IMT-Winkel bei einem Mittel von 13,20° (SD +/- 2,08 Range 10-17). Postoperativ zeigte der HV-Winkel ein Mittel von 14,47° (SD +/- 4,67; Range 7-22) und der IMT-Winkel von 6,13° (SD +/- 2,13; Range 4-10).

Im Mittel verbesserte sich der HV-Winkel um 17,07° (SD +/- 7,14; Range 6-26; $p < 0,000$) und der IMT-Winkel um 7,33° (SD +/- 2,82; Range 3-13; $p < 0,000$) nach der Operation. Die Korrektur konnte bis zur Nachuntersuchung ohne signifikanten Unterschied beibehalten werden (HV-Winkel: $p = 0,863$; IMT-Winkel: $p = 0,481$). Bei der Nachuntersuchung wurde ein mittlerer HV-Winkel von 16,33° (SD +/- 8,80; Range 3-28) und ein mittlerer IMT-Winkel von 7,60° (SD +/- 4,39; Range 0-15) gemessen.

Die Epiphysenfuge am ersten Metatarsale war zum Operationszeitpunkt bei 8 von 15 Füßen noch nicht geschlossen.

Fuß	Prä-OP	Post-OP
1	37°	12°
2	41°	22°
3	45°	19°
4	36°	18°
5	18°	9°
6	38°	12°
7	28°	10°
8	34°	15°
9	34°	18°
10	28°	20°
11	14°	8°
12	30°	7°
13	38°	14°
14	30°	18°
15	22°	15°
MW	31,53°	14,47°
SD	8,57	4,67

Tabelle 1: HV-Winkel aller Patienten mit Mittelwert (MW) und Sandardabweichung (SD) prä- und postoperativ

Fuß	Prä-OP	Post-OP
1	10°	7°
2	13°	10°
3	17°	9°
4	17°	4°
5	14°	9°
6	14°	4°
7	14°	6°
8	13°	5°
9	12°	5°
10	10°	4°
11	13°	5°
12	12°	4°
13	15°	9°
14	12°	6°
15	12°	5°
MW	13,2°	6,13°
SD	2,08	2,13

Tabelle 2: IMT-Winkel aller Patienten mit Mittelwert (MW) und Sandardabweichung (SD) prä- und postoperativ

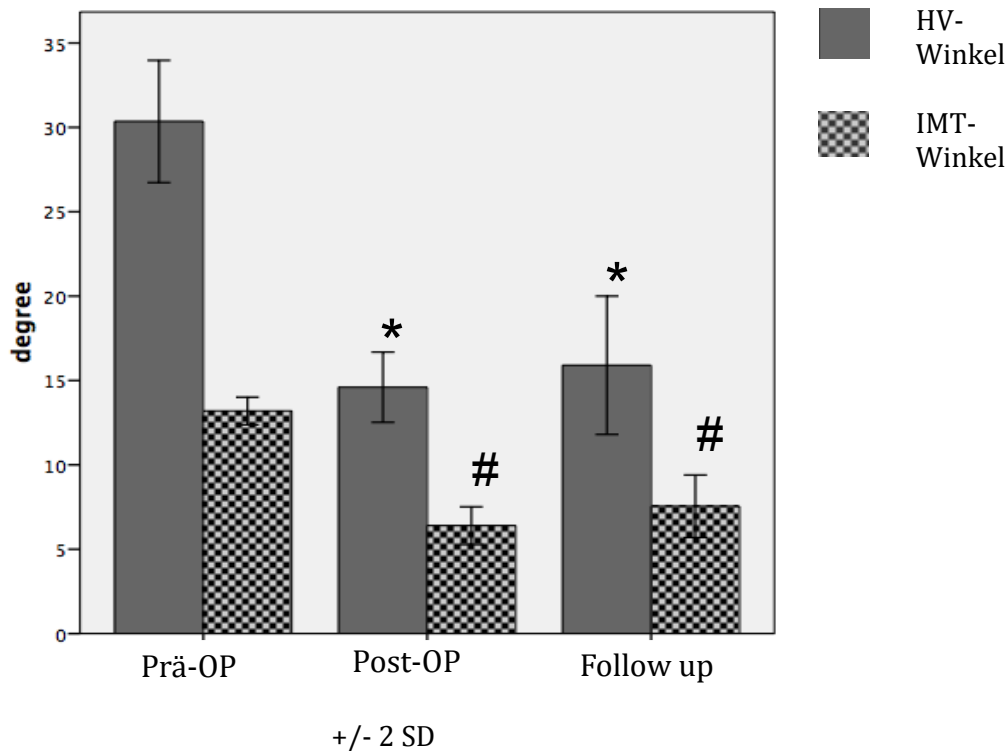


Abbildung 30: Mittelwerte des HV- und des IMT-Winkels prä-, postoperativ und bei Nachuntersuchung +/- 2 Standardabweichungen (Balken) und Signifikanzen (* und #).

METATARSALINDEX

Der Metatarsalindex veränderte sich zwischen der prä- und postoperativen Röntgenaufnahme bei 7 Patienten. Bei 5 Patienten verkürzte sich das Os metatarsale I, bei 2 Patienten kam es zu einer Zunahme des Metatarsalindex. Im Zeitraum zwischen der postoperativen Röntgenaufnahme und der Röntgenaufnahme am Nachuntersuchungstag zeigte sich bei 2 Patienten eine Verkürzung sowie bei einem Patient eine Verlängerung des Os metatarsale I.

SESAMBEINPOSITION

Die Sesambeinposition wurde bei allen Patienten prä-, postoperativ und bei der Nachuntersuchung erfasst. Bei 9 von 15 Füßen konnte eine Korrektur der Sesambeinposition (zum Stadium „0“) etabliert werden, die bei 3 Patienten bis zum Nachuntersuchungstermin anhielt. Im Zeitraum zwischen postoperativem Röntgen und

Nachuntersuchungsrontgen kam es bei 7 Patienten zu einer Verschlechterung der Sesambeinposition um mindestens ein Stadium und bei einem Patient zu einer Verbesserung.

