

J. Hamel
C. Kinast

Der TMT-Index zur radiologischen Quantifizierung von Planovalgus-Deformitäten

The TMT index for radiological quantification of planovalgus deformities

► **Summary** Standardized X-ray documentation of the foot in two planes under weightbearing conditions is the mainstay of quantitative assessment of foot deformities. The combination of talo-first-metatarsal-angle in the lateral view and a second talo-first-metatarsal-base-angle that measures talonavicular alignment in the ap-view is presented as the TMT index in order to describe the amount of planovalgus deformity in children and adults. The index is derived from tarsometatarsal pathomorphology of this type of deformity. First results in different groups of well-aligned and planovalgus feet (n = 70) are presented. The TMT index seems to be an appropriate simple tool to describe foot malalignment in planovalgus feet with a single measurement for practical and scientific work.

► Key words

Planovalgus deformity – posterior tibial tendon dysfunction – tarsal alignment – tarso-metatarsal deformity – X-ray documentation

► **Zusammenfassung** Es wird ein einfach zu bestimmender Winkel-Index zur Erfassung der Planovalgus-Deformität bei älteren Kindern und Erwachsenen vorgestellt, der sich auf die Pathomorphologie dieser Fehlstellung gründet. Aus standardisierten Röntgenaufnahmen unter Belastung in zwei Ebenen werden der Talo-Metatarsale-I-Winkel im seitlichen Strahlengang und ein neu definierter Winkel von Talus und Metatarsale-I-Basis aus der ap-Aufnahme durch Addition zum TMT-Index zusammengefasst. An kleineren Gruppen nicht-deformierter und im Planovalgus-Sinne deformierter Füße (n = 70) werden erste Ergebnisse vorgestellt. Der TMT-Index erscheint geeignet, das Ausmaß der skeletären Fehlstellung von Planovalgus-Deformitäten in einer einzigen Maßzahl zu beschreiben.

► Schlüsselwörter

Planovalgus-Deformität – Röntgenstellungsdiagnostik – tarsale Fehlstellung – Tibialis-posterior-Dysfunktion

Eingegangen: 10. Juli 2006
Akzeptiert: 12. August 2006

Prof. Dr. med. Johannes Hamel (✉)
Dr. med. Christian Kinast
Zentrum für Orthopädische Fußchirurgie
Schützenstraße 5
80336 München, Germany

Einleitung

Verschiedene Grunderkrankungen können zur Planovalgus-Fehlstellung führen: Die Bindegewebschwäche beim konstitutionellen Knicksenkfuß im Kindes- und Jugendlichen-Alter, neurogene Krank-

heitsbilder wie Infantile Cerebralparese und Meningomyelocele, manche Formen der Coalitio und im Erwachsenen-Alter besonders die Tibialis-posterior-Dysfunktion, degenerative Veränderungen des tarso-metatarsalen Überganges, Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises und posttraumatische Zu-

stände. Insbesondere im Hinblick auf die operativen Behandlungsoptionen erscheint eine *Quantifizierung der Fehlstellung* von hoher Bedeutung zur Vergleichbarmachung von Patientengruppen, Verlaufsbeobachtung, Festlegung von Indikationsgrenzen usw.

Zur Erfassung des Ausmaßes der Deformität werden klinische Messungen (Rückfuß-Valgus, Höhe der Längswölbung u. a.), Auswertungen von Fußabdruckverfahren und insbesondere radiologische Parameter herangezogen. – Alle bisherigen Vorschläge zur Quantifizierung erscheinen jedoch nicht vollständig befriedigend und lassen einen aussagekräftigen Vergleich interindividuell oder als Verlaufsbeobachtung kaum zu, da sie entweder ungenau oder von der subjektiven Messtechnik abhängig sind oder die Deformität nicht in einer Maßzahl zu erfassen vermögen. Es erschien daher notwendig, unter Berücksichtigung der pathomorphologischen Gegebenheiten einen Index für die fußchirurgische Arbeit zu entwickeln, der reproduzierbar und praktikabel ist. Die Röntgen-Technik ist das einzige bildgebende Verfahren, das das Fußskelett unter Gewichtsbelastung mehrdimensional darzustellen vermag; daher erschien sie für dem beschriebenen Zweck prädestiniert.

