

Aus dem Institut für Geschichte der Medizin
Ludwig-Maximilians-Universität
München

Leiter: Prof. Dr. P. U. Unschuld

Zur Entwicklung invasiver Behandlungsmethoden der Beinlängendifferenz

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Veronica Toren
Frankfurt/Main

2002

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. W. G. Locher

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. med. R. Baumgart

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: _____

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h. c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung: 05.12.2002

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Ätiologie und Auswirkungen von Beinlängendifferenz	5
2.1	Ätiologie der Beinlängendifferenz	5
2.1.1	Angeborene Ursachen	5
2.1.2	Entwicklungsbedingte, tumorähnliche Erkrankungen und Tumoren	7
2.1.3	Septische und aseptische Entzündungen	9
2.1.4	Neuroorthopädische Erkrankungen	10
2.1.5	Trauma	10
2.1.6	Sonstige Ursachen	11
2.2	Auswirkungen der Beinlängendifferenz	12
3	Untersuchungsmethoden	15
3.1	Klinische Untersuchung der Beinlänge und Beinlängendifferenz .	15
3.2	Bildgebende Verfahren	17
4	Konservativer Beinlängenausgleich	19
5	Externe Fixationsmittel zur Frakturbehandlung bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts	22
5.1	Medizinische Frühzeit	22
5.2	Mittelalter bis Beginn des 20. Jahrhunderts	24
5.2.1	Indirekte Zugmethoden am Knochen	25
5.2.2	Direkte Zugmethoden am Knochen	26
6	Fixationsmittel zur Extremitätenverlängerung	30
6.1	Externe Verfahren	32
6.1.1	Fersen-Nagelzug-Gipsverband nach Codivilla	32
6.1.2	Methode nach Kirschner	33

6.1.3	Modifikation der Kirschner'schen Methode nach von Frisch	34
6.1.4	Methode nach Ombredanne	35
6.1.5	Methode nach Magnuson	35
6.1.6	Methode nach Putti	36
6.1.7	Prinzipien der Kallusentstehung und Methode nach Bier .	39
6.1.8	Distraktionsapparate von Klapp, Block und Hempel . . .	41
6.1.9	Methode nach Abbott	42
6.1.10	Modifikationen des Abbott-Distraktors	43
6.1.11	Ringfixateur nach Wittmoser	46
6.1.12	Methode nach Allan	47
6.1.13	Methode nach Bertrand	48
6.1.14	Methode nach Anderson	49
6.1.15	Methode nach Bost und Larsen	50
6.1.16	Methode nach Smith, Cunningham und Ring	50
6.1.17	Methode nach Küntscher	51
6.1.18	Methode nach Le Coeur	51
6.1.19	Methode nach Wagner	52
6.1.20	Methode nach Ilizarov	55
6.1.21	Methode nach Wasserstein