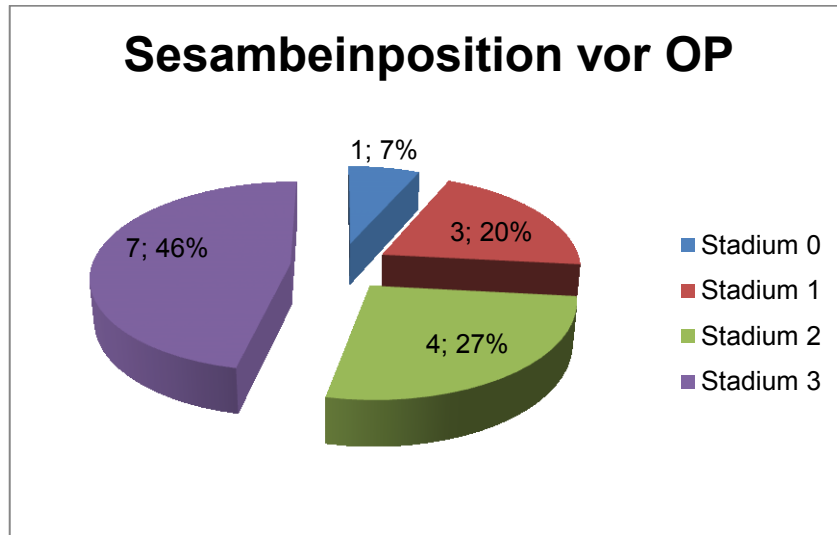


Abbildung 31: Sesambeinposition vor der Operation

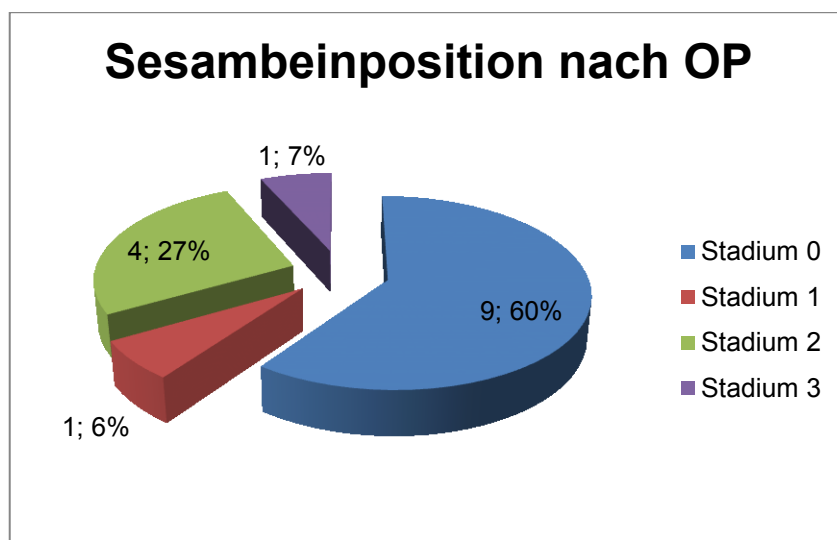


Abbildung 32: Sesambeinposition nach der Operation

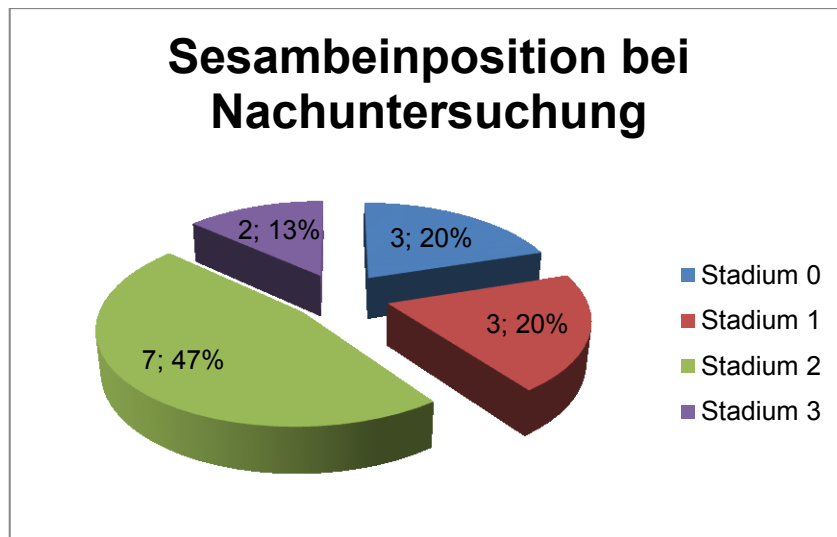


Abbildung 33: Sesambeinposition bei der Nachuntersuchung

COA – CUNEIFORM OBLIQUITY ANGLE

Der COA betrug vor der OP im Mittel $75,67^\circ$ (SD +/- 8,85; Range 60-90) und bei der Nachuntersuchung $74,8^\circ$ (SD +/- 7,5; Range 60-85). Der Unterschied ist nicht signifikant ($p=0,83$).

KLINISCHE ERGEBNISSE

SCORES ALLGEMEIN

AOFAS MS: Die Gesamtpunktezahl lag bei diesem Score im Durchschnitt bei 90,8 von 100 erreichbaren Punkten (SD +/- 7,17; Range 80-100). Der Teilbereich *Schmerzen* wurde von den Studienteilnehmern im Durchschnitt mit 34,67 von 40 Punkten bewertet (SD +/- 5,16; Range 30-40). Der aus 5 Unterkategorien bestehende Teilbereich *Funktion* erreichte im Mittel 44,4 von 45 Punkten (SD +/- 1,06; Range 42-45). Der

letzte Teilbereich *Ausrichtung* ergab im Mittel 11,73 von 15 Punkten (SD +/- 3,61; Range 8-15). 73,3 Prozent der untersuchten Füße schnitten mit einem „exzellent“ als Ergebnis ab, 26,7 Prozent mit einem „gut“.

AOFAS-HMIS: Die Gesamtpunktezahl lag im Durchschnitt bei 85,33 von 100 erreichbaren Punkten (SD +/- 9,19; Range 73-95). Der Teilbereich *Schmerzen* wurde im Mittel mit 37,33 von 40 Punkten bewertet (SD +/- 4,58; Range 30-40). Der Teilbereich *Funktion*, bestehend aus 7 Unterkategorien, erhielt gemittelt 36,27 von 45 Punkten (SD +/- 4,38; Range 25-40). Der Teilbereich *Ausrichtung* erreichte im Durchschnitt 11,73 von 15 Punkten (SD +/- 3,61; Range 8-15). 46,6 Prozent der Füße erzielten ein „exzellent“, 26,7 Prozent ein „gut“ und weitere 26,7 Prozent ein „ausreichend“.

MFS: Die Gesamtpunktezahl lag im Mittel bei 92,6 von 100 Punkten (SD +/- 6,3; Range 81-100). 100 Prozent der Füße erzielten ein „exzellent“.

Takakura: Das Gesamtergebnis betrug bei diesem Score im Durchschnitt 93,93 von 100 Punkten (SD +/- 5,43; Range 86-100). 80 Prozent der Füße schnitten mit dem Ergebnis „exzellent“ ab, 20 Prozent mit „gut“.

SCHMERZEN

AOFAS

Beim AOFAS MS gaben 6 Patienten (8 Füße) an geringe/gelegentliche Schmerzen zu haben, fühlten sich aber in den alltäglichen Aktivitäten nicht eingeschränkt. Ein weiblicher Patient fühlte sich bei sportlichen Aktivitäten leicht eingeschränkt, gab jedoch an, keine Einschränkungen bei den Alltagsaktivitäten zu haben.

Beim AOFAS HMIS gaben 3 Patienten (4 Füße) geringe/gelegentliche Schmerzen an. Vier Patienten (5 Füße) gaben an, leichte Einschränkungen bei Freizeitaktivitäten, nicht jedoch bei Alltagsaktivitäten oder im Beruf, zu haben.

MFS

Drei Patienten (4 Füße) gaben an, leichte Schmerzen ohne Einschränkungen im Alltagsleben oder im Beruf zu haben. Zwei Patienten (3 Füße) gaben milde Schmerzen mit leichten Veränderungen des Alltags- bzw. Berufslebens an.

TAKAKURA

Drei Patienten (5 Füße) gaben an milde Schmerzen zu haben.

Fuß	AOFAS-MS	AOFAS-HMIS	MFS	Takakura
1	40	40	45	40
2	40	40	45	40
3	40	40	45	40
4	30	40	40	30
5	30	40	40	30
6	30	40	35	40
7	40	40	45	40
8	30	30	35	30
9	30	30	35	30
10	40	40	45	40
11	30	40	45	40
12	40	40	45	40
13	40	40	45	40
14	30	30	40	40
15	30	30	40	30
MW	34,67	37,33	41,67	36,67
SD	5,16	4,58	4,08	4,88
Abstufung:	40 (keine)	40 (keine)	45 (keine)	40 (keine)
	30 (geringe)	30 (geringe)	40 (geringe)	30 (geringe)
	20 (mäßige)	20 (mäßige)	35 (milde)	20 (mäßige)
	0 (sehr starke)	0 (sehr starke)	30 (mäßige)	10 (starke)
			10 (deutliche)	0 (arbeitsunfähig)
			5 (arbeitsunfähig)	

Tabelle 3: Erzielte Wertungen im Teilbereich *Schmerzen* der verschiedenen Scores für die einzelnen Füße sowie Mittelwert (MW) und Standardabweichung (SD).