Pathomorphologie der Planovalgus-Deformität

Zwei Phänomene kennzeichnen die Planovalgus-Deformität in besonderer Weise: Die *excessive Eversion des talocalcaneo-navicularen Komplexes* und die *Destabilisierung des medialen Tarsometatarsal-Strahles*. Beide Komponenten stehen wegen der Kopplung von Rück- und Vorfuß in enger Beziehung zueinander: Gelangt die Fußwurzel in vermehrte Eversionsstellung, so ist dies zwangsläufig mit einer erhöhten Belastung des medialen Fußstrahles und sekundär einer Supination des Vorfußes gegenüber dem Rückfuß verbunden; destabilisiert sich dagegen primär der mediale tarsometatarsale Übergang, so muss der Rückfuß zwangsläufig in die Eversion ausweichen. Die erste beider obengenannten Komponenten ist mit einer dreidimensionalen Veränderung der Stellungenbeziehung von Talus und Calcaneus verbunden, die in der Sagittalebene einer vermehrten Plantarflexion des Talus entspricht, insbesondere aber mit einer Abweichung des Os naviculare auf dem Taluskopf nach lateral, so dass der Taluskopf am medialen Fußrand prominent wird. Die zweitgenannte Komponente besteht in einer vermehrten Dorsalextension des Metatarsale I gegenüber der Taluslängsachse in der Sagittalebene.

Röntgenologische Darstellung der Planovalgus-Deformität

Die radiologische Darstellung beider o. g. pathomorphologischen Phänomene setzt Aufnahmen unter Belastung und bei vollständiger Muskelentspannung voraus, da nur so das volle Ausmaß der Destabilisierung abgebildet wird. Dies ist am besten im gleichmäßig belasteten, entspannten Beidbeinstand zu realisieren. Bereits leichte Abweichungen von einer standardisierten Aufnahmetechnik können sich erheblich auswirken (vgl. Abb. 1).

Die großen interindividuellen Unterschiede in Bezug auf die planare Dominanz [8] (steiler oder flacher Verlauf der Bewegungsachse des unteren Sprunggelenkes in der Sagittalebene) erklären das Phänomen, dass manche Planovalgusdeformitäten (flacher Verlauf der Bewegungsachse) in der seitlichen Röntgenansicht eindrucksvoll imponieren, während sie im ap-Bild nahezu normal sein können; in anderen Fällen kann es sich dagegen gerade umgekehrt verhalten. Dies ist auch der Grund, warum ein aussagekräftiger Röntgenindex in jedem Fall beide Betrachtungsebenen repräsentieren sollte. Dem glei-



Abb. 1 a, b 7-jähriger Patient mit klinisch deutlicher Planovalgus-Deformität. In **a**) nur Teilbelastung des Beines, in **b**) kontrollierter Beidbeinstand mit gespannter Muskulatur. Der erhebliche Unterschied der radiologisch dargestellten Stellungenverhältnisse ist deutlich

chen Umstand trägt z.B. der TC-Index von Beatson und Pearson [2] Rechnung, die herausfanden, dass erst die Addition von talocalcanealem Winkel im ap- und seitlichen Strahlengang eine sichere Unterscheidung der Klumpfußdeformität vom normalen Fuß zulässt, während die Winkel einzeln betrachtet keine hohe Trennschärfe ergaben. In einer eigenen radiologischen Bewegungsstudie des talocalcaneo-navicularen Gelenkkomplexes bei fixiertem oberem Sprunggelenk am Leichenfuß [6] konnte festgestellt werden, dass die talocalcaneale Winkelbeziehung sich bei Inversion und Eversion vergleichsweise wenig ändert gegenüber solchen Parametern, die die talonaviculare Stellungsbeziehung beschreiben; daher wurden in den TMT-Index keine talocalcanearen Winkel einbezogen. Um die Fußlänge als Einflussgröße zu eliminieren, kamen für den TMT-Index ausschließlich Winkel- und keine Längenmaße in Betracht.

Der *Talo-Metatarsale-I-Winkel im seitlichen Strahlengang* ist ein gut bestimmbarer, gebräuchlicher

Röntgenparameter mit vergleichsweise geringer Streubreite des Normalwert-Bereiches (gegenüber z.B. dem Talocalcaneal-Winkel). Er erfasst summarisch sowohl die Plantarflektion des Talus im Rahmen der Rückfußversion, als auch die Destabilisierung des medialen Tarsalstrahles in den insgesamt drei tarsometatarsalen Gelenkverbindungen (talonavicular, naviculocuneiform, tarsometatarsal) in der Sagittalebene. Ein nach fußrückenseitig offener Winkel wird mit einer negativen Gradzahl beschrieben. In der Transversalebene ist der Talo-Metatarsale-I-Winkel dagegen als Maß für die Planoabducto-valgus-Deformierung weniger geeignet, da in ihn die tarsometatarsalen Stellungsverhältnisse der Lisfranc-Linie erheblich verfallend mit eingehen (z.B. der Metatarsus primus varus im Rahmen des Hallux-valgus-Syndromes, vgl. Abb. 3 b). Dies ist für Mosca der Grund, ganz auf eine quantitative Beschreibung der Planovalgus-Deformität in der ap-Ebene zu verzichten [9]. In dieser Betrachtungsebene soll möglichst reproduzierbar nur