GEHSTRECKE/GEHHILFEN

Lediglich beim MFS gab ein weiblicher Patient (2 Füße) an, leichte Einschränkungen der Gehstrecke zu haben. Leichtes Hinken sowie Sitzen im Seiza (kniend mit Sitz auf den Fersen) war nur bei einem Patient ein Problem. Das Stehen auf dem operierten Bein stellte für keinen Patienten ein Problem dar. Keiner der Patienten benötigte irgendeine Art von Gehhilfen.

SCHUHWERK/TRAGEN VON EINLAGEN

Was das Schuhwerk betrifft, gaben zwei weibliche Patienten (3 Füße) an, nur flache Schuhe zu präferieren. Drei weitere Patienten (3 Füße) sprachen von minimalen Einschränkungen beim Tragen von Schuhen. Zwei Patienten (3 Füße) bevorzugten komfortables Schuhwerk und trugen ihre Einlagen regelmäßig.

KOSMETISCHES ERGEBNIS

Nur 3 Patienten (3 Füße) befanden das Aussehen ihres Fußes als normal (20 Prozent), während 7 Patienten (8 Füße) das Ergebnis als leicht verändert und weitere 3 Patienten (4 Füße) als mäßig verändert bezeichneten. Keiner der Patienten hatte zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung symptomatische Hornhautschwielen.

GEHEN

Das Gehen auf verschieden beschaffenen Untergründen bereitete 11 Patienten (14 Füße) keine Schwierigkeiten (93,3 Prozent). Ein Patient (1 Fuß) berichtete über Schmerzen beim Gehen auf steinigem Untergrund bzw. beim Bergsteigen.

Ein weiblicher Patient gab Probleme beim Hinuntergehen von Treppen, respektive beim längeren Bergabgehen, an.

DISKUSSION

Die Ätiologie des Hallux valgus ist komplex und multifaktoriell. Intrinsische Faktoren wie Vererbung (Glynn *et al.*, 1980; Hardy and Clapham, 1951), Pes planus (Coughlin and Jones, 2007; Mann and Coughlin, 1981), Metatarsus primus varus (Hardy and Clapham, 1951; Coughlin and Jones, 2007), Länge des ersten Metatarsale (Coughlin and Jones, 2007; Harris and Beath, 1949) und Hypermobilität im Metatarsocuneiforme-Gelenk sind ebenso wie das Schuhwerk als extrinsischer Faktor (Klein *et al.*, 2009) wissenschaftlich anerkannt. Signifikant früheres Auftreten wird bei Patienten mit positiver Familienanamnese beobachtet, wobei die meisten Patienten die Fehlstellung von der Mutter erben (Groiso, 1992; Scranton and Zuckerman, 1984; Canale and Campbell, 2003; Bonney and Macnab, 1952). Welche anatomischen und funktionellen Veränderungen der Erbgang jedoch genau auslöst, bleibt ungeklärt (Coughlin, 1995; Blauth, 1986).

Jeder Hallux valgus bei Patienten unter 20 Jahren wird definitionsgemäß als „juvenil“ bezeichnet, da bis zu diesem Alter das Knochenwachstum, die Ausformung der Knorpel und das Weichteilgewebe noch plastischen Veränderungen unterworfen ist (Goldner and Gaines, 1976). Der größere Teil der Deformitäten entwickelt sich im Alter zwischen 16 und 20 Jahren aufgrund des letzten Wachstumsschubs, physiologischer Gewichtszunahme und Kompression von außen (Goldner and Gaines, 1976). Patienten in dieser Altersgruppe schenken Veränderungen am eigenen Körper, die sie von Gleichaltrigen unterscheiden, besondere Aufmerksamkeit (Haleblian and Gaines, 1983; Scranton and Zuckerman, 1984). Der Versuch, einen Hallux valgus in dieser Altersgruppe konservativ durch angepasstes Schuhwerk oder Einlagen zu behandeln, scheitert daher oftmals an der Bereitschaft der Jugendlichen, die verordneten Schuhe oder Einlagen zu tragen. Bei vorangeschrittener Deformität mit entsprechenden Schmerzen wird daher eine Operation notwendig. Hierfür stehen verschiedene operative Techniken zur Verfügung (Canale and Campbell, 2003).

Grundsätzlich werden knöcherner Eingriffe, Weichteileingriffe und Kombinationen dieser beiden unterschieden. Die Erfolgsraten der verschiedenen Operationstechni-

ken für den juvenilen Hallux valgus variieren stark und selbst Serien mit ein und derselben Operationstechnik zeigen unterschiedliche Ergebnisse (Coughlin and Mann, 1987).

Die hier durchgeführte Studie berichtet über das Langzeitoutcome von Patienten, die nach der Chevron-Osteotomie in der Technik nach Austin (Austin and Leventen, 1981) operiert wurden.

Distale Weichteilgriffe allein, wie die nach McBride (McBride, 2002), sind bei Kindern und Jugendlichen nicht in der Lage, die Fehlstellung adäquat zu korrigieren. Helal et al. (Helal *et al.*, 1974) berichten über Misserfolgsraten von 45,7 Prozent bei Verwendung der McBride Technik. Dabei kam es anfänglich zu einer guten Korrektur der Fehlstellung, welche aber nicht über längere Zeit aufrechterhalten werden konnte. Scranton und Zuckerman (Scranton and Zuckerman, 1984) berichten bereits nach 3 Jahren und 2 Monaten über die höchste Misserfolgsrate (75 %) bei Kindern (durchschnittliches Patientenalter in dieser Studie: 14,0 Jahre), die mit der McBride Technik operiert wurden.

Distale Osteotomien haben den großen Vorteil, dass sie einen großen Abstand zur Epiphysenfuge haben. Wilson (Wilson, 1963) berichtet nach einer schrägen distalen Osteotomie über eine Erfolgsquote von 96 %, während Helal et al. (Helal *et al.*, 1974) Erfolgsquoten bis zu 100 % mit derselben Technik fanden. Einige Autoren sprechen sich für die Osteotomie nach Mitchell als zufriedenstellende Technik aus (Luba and Rosman, 1984; Carr and Boyd, 1968; Das De, 1984; Mitchell *et al.*, 1958). Ball und Sullivan (Ball and Sullivan, 1985) hingegen schildern eine 44-prozentige Inzidenz von Metatarsalgie bei den nach Mitchell operierten Patienten. Bekannte Komplikationen der Mitchell-Osteotomie sind allerdings: Dislokation des distalen Fragments, Rotationsinstabilität, dorsale oder plantare Fehlstellung, Pseudarthrose, Verkürzung eines bereits kurzen ersten Metatarsale, unzureichende Korrektur und avaskuläre Nekrose (Mitchell *et al.*, 1958; Ball and Sullivan, 1985; Carr and Boyd, 1968; Goldner and Gaines, 1976).

Die Chevron-Osteotomie (Austin and Leventen, 1981) wurde erstmals 1962 verwendet und hat in den letzten 20 Jahren stark an Popularität gewonnen (Torkki and Seitsalo, 2001). Die wichtigsten Vorteile bestehen in einer hohen Stabilität der Osteo-

tomiefragmente auch ohne Fixation sowie mit der damit verbundenen schnellen Heilung. Bei der Korrektur des Hallux valgus des Erwachsenen wird über gute bis exzellente Ergebnisse mit einem hohen Grad an Patientenzufriedenheit berichtet (Johnson *et al.*, 1991; Horne *et al.*, 1984; Klosok *et al.*, 1993). Die Chevron-Osteotomie wird für Jugendliche und junge Erwachsene (bis zur 4. Dekade) mit leichtem bis moderatem Hallux valgus (Austin and Leventen, 1981) mit einem Hallux valgus-Winkel bis maximal 35° und einem Intermetatarsalwinkel von maximal 15° empfohlen (Canale and Campbell, 2003).

Der durchschnittliche präoperative HV-Winkel in dieser Studie betrug 31,53° und der präoperative IMT-Winkel betrug 13,2°. Postoperativ konnte eine signifikante Verbesserung dieser beiden Winkel festgestellt werden, die auch über die Follow-up Zeit von 7,28 Jahren (SD +/- 3,01; Range 2,21-11,21) beibehalten werden konnte.

Verschiedene strukturelle Einflussfaktoren bestimmen die Entwicklung und die Progression des juvenilen Hallux valgus. Von vielen Seiten wird die Ansicht vertreten, dass ein vergrößerter IMT-Winkel am häufigsten mit einem Hallux valgus verbunden ist (Vyas *et al.*, 2010; Helal *et al.*, 1974; Amarnek *et al.*, 1985). Ob jedoch der Hallux valgus primär besteht und sich daraus ein erhöhter IMT-Winkel entwickelt oder umgekehrt, bleibt Gegenstand der Diskussion und ist, wie es Piggott (Piggott, 1960) formulierte, vergleichbar mit „der Frage nach dem Huhn und dem Ei – wer war zuerst da“.

Piggott (Piggott, 1960, p. 759) vermutet, dass die Subluxation und Deviation im Metatarsophalangealgelenk der Entstehung eines Metatarsus primus varus vorausgeht. Auch Antrobus postulierte, dass der vergrößerte IMT-Winkel sekundär sein muss, wenn dieser nach einem distalen Weichteileingriff ohne direkte Neuausrichtung des ersten Metatarsale wieder einen normalen Wert erreicht. Aber auch die Ansicht, dass der vergrößerte IMT-Winkel die primäre und der Hallux valgus die sekundäre Deformation ist, wird von vielen Autoren befürwortet (Coughlin and Mann, 1987; Bonney and Macnab, 1952; Luba and Rosman, 1984, p. 44; Carr and Boyd, 1968; Mitchell *et al.*, 1958, pp. 41–43; Truslow, 1925). DuVries (zitiert in Coughlin and Mann, 1987) geht davon aus, dass der Metatarsus primus varus beim juvenilen Hallux valgus die primäre Deformität ist, während er beim Erwachsenen eine Folge des Hallux ist. Die Frage, was nun zuerst entsteht, ist nicht nur von akademischem Interesse. Die Flexibi-

lität am Metatarsocuneiformegelenk hat sowohl Einfluss auf die Entwicklung des Hallux valgus, als auch auf die Auswahl des operativen Verfahrens und dessen Erfolg. Ein von Geburt an großer fixierter IMT-Winkel birgt das Risiko eines postoperativen Rezidivs bei Anwendung eines reinen distalen Eingriffs (Coughlin and Mann, 1987). Anders ist es beim Metatarsus primus varus, der sekundär als Folge des Hallux entstanden ist; hier kann ein reiner Weichteileingriff bei erhaltener Flexibilität des Metatarsocuneiformegelenks eine adäquate Korrektur wiederherstellen, auch ohne Osteotomie des Metatarsale. Dies gilt allerdings nur für den Metatarsus primus varus mit flexiblem (und nicht starrem) ersten Metatarsale (Coughlin and Mann, 1987).

Das Durchschnittsalter der Patienten in unserer Studie betrug 14,22 Jahre, 10 von 12 Patienten waren weiblich (12 Füße). Bei Mädchen ist der Fuß mit 14 Jahren voll ausgewachsen (Niethard, 2010), im Alter von 12 Jahren ist normalerweise noch ein Wachstumspotential von 0,8 cm vorhanden (Coughlin and Mann, 1987), während bei einem Jungen im selben Alter noch ein Potential von etwa 2,7 cm besteht. Diese Tatsache darf bei der Planung einer Operation des juvenilen Hallux valgus nicht außer Acht gelassen werden und trägt möglicherweise entscheidend dazu bei, eine erfolgreiche Korrektur aufrechtzuerhalten. Dies könnte auch der ausschlaggebende Einflussfaktor in dieser Studie sein.

Bereits Coughlin und Mann (Coughlin and Mann, 1987) haben aufgrund dieses signifikanten Wachstumspotentials der metatarsalen Epiphysenfuge vorgeschlagen, mit der Operation bei männlichen Kindern und Jugendlichen zu warten, bis der Abschluss des Knochenwachstums nahe ist. Die Befürchtung, dass es nach einer Operation distal der Epiphysenfuge und vor deren Schluss zu einem verstärkten postoperativen Wachstum in Varusrichtung kommen könnte, ist der Grund, warum sich viele Autoren gegen eine Korrektur vor Wachstumsabschluss aussprechen.

Dies konnte in unserer Studie nicht bestätigt werden. Bei 8 von 15 Füßen (6 weibliche, 2 männliche) war die Epiphysenfuge zum Zeitpunkt der Operation noch nicht geschlossen. Der männliche Patient (2 Füße) war zum Operationszeitpunkt 12,47 Jahre alt, die 5 weiblichen Patienten (6 Füße) hatten ein Alter zwischen 11,74 und 15,23 Jahren. Statistisch gab es bei diesen Füßen keine signifikant schlechteren Werte bei Hallux valgus- und IMT-Winkel.

Der durchschnittliche COA veränderte sich im Zeitraum vor der Operation bis zur Nachuntersuchung nicht signifikant ($p=0,83$), was bedeutet, dass sich die Konfiguration des Os cuneiforme auch nach der operativen Korrektur nicht verändert hat. Das deckt sich mit den Beobachtungen von Vyas et al. (Vyas *et al.*, 2010), die feststellten, dass der COA bei Patienten mit juvenilem Hallux valgus im Vergleich zu gesunden Kindern nicht signifikant erhöht ist, was wiederum nahelegt, dass die tatsächliche Morphologie des Os cuneiforme mediale selbst nicht in der Entstehung dieses Krankheitsbildes involviert ist.

Die Chevron-Operation hat den Vorteil einer guten Primärstabilität, auch ohne Fixation der Osteotomieenden. (Johnson *et al.*, 1991; Horne *et al.*, 1984; Klosok *et al.*, 1993). Dennoch fixierten wir die Osteotomie in unserem Patientengut mit Kirschnerdrähten und folgten in der Nachbehandlung unserer Patienten einem strikten Nachbehandlungs-Protokoll: Bei allen Patienten wurde postoperativ ein Unterschenkelgips für 6 Wochen angelegt. Dass non-compliance und damit verbundener Verlust der Korrektur bei Kindern und Jugendlichen ein häufiges Problem ist, ist allgemein anerkannt (Estrada *et al.*, 2002). Ein striktes und engmaschiges Nachuntersuchungsprotokoll erscheint deshalb, gerade bei Patienten in dieser Altersgruppe, besonders wichtig.