Abb. 2 a–d Zwei jugendliche Patienten mit Planovalgusdeformität. Während die oberen Abbildungen eine deutliche Dominanz der Fehlstellung in der Sagittalebene zeigen, imponiert die Deformität auf den unteren Aufnahmen wesentlich deutlicher in der Transversalebene



die Abweichung des Os naviculare auf dem Taluskopf nach lateral erfasst werden. Da das Os naviculare als kleiner, scheibenförmiger Knochen nur unpräzise zu erfassen ist, kann hier hilfsweise ein Winkel gebildet werden zwischen der Taluslängsachse und einer Linie, die vom geometrischen Taluskopfmittelpunkt zur Mitte des Tarsometatarsale-I-Gelenkes (s. Abb. 2) gebildet wird (*Talus-Metatarsale-I-Winkel im ap-Strahlengang*, *TMTB-I-Winkel*). Die Talus-Längsachse wird gebildet aus einer Parallelen zur – meist gut identifizierbaren – medialen Talusbegrenzung, die durch den geometrischen Taluskopfmittelpunkt verläuft. Ein nach lateral offener Winkel wird mit einer negativen Gradzahl beschrieben. Da sich die Naviculo-cuneiforme-Gelenkreihe in der Transversalebene ausgesprochen stabil verhält, ist mit dem genannten Winkelmaß die talonaviculare Fehlstellung weitgehend isoliert beschrieben. Eine vergleichbare Orientierung an der Metatarsale-I-Basis als Landmarke findet sich auch etwa bei Simons [11] und Oesterreich [10]. Sie erscheint präziser als die zahlreichen, in der Literatur angegebenen Messverfahren zur direkten Beschreibung der talonavicularen Stellungsbeziehung [z. B. 1, 3, 4, 7]. – Ein Nachteil der hier vorgestellten Messtechnik besteht allerdings darin, dass der geometrische Taluskopf-Mittelpunkt ähnlich wie am Hüftkopf durch Auflegen einer Schablone mit konzentrischen Kreisen gebildet werden muss; da der Taluskopf nicht immer vollständig konzentrisch angelegt ist, kann dies manchmal nur näherungsweise möglich sein. Je nach Neigung der Röntgenröhre (empfohlen 20° bis 25°) kann auch die Festlegung der Talus-Längsachse schwierig sein.

Beide genannten Winkel werden durch Addition zum *Talo-Metatarsale-I-Index (TMT-Index)* zusammengefasst. Die Normbereiche beider Winkel liegen in etwa gleicher Höhe leicht im negativen Bereich

Tab. 1 TMT-I-Winkel (seitl.)=Winkel der Mittelachsen von Talus und Metatarsale I im seitlichen Bild; TMTB-I-Winkel=Winkel zwischen Taluslängsachse und einer Linie vom geometrischen Taluskopfmittelpunkt zur Mitte des Tarsometatarsale-I-Gelenkes; TMT-Index=Summe beider vorgenannter Winkel (Erläuterung der Gruppen s. Text)

	TMT-I-Winkel (seitl.)	TMTB-I-Winkel (ap)	TMT-Index
Gruppe A	-9,73° (SD=3,88°)	-10,53° (SD=6,81°)	-20,26° (SD=7,94°)
Gruppe B	-28,87° (SD=11,26°)	-21,87° (SD=5,28°)	-50,73° (SD=12,66°)
Gruppe C	-29,13° (SD=7,61°)	-22,33° (SD=4,42°)	-51,47° (SD=16,48°)
Gruppe D	-21,87° (SD=4,37°)	-23,00° (SD=6,08°)	-44,87° (SD=8,52°)
Gruppe E	-43,75° (SD=10,90°)	-33,16° (SD=6,81°)	-76,88° (SD=10,38°)

(s. Tab. 1, Gruppe A), so dass sie mit gleichem Gewicht in den TMT-Index eingehen.