Bei der Nachuntersuchung für diese Studie wurden objektive und subjektive Parameter bewertet. Im Gegensatz zu Zimmer (Zimmer *et al.*, 1989), der die Daten für sein Follow-up nur durch Fragebögen eingeholt hat, bezieht sich diese Studie sowohl auf radiologische, als auch auf klinische Parameter. Der durchschnittliche Follow-up-Zeitraum von 7,28 Jahren war in unserer Studie länger als jener in der Arbeit von Zimmer (5 Jahre 4 Monate). Darüber hinaus musste jeder Patient in unserer Studie neben dem AOFAS-MS und dem AOFAS-HMIS, auch den Maryland Foot Score und den Takakura-Score ausfüllen. Die AOFAS Scores sind unterteilt in die Kategorien „Schmerzen“, „Funktion“ und „Ausrichtung“. Bei einer maximalen Punktezahl von 100 wird das erreichte Ergebnis in folgende Gruppen unterteilt: schlecht (0-60 Punkte), ausreichend (60-74 Punkte), gut (75-89 Punkte) und exzellent (90-100 Punkte). Trotz durchschnittlich erreichter 85,33 Punkte im AOFAS HMIS und 90,8 im AOFAS Midfoot Score, was einem guten bzw exzellenten Outcome entspricht, erreichte kein Patient die volle Punktezahl.

Bemerkenswert ist, dass es im Teilbereich *Schmerzen* der AOFAS Scores zu teilweise unterschiedlichen Angaben trotz identen Antwortmöglichkeiten gekommen ist. Dies lässt sich so erklären, dass die Patienten bei fortgeschrittener Untersuchungsdauer, und der damit immer detaillierteren Befragung des Untersuchers, ihre Antwort überdenken und dementsprechend abändern, sodass ein und dieselbe Frage am Ende der Untersuchung ein anderes Ergebnis bringt, als zu Beginn.

Der Takakura-Score wurde ursprünglich für die Evaluierung von Sprunggelenksprothesen entwickelt. Er wurde von uns für diese Studie ausgewählt, da er auf bestimmte Alltagsprobleme der Patienten (Treppensteigen, Einbeinstand, Hinken,...) besser einzugehen schien.

Bei zwei Patienten veränderte sich der Metatarsalindex im Zeitraum zwischen der Operation und der Nachuntersuchung von einem „plus“ bzw. „plus/minus“- zu einem „minus“-Index, was bedeutet, dass der erste Metatarsalknochen im Vergleich zum zweiten nach der Operation weniger gewachsen ist. Bei beiden Patienten war allerdings die Wachstumsfuge zum Zeitpunkt der Operation bereits geschlossen.

Luba und Rosman (Luba and Rosman, 1984) stellten die Vermutung auf, dass es durch die Varus-Orientierung der proximalen metatarsalen Epiphysenfuge medial zu vermehrten Druckkräften und lateral zu verstärkten Zugspannungen kommt, die theoretisch dazu führen, dass das erste Metatarsale in verstärkter Varusrichtung weiterwächst. Eine chirurgische Korrektur des ersten Strahls proximal der Epiphysenfuge könnte dazu führen, dass die lateralen Zugspannungen abnehmen und so das laterale Wachstum verringern.

Die unzureichende Korrektur der Sesambeine bei der Operation ist ein entscheidender Faktor für ein mögliches Hallux valgus - Rezidiv (Okuda *et al.*, 2000). Die Auswirkung von unzureichender Reposition der Sesambeine und Wiederauftreten des Hallux valgus wurde von Okuda *et al.* (Okuda *et al.*, 2000) bei erwachsenen Frauen untersucht und stellte sich als signifikant heraus. In unserer Studie kam es bei 6 Patienten zu einer unzureichenden Reposition der Sesambeine. Dennoch kam es bei keinem dieser Patienten zu einem Rezidiv des Hallux valgus. Offensichtlich spielen die nicht vollständig reponierten Sesambeine im Kindes- und Jugendalter eine untergeordnete Rolle.

Schließlich muss noch auf die Einschränkungen dieser Studie eingegangen werden. Allem voran ist es eine retrospektive Studie mit relativ geringer Patientenzahl. Die Validität und Reliabilität der AOFAS Scores sind umstritten aufgrund der geringen Anzahl an Antwortmöglichkeiten. Minimale Änderungen der Patientenantwort in einer Reihe von korrelierenden Fragen können potentiell einen drastischen Unterschied in der Gesamtpunktzahl verursachen (Guyton, 2001).

Fazit für die Praxis

Unter Einhaltung der genannten Indikationen (max. HV-Winkel von 35° und max. IMT-Winkel von 15°) kann mit der Chevron-Osteotomie mit kombiniertem Weichteileingriff bei gesunden Kindern mit Hallux valgus ohne Begleiterkrankungen ein dauerhaft gutes Behandlungsergebnis erzielt werden.

Es zeigte sich, dass der Schluss der Wachstumsfugen bzw. unmittelbar davor ein guter Zeitpunkt für die Korrektur eines HV bei Kindern- und Jugendlichen ist.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine vollständige Sesambeinreposition im Kindes- und Jugendalter nicht zwingend für ein dauerhaft gutes Operationsergebnis erforderlich ist.

LITERATURVERZEICHNIS

Amarnek, D.L., Jacobs, A.M. and Oloff, L.M. (1985), "Adolescent hallux valgus: its etiology and surgical management", *The Journal of foot surgery*, Vol. 24 No. 1, pp. 54–61.

Aumüller, G. (2010), *Anatomie: 208 Tabellen ; [mit DVD zum Präp.-Kurs]*, 2nd ed., Thieme, Stuttgart.

Austin, D.W. and Leventen, E.O. (1981), "A new osteotomy for hallux valgus: a horizontally directed "V" displacement osteotomy of the metatarsal head for hallux valgus and primus varus", *Clinical orthopaedics and related research* No. 157, pp. 25–30.

Ball, J. and Sullivan, J.A. (1985), "Treatment of the juvenile bunion by Mitchell osteotomy", *Orthopedics*, Vol. 8 No. 10, pp. 1249–1252.

Blauth, W. (Ed.) (1986), *Hallux valgus*, Springer, Berlin u.a.

Bonney, G. and Macnab, I. (1952), "Hallux valgus and hallux rigidus; a critical survey of operative results", *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, Vol. 34 No. 3, pp. 366–385.

Canale, P.B., Aronsson, D.D., Lamont, R.L. and Manoli, A. (1993), "The Mitchell procedure for the treatment of adolescent hallux valgus. A long-term study", *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, Vol. 75 No. 11, pp. 1610–1618.

Canale, S.T. and Campbell, W.C. (2003), *Campbell's operative orthopaedics*, 10th ed., Mosby, St. Louis.

Carr, C.R. and Boyd, B.M. (1968), "Correctional osteotomy for metatarsus primus varus and hallux valgus", *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, Vol. 50 No. 7, pp. 1353–1367.

Corless, J.R. (1976), "A modification of the Mitchell procedure", *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, Vol. 55 B, p. 138.

Coughlin, M.J. (1995), "Roger A. Mann Award. Juvenile hallux valgus: etiology and treatment", *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*, Vol. 16 No. 11, pp. 682–697.

Coughlin, M.J. and Jones, C.P. (2007), "Hallux valgus: demographics, etiology, and radiographic assessment", *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*, Vol. 28 No. 7, pp. 759–777.

Coughlin, M.J. and Mann, R.A. (1987), "The pathophysiology of the juvenile bunion", *Instructional course lectures*, Vol. 36, pp. 123–136.

- Das De, S. (1984), "Distal metatarsal osteotomy for adolescent hallux valgus", *Journal of pediatric orthopedics*, Vol. 4 No. 1, pp. 32–38.
- Deenik, A.R., Visser, E. de, Louwerens, J.-W.K., Waal Malefijt, M. de, Draijer, F.F. and Bie, R.A. de (2008), "Hallux valgus angle as main predictor for correction of hallux valgus", *BMC musculoskeletal disorders*, Vol. 9, p. 70.
- DuVries, H.L. (1965), *Surgery of the foot*, 2nd ed., St. Louis.
- Estrada, L.S., Volgas, D.A., Stannard, J.P. and Alonso, J.E. (2002), "Fixation failure in femoral neck fractures", *Clinical orthopaedics and related research No. 399*, pp. 110–118.
- Glynn, M.K., Dunlop, J.B. and Fitzpatrick, D. (1980), "The Mitchell distal metatarsal osteotomy for hallux valgus", *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, Vol. 62 No. 2, pp. 188–191.
- Goldner, J.L. and Gaines, R.W. (1976), "Adult and juvenile hallux valgus: analysis and treatment", *The Orthopedic clinics of North America*, Vol. 7 No. 4, pp. 863–887.
- Groiso, J.A. (1992), "Juvenile hallux valgus. A conservative approach to treatment", *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, Vol. 74 No. 9, pp. 1367–1374.
- Guyton, G.P. (2001), "Theoretical limitations of the AOFAS scoring systems: an analysis using Monte Carlo modeling", *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*, Vol. 22 No. 10, pp. 779–787.
- Haines, R.W. and McDougall, A. (1954), "The anatomy of hallux valgus", *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, Vol. 36 No. 2, pp. 272–293.
- Haleblian, J.D. and Gaines, S.S. (1983), "Juvenile hallux valgus", *The Journal of foot surgery*, Vol. 22 No. 4, pp. 290–293.
- Hardy, R.H. and Clapham, J.C.R. (1951), "Observations on hallux valgus; based on a controlled series", *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, Vol. 33 No. 3, pp. 376–391.
- Harris, R.I. and Beath, T. (1949), "The short first metatarsal; its incidence and clinical significance", *The Journal of bone and joint surgery*, Vol. 31 No. 3, pp. 553–565.
- Hawkins F. B., M.C.L.H.D.W. (1945), "Correction of hallux valgus by metatarsal osteotomy.", *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, Vol. 27 No. 3, pp. 387–394.
- Helal, B., Gupta, S.K. and Gojaseni, P. (1974), "Surgery for adolescent hallux valgus", *Acta orthopaedica Scandinavica*, Vol. 45 No. 2, pp. 271–295.
- Herring, J.A. and Tachdjian, M.O. (2002), *Tachdjian's pediatric orthopaedics: From the Texas Scottish Rite Hospital for Children*, 3rd ed., Saunders, Philadelphia.

- Horne, G., Tanzer, T. and Ford, M. (1984), "Chevron osteotomy for the treatment of hallux valgus", *Clinical orthopaedics and related research* No. 183, pp. 32–36.
- Johnson, J.E., Clanton, T.O., Baxter, D.E. and Gottlieb, M.S. (1991), "Comparison of Chevron osteotomy and modified McBride bunionectomy for correction of mild to moderate hallux valgus deformity", *Foot & ankle*, Vol. 12 No. 2, pp. 61–68.
- Johnston, O. (1956), "Further studies of the inheritance of hand and foot anomalies", *Clinical orthopaedics*, Vol. 8, pp. 146–160.
- Kalmus, R. (1931), "Beitrag zur Frage nach der Entstehungsursache des Hallux valgus", *Archiv für Orthopädische und Unfall-Chirurgie*, Vol. 30 No. 1, pp. 84–96.
- Kato, T. and Watanabe, S. (1981), "The etiology of hallux valgus in Japan", *Clinical orthopaedics and related research* No. 157, pp. 78–81.
- Kitaoka, H.B. (1991), "Salvage of nonunion following ankle arthrodesis for failed total ankle arthroplasty", *Clinical orthopaedics and related research* No. 268, pp. 37–43.
- Kitaoka, H.B., Alexander, I.J., Adelaar, R.S., Nunley, J.A., Myerson, M.S. and Sanders, M. (1994), "Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes", *Foot & ankle international / American Orthopaedic Foot and Ankle Society [and] Swiss Foot and Ankle Society*, Vol. 15 No. 7, pp. 349–353.
- Klein, C., Groll-Knapp, E., Kundi, M. and Kinz, W. (2009), "Increased hallux angle in children and its association with insufficient length of footwear: a community based cross-sectional study", *BMC musculoskeletal disorders*, Vol. 10, p. 159.
- Klosok, J.K., Pring, D.J., Jessop, J.H. and Maffulli, N. (1993), "Chevron or Wilson metatarsal osteotomy for hallux valgus. A prospective randomised trial", *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, Vol. 75 No. 5, pp. 825–829.
- Luba, R. and Rosman, M. (1984), "Bunions in children: treatment with a modified Mitchell osteotomy", *Journal of pediatric orthopedics*, Vol. 4 No. 1, pp. 44–47.
- Mann, R.A. and Coughlin, M.J. (1981), "Hallux valgus--etiology, anatomy, treatment and surgical considerations", *Clinical orthopaedics and related research* No. 157, pp. 31–41.
- Mann, R.A. and Pfeffinger, L. (1991), "Hallux valgus repair. DuVries modified McBride procedure", *Clinical orthopaedics and related research* No. 272, pp. 213–218.
- McBride, E.D. (2002), "A conservative operation for bunions. 1928", *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, Vol. 84 No. 11, p. 2101.

- Mitchell, C.L., Fleming, J.L., Allen, R., Glenney, C. and Sanford, G.A. (1958), "Osteotomy-bunionectomy for hallux valgus", *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, Vol. 40 No. 1, pp. 41-58; discussion 59-60.
- Niethard, F.U. (2010), *Kinderorthopädie: 50 Tabellen*, 2nd ed., Thieme, Stuttgart, New York, NY.
- Nilsson, H. (1930), "Hallux Rigidus and Its Treatment", *Acta Orthopaedica*, Vol. 1 1-4, pp. 295-303.
- Okuda, R., Kinoshita, M., Morikawa, J., Jotoku, T. and Abe, M. (2000), "Distal soft tissue procedure and proximal metatarsal osteotomy in hallux valgus", *Clinical orthopaedics and related research No. 379*, pp. 209-217.
- Piggott, H. (1960), "The natural history of hallux valgus in adolescence and early adult life", *Journal of Bone & Joint Surgery, British Volume*, Vol. 42 No. 4, pp. 749-760.
- Platzer, W., Fritsch, H., Kühnel, W., Kahle, W. and Frotscher, M. (2003), *Taschenatlas Anatomie: In 3 Bänden*, 8th ed., Thieme Verlag, Stuttgart.
- Sanders, R., Fortin, P., DiPasquale, T. and Walling, A. (1993), "Operative treatment in 120 displaced intraarticular calcaneal fractures. Results using a prognostic computed tomography scan classification", *Clinical orthopaedics and related research No. 290*, pp. 87-95.
- Scranton, P.E. and Zuckerman, J.D. (1984), "Bunion surgery in adolescents: results of surgical treatment", *Journal of pediatric orthopedics*, Vol. 4 No. 1, pp. 39-43.
- Simmonds, F. and Menelaus, M.B. (1952 Aug), "Hallux valgus in adolescents.", *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, 34-B No. 3, pp. 761-768.
- Streicher, J., Anderhuber, F., Pera, F. and Waldeyer, A. (2012), *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band*, 19th ed., de Gruyter, Berlin.
- Takakura, Y., Tanaka, Y., Sugimoto, K., Tamai, S. and Masuhara, K. (1990), "Ankle arthroplasty. A comparative study of cemented metal and uncemented ceramic prostheses", *Clinical orthopaedics and related research No. 252*, pp. 209-216.
- Thompson, G.H. (1996), "Bunions and deformities of the toes in children and adolescents", *Instructional course lectures*, Vol. 45, pp. 355-367.
- Torkki, M. and Seitsalo, S. (2001), "Vaivaisenluun hoito", *Duodecim; lääketieteellinen aikakauskirja*, Vol. 117 No. 1, pp. 34-38.
- Truslow, W. (1925), "Metatarsus primus varus or hallux valgus?", *The Journal of Bone & Joint Surgery*, Vol. 7 No. 1, pp. 98-108.
- Vyas, S., Conduah, A., Vyas, N. and Otsuka, N.Y. (2010), "The role of the first metarsocuneiform joint in juvenile hallux valgus", *Journal of pediatric orthopaedics. Part B*, Vol. 19 No. 5, pp. 399-402.