Erste Erfahrungen in der Anwendung des TMT-Index

Aus dem Patientengut des Erst-Autors wurden bisher 70 qualitativ auswertbare Röntgenbefunde ausgemessen, die in der oben beschriebenen Technik standardisiert erhoben wurden. Es handelt sich jeweils um präoperativ untersuchte Füße von Hallux-rigidus-Patienten ohne jede erkennbare klinische Deformität oder Vorerkrankung im Bereich des Fußes abgesehen von der Großzehengrundgelenksarthrose als Normalkollektiv (Gruppe A, n=15), von Patienten im Alter zwischen 10 und 14 Jahren mit nicht-neurogener Planovalgusdeformität vor Durchführung einer Calcaneusverlängerung (Gruppe B, n=15), von Patienten im Alter zwischen 7 und 11 Jahren mit nicht-neurogener Planovalgusdeformität vor Durchführung einer Arthrorise (Gruppe C, n=15), von erwachsenen Patienten vor Korrektur einer Tibialis-posterior-Dysfunktion Stadium II nach Johnson und Stroh (Gruppe D, n=15) und von Patienten mit Tibialis-posterior-Dysfunktion Stadium III (Gruppe E, n=10).

Die Ergebnisse zeigt Tabelle 1. Auffällig in Gruppe A („Normalgruppe“) ist neben der etwa gleichen Größenordnung beider Winkel die geringe Standardabweichung insbesondere des TMT-I-Winkels im seitlichen Strahlengang.

Bei den Gruppen B und C handelt es sich um Kinder und Jugendliche, für die Normalwerte des TMT-Index noch nicht existieren. Es handelte sich um klinisch sehr ausgeprägte, präoperativ erhobene Planovalgus-Befunde bei Kindern, die überwiegend über statische Beschwerden klagten. Die Winkelwerte liegen für beide Gruppen in ähnlicher Höhe und unterscheiden sich signifikant von denen der Gruppe A.

Die Gruppen D und E beinhalten Patienten mit schweren bzw. schwersten Deformitäten auf dem Boden einer Tibialis-posterior-Dysfunktion. Beide Gruppen unterscheiden sich untereinander und von der Gruppe A signifikant in allen untersuchten Parametern.

Diskussion

Der *Talo-Metatarsale-I-Winkel im seitlichen Strahlengang* gehört zu den in der Literatur zur Röntgenstellungsdiagnostik bei Planovalgusdeformitäten gebräuchlichen und anerkannten Winkeln. Bei prä- und postoperativen Vergleichen operativ korrigierter

Patienten zeigt der TMT-I-Winkel die deutlichsten Änderungen im Vergleich mit anderen Winkelwerten [z.B. 5]. Younger et al. [13] fanden als Mittelwert in einem Normalkollektiv $7,1^\circ$, was nach der für die hier vorgelegte Studie verwendeten Definition $-7,1^\circ$ entspricht. Es handelt sich allerdings um Röntgenaufnahmen, die – abweichend von der eingangs erwähnten Technik – im Einbeinstand gefertigt wurden. Für das Schulkind-Alter fanden Vanderwilde et al. [12] mit etwa -6° ähnliche Werte. Die in der hier vorgelegten Studie ausgewertete, zahlenmäßig kleine Vergleichsgruppe (Gruppe A), für die sich ein mittlerer Talo-Metatarsale-I-Winkel im seitlichen Strahlengang von $-9,73^\circ$ fand, stellt insofern kein echtes Normalkollektiv dar, als es sich um Hallux-rigidus-Patienten handelte und damit eine Tendenz zum Metatarsus primus elevatus nicht auszuschließen ist. – Es bleibt festzuhalten, dass sich dieser Winkel bei Normalfußkollektiven etwa ab dem Schulalter offensichtlich relativ konstant verhält mit vergleichsweise geringer Schwankungsbreite (s. Tab. 1). Younger et al. [12] beschreiben zudem eine hohe Intra- und Interobserver-Korrelation sowie eine besonders hohe Trennschärfe dieses Winkels im Vergleich eines Normal- und eines Planovalgus-Kollektives. Alle diese genannten Angaben lassen diesen Winkel neben der pathophysiologischen Begründung (s.o.) sehr geeignet zur Beschreibung von Abweichungen im Planovalgusinne erscheinen.

Wie die Beispiele in Abb. 2 und die praktische Erfahrung im Umgang mit dem Talo-Metatarsale-I-Winkel im seitlichen Strahlengang zeigt, ist jedoch die Mitberücksichtigung der zweiten Ebene sinnvoll. Das talonaviculare Alignment im ap-Bild ist neben

dem TMT-I-Winkel im seitlichen Strahlengang ein weiteres, weithin gebräuchliches Kriterium zur Feststellung einer Planovalgus-Deviation. Allerdings bereitet die Quantifizierung u.a. wegen der oft unklaren Gelenkflächenbegrenzung beider Gelenkpartner (Abb. 3 a) Probleme. Auf der Suche nach einer geeigneten distalen Landmarke erschien die geometrische Mitte des Talo-Metatarsale-I-Gelenkes geeignet, auch in Anlehnung an andere beschriebene Messtechniken [z.B. 10, 11]. Durch Berücksichtigung des *Talo-Metatarsalebasis-I-Winkels im ap-Strahlengang* neben dem TMT-I-Winkel im seitlichen Strahlengang ist die dreidimensionale Deformität durch zwei nahezu senkrecht zueinander positionierte Betrachtungsebenen wiedergegeben.

Die Bildung eines Index durch Addition zweier Größen erscheint dann sinnvoll, wenn beide Größen ähnliche Normalwerte, Normwert-Schwankungsbreiten und Auslenkungskapazitäten besitzen. Dies scheint bei Betrachtung der in Tabelle 1 angegebenen Werte für die beiden Komponenten des TMT-Index weitgehend gegeben. Der Vorteil, das Ausmaß der Deformität mit nur einem Wert beschreiben zu können, besteht darin, verschiedene Kollektive bezüglich des Merkmals „skelettäre Planovalgusdeformität“ direkt vergleichen zu können und Veränderungen bei Verlaufsuntersuchungen einheitlich zu erfassen. Dies erscheint gerade in Anbetracht der Zunahme operativer Korrekturen am Planovalgusfuß bei Kindern und Erwachsenen wichtig. Erforderlich sind jedoch weitere Untersuchungen zur Relevanz des vorgestellten TMT-Index an größeren Kollektiven sowie Analysen zur Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit.

Abb. 3 a, b Zwei Phänomene, die in der Bestimmung der talonavicularen Stellungenbeziehung zu berücksichtigen sind: Bei noch unvollständiger Ossifikation des Os naviculare kann eine vermehrte Eversionsstellung vorgetäuscht werden (a); beim Vorliegen eines Metatarsus primus varus kann der TMT-1-Winkel bei 0° liegen trotz talonavicularer Fehlstellung. Letzteres ist in extremer Form beim Serpentinenuß der Fall



Literatur

1. Alman BA, Craig CL, Zimble S (1993) Subtalar arthrodesis for stabilization of valgus hindfoot in patients with cerebral palsy. *JPO* 13:634–641
2. Beatson TR, Pearson JR (1966) A method of assessing correction in club feet. *JBJS* 48-B:40–50
3. Giannestras NJ (1976) *Foot disorders*, Second Edition. Lea & Febiger, Philadelphia
4. Gould N (1983) Evaluation of hyperpronation and pes planus in adults. *Clin Orthop* 181:37–45
5. Gutierrez PR, Lara MH (2005) Gian-nini prosthesis for flatfoot. *Foot & Ankle Int* 26:918–926
6. Hamel J (1994) Sonographische Stel-lungsdiagnostik am kindlichen Tar-sus. *Habilitationsschrift* Universität Witten-Herdecke
7. Hutchins PM, Foster BK, Paterson DC, Cole EA (1985) Longterm results of early surgical release in club feet. *JBJS* 67-B:791–799
8. Mahan KT (1992) Pes planovalgus deformity. In: Mc Glamry ED, Banks AS, Downey MS (Hrsg) *Comprehen-sive textbook of foot surgery*, 2. Ed., Vol. 1, Williams & Wilkins, Baltimore
9. Mosca VS (1995) Calcaneal lengthen-ing for valgus deformity of the hind-foot. *JBJS* 77-A:500–512
10. Oesterreich AE (1992) Radiology. In Drennan JC (Hrsg) *The child's foot and ankle*. Raven Press, New York, 37–70
11. Simons GW (1978) A standardized method for the radiographic evalua-tion of clubfeet. *Clin Orthop* 135:107–118
12. Vanderwilde R, Staheli LT, Chew DE, Malagon V (1988) Measurements on radiographs of the foot in normal in-fants and children. *JBJS* 70-A:407–415
13. Younger AS, Sawatzky B, Dryden P (2005) Radiographic assessment of adult flatfoot. *Foot Ankle Int* 26:820–825