Waldeyer, A. and Fanghänel, J. (2009), *Waldeyer Anatomie des Menschen: [Lehrbuch und Atlas in einem Band]*, 18th ed., de Gruyter, Berlin.

Wanivenhaus, A., Bock, P., Gruber, F., Ivanic, G., Klein, C., Siorpaes, R., Schneider, W., Steinböck, G., Trieb, K. and Trnka, H. (2009), "Deformitätsassoziierte Behandlung des Hallux-valgus-Komplexes", *Der Orthopäde*, Vol. 38 No. 11, pp. 1117–1126.

Wanivenhaus, H.A. (1989), *Zur Ätiologie und Therapie des Hallux valgus mit metatarsus primus varus: Die Schlüsselfunktion des Tarso-Metatarsale-1-Gelenkes*, Maudrich, Wien u.a.

Wilson, J.N. (1963), "Oblique displacement osteotomy for hallux valgus", *The Journal of bone and joint surgery. British volume*, Vol. 45, pp. 552–556.

Wirth, C.J. (2002), *Orthopädie und orthopädische Chirurgie: Fuß: das Standardwerk für Klinik und Praxis*, Thieme, Stuttgart, New York.

Zimmer, T.J., Johnson, K.A. and Klassen, R.A. (1989), "Treatment of hallux valgus in adolescents by the chevron osteotomy", *Foot & ankle*, Vol. 9 No. 4, pp. 190–193.

Zollinger, H., Fellmann, J. and Brumm, C. (1996), "Der kindliche Hallux valgus", *Der Orthopäde*, Vol. 25 No. 4, pp. 349–353.

ANHANG

1. Votum Ethikkommission
2. Scores:
 - AOFAS-MS
 - AOFAS-HMIS
 - MFS
 - Takakura

VOTUM ETHIKKOMMISSION

Ethikkommission



Medizinische Universität Graz

Auenbruggerplatz 2, A-8036 Graz
ethikkommission@medunigraz.at
Tel.: +43 / 316 / 385-13928, Fax: -14348

VOTUM gültig bis 01.09.2012

EK-Nummer: 23-507 ex 10/11
Studientitel: Langzeitergebnisse nach operativer Korrektur eines Hallux-Valgus im Kindes- und Jugendalter - Eine retrospektive Datenanalyse und klinisch-radiologische Nachuntersuchung
Prüfer: OA Dr. Tanja Kraus
Univ. Klinik für Kinder- und Jugendchirurgie
Sponsor: *) Med. Uni Graz
Ansprechpartner: Johannes Kaltenbach
CRO: -

*) Antragsteller

Die o.a. Studie wurde von der Ethikkommission erstmals in der Sitzung 11-10/11 am 22.08.2011 behandelt.

Die Ethikkommission ist zu folgendem Schluss gekommen:

Es besteht kein Einwand gegen die Durchführung der Studie in der vorliegenden Form.

Stimmberechtigte bzw. anwesende Mitglieder bei der Behandlung waren: Siehe beiliegende Liste vom 22.08.2011.

Kommissionsmitglieder, die für diesen Tagesordnungspunkt als befangen anzusehen waren und daher gemäß Geschäftsordnung an der Entscheidungsfindung und Abstimmung nicht teilgenommen haben: keine

Zur Beurteilung vorliegende Dokumente:

Dokumente eingegangen am 01.08.2011, begutachtet in der Sitzung 11-10/11 am 22.08.2011	
Antragsformular	29.07.2011
✓ Originalprotokoll 1.0	
Informed Consent Form Kinder 1.0	01.08.2011
Informed Consent Form Jugendliche 1.0	26.07.2011
Informed Consent Form Elterninformation 1.0	01.08.2011
✓ Sonstiges: Score nach Takakura	29.07.2011
✓ Sonstiges: American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS)	29.07.2011
✓ Sonstiges: Maryland Foot Score (MFS)	29.07.2011
Dokumente eingegangen am 31.08.2011, begutachtet im 'expedited Review' am 31.08.2011	
✓ Informed Consent Form Elterninformation 2.0	31.08.2011
✓ Informed Consent Form Volljährige 2.0	31.08.2011
✓ Informed Consent Form Jugendliche 2.0	31.08.2011
✓ Informed Consent Form Kinder 2.0	31.08.2011
Dokumente eingegangen am 01.09.2011, begutachtet im 'expedited Review' am 01.09.2011	
✓ Antragsformular	30.08.2011

Die Ethikkommission geht – rechtlich unverbindlich – davon aus, dass es sich weder um eine klinische Prüfung nach AMG noch nach MPG handelt.

Es handelt sich um eine Studie im Rahmen einer Diplomarbeit.

EK-Nummer: 23-507 ex 10/11

Votum

Seite 1 von 2

Medizinische Universität Graz, Universitätsplatz 3, A-8010 Graz. www.medunigraz.at

Rechtsform: Juristische Person öffentlichen Rechts gem. Universitätsgesetz 2002. Information: Mitteilungsblatt der Universität und www.medunigraz.at. DVR-Nr. 210 9494. UID: A13 575 111 79. Bankverbindung: Bank Austria Creditanstalt BLZ 12900 Konto-Nr. 590988400 04, Raiffeisen Landesbank Steiermark BLZ 38050 Konto-Nr. 45510.

Das Votum der Ethikkommission berührt in keiner Weise die alleinige Verantwortung der Prüferin / des Prüfers / der Prüfer für die ordnungsgemäße Durchführung der Studie unter Einhaltung aller einschlägiger gesetzlicher Bestimmungen und Richtlinien.

Weiters machen wir darauf aufmerksam, dass der Kommission unverzüglich zu melden sind:

- Abweichungen vom Protokoll aus Sicherheitsgründen oder Protokolländerungen
- Änderungen, die das Risiko der Teilnehmer/-innen erhöhen oder die Durchführung der Studie wesentlich beeinflussen
- Mutmaßliche unerwartete schwerwiegende Nebenwirkungen - SUSARs (AMG-Studien ab 1.5.2004) oder schwerwiegende unerwünschte Ereignisse - SAEs (andere Studien)
- Jegliche Information über sonstige Umstände, die die Sicherheit der Teilnehmer/-innen oder die Durchführung der Studie beeinträchtigen können

Dieses Votum gilt für ein Jahr ab dem Datum der Ausstellung. Bei längerer Studiendauer ist rechtzeitig vor Ablauf der Gültigkeit des Votums ein Zwischenbericht vorzulegen (Berichtsformular), um eine etwaige Verlängerung zu erlangen.

Graz, 01. September 2011



Univ. Prof. DI Dr. Peter H. Rehak
Vorsitzender



Univ. Prof. DDr. Hans-Peter Kapfhammer
Stv. Vorsitzender

Achtung: Bitte bei allen das Projekt betreffende Schreiben oder telefonischen Anfragen die EK-Nummer angeben!

SCORES

AOFAS MIDFOOT SCORE

Zentrum für Fuß- und Sprunggelenkschirurgie Rummelsberg / Nürnberg

American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Score

Mittelfuß Sektion / Midfoot Section

(Validierte deutsche Version, max. 100 Punkte)

Schmerz:	1: kein 2: leicht, gelegentlich 3: mittelmäßig, täglich 4: heftig, fast immer	<input type="checkbox"/> 40 Pkt. <input type="checkbox"/> 30 Pkt. <input type="checkbox"/> 20 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Funktion:	1: keine Einschränkungen, keine Stütze/ Hilfe 2: keine Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Einschr. bei Freizeitakt., keine Hilfen 3: Einschr. bei den tägl. Aktivitäten/ Freizeitakt, Stock 4: starke Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Freizeitaktivitäten, Gehstütze, Krücke, Rollstuhl	<input type="checkbox"/> 10 Pkt. <input type="checkbox"/> 07 Pkt. <input type="checkbox"/> 04 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Schuhwerk:	1: modische Konfektionsschuhe ohne Einlagen 2: Konfektionsschuhe mit Einlagen 3: orthopädische Schuhe	<input type="checkbox"/> 05 Pkt. <input type="checkbox"/> 03 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Gehstrecke (in Blocks):	1: mehr als 6 2: 4 bis 6 3: 1 bis 3 4: weniger als 3	<input type="checkbox"/> 10 Pkt. <input type="checkbox"/> 07 Pkt. <input type="checkbox"/> 04 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Oberfläche:	1: keine Schwierigkeiten auf sämtlichen Oberflächen 2: geringe Schwierigkeiten auf unebenem Terrain, Treppen, Neigung, Leiter 3: große Schwierigkeiten auf unebenem Terrain, Treppen, Neigungen, Leiter	<input type="checkbox"/> 10 Pkt. <input type="checkbox"/> 05 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Gangabnorm:	1: keine, leichte 2: augenscheinlich 3: erhebliche	<input type="checkbox"/> 10 Pkt. <input type="checkbox"/> 05 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.
Achse:	1: gut plantigrader Fuß, Mittelfußachse ausgerichtet 2: ausreichend plantigrader Fuß um einige Grad in der Mittelfußachse abweichend, keine Symptome 3: schlecht, non plantigrader Fuß, erhebliche Abweichung der Mittelfußachse, Symptome	<input type="checkbox"/> 15 Pkt. <input type="checkbox"/> 08 Pkt. <input type="checkbox"/> 00 Pkt.

Abbildung 35: AOFAS Midfoot Score

Quelle: http://www.krankenhaus-rummelsberg.de/fileadmin/bilderpool/rummelsberg/merkblaetter_richter/aofas_deutsch.pdf
(Zuletzt geöffnet am 03.12.2012)

© Martinus Richter 2011

AOFAS HALLUX METATARSOPHALANGEAL-INTERPHALANGEAL SCALE

Zentrum für Fuß- und Sprunggelenkschirurgie Rummelsberg / Nürnberg

American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) Score

Erster Vorfußstrahl / 1st Forefoot Ray

(Validierte deutsche Version, max. 100 Punkte)

Schmerz:	1: kein 2: leicht, gelegentlich 3: mittelmäßig, täglich 4: heftig, fast immer	☞ 40 Pkt. ☞ 30 Pkt. ☞ 20 Pkt. ☞ 10 Pkt.
Funktion: (Einschränkung der Aktivität)	1: keine Einschränkungen, keine Stütze/ Hilfe 2: keine Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Einschr. bei Freizeitakt., keine Hilfen 3: Einschr. bei den tägl. Aktivitäten/ Freizeitakt, Stock 4: starke Einschr. bei den tägl. Aktivitäten, Freizeitaktivitäten, Gehstütze, Krücke, Rollstuhl	☞ 10 Pkt. ☞ 07 Pkt. ☞ 04 Pkt. ☞ 00Pkt.
Schuhwerk:	1: modische Konfektionsschuhe ohne Einlagen 2: Konfektionsschuhe mit Einlagen 3: orthopädische Schuhe	☞ 10 Pkt. ☞ 05 Pkt. ☞ 00Pkt.
MTP-Beweglichkeit:	1: normal, oder leichte Einschränkungen (75%- 100% von normal) 2: mäßige Einschränkungen (30%-74%) 3: massive Einschränkungen (weniger als 30%)	☹ 10 Pkt. ☹ 05 Pkt. ☹ 00Pkt.
IP-Bewegung:	1: keine Einschränkung 2: stark eingeschränkt	☹ 05 Pkt. ☹ 00 Pkt.
MTP-IP-Stabilität:	1: stabil 2: eindeutig stabil	☹ 05 Pkt. ☹ 00 Pkt.
Schwiele am Hallux MTP-IP-Gelenk:	1: keine oder symptomlos 2: mit Symptomen	☹ 05 Pkt. ☹ 00 Pkt.
Achsenstellung:	1: gut, Zehen achsengerecht 2: mittelmäßig, gewisse Achsenabweichungen 3: schlecht Achsenfehlstellungen	☹ 15 Pkt. ☹ 08 Pkt. ☹ 00 Pkt.

Abbildung 36: AOFAS Hallux Metatarsophalangeal-Interphalangeal Scale

Quelle: http://www.krankenhaus-rummelsberg.de/fileadmin/bilderpool/rummelsberg/merkblaetter_richter/aofas_deutsch.pdf
(Zuletzt geöffnet am 03.12.2012)

© Martinus Richter 2011

MARYLAND FOOT SCORE

1. Pain	
None: including with sports	45
Slight: no change in ADLs or work ability	40
Mild: minimal change in ADLs or work	35
Moderate: significant decrease in ADLs	30
Marked: during minimal ADLs, e.g., bathroom, simple housework. Stronger, more frequent analgesics	10
Disabled: unable to work or shop	5
2. Function	
Gait	
Distance walked	
Unlimited	10
Slight limitation	8
Moderate limitation (2–3 blocks)	5
Severe limitation (1 blocks)	2
Indoors only	0
Stability	
Normal	4
Weak feeling—no true giving way	3
Occasional giving way (1–2 mos)	2
Frequent giving way	1
Orthotic device used	0
Support	
None	4
Cane	3
Crutches	1
Wheelchair	0
Limp	
None	4
Slight	3
Moderate	2
Severe	1
Unable to walk	0
Shoes	
Any type	10
Minor concessions	9
Flat, laced	7
With orthotics	5
Space shoes	2
Unable to wear shoes	0
	JOURNAL OF ORTHOPAEDIC TRAUMA

Abbildung 37: Maryland Foot Score (MFS)

Quelle:

http://journals.lww.com/jorthotrauma/Citation/2006/09001/Maryland_Foot_Score.22.aspx
(Zuletzt geöffnet am 03.12.2012)

© 2006 Lippincott Williams & Wilkins, Inc.

TAKAKURA-SCORE

Pain	none	40
	mild	30
	moderate	20
	severe	10
	disabled	0
Function		
Walking distance	Unlimited	20
	2km	15
	0,5 - 2 km	10
	Indoors only	5
	Unable to walk	0
Limping	None	4
	moderate	2
	Unable to walk	0
Stairs (up)	Normally	4
	Needs banister	2
	Unable	0
Stairs (down)	Normally	4
	Needs banister	2
	Unable	0
Dorsiflexion	11°	10
	6- 10°	7
	1 -5°	4
	0°	0
Plantarflexion	36°	10
	21 -35°	7
	6-20°	4
	5°	0
Standing on operated leg	Normally	4
	Needs support	2
	Unable	0
Sitting Japanese style	Normally	4
	Easy posture	2
	Unable	0
Result		
	90 - 100	excellent
	80 - 89	good
	70 - 79	fair
	< 70	poor

Tabelle 4: Score nach Takakura

Quelle: <http://www.traumascores.com/index.php/scores2/34-fuss/98-97> (Zuletzt geöffnet am 04.12.2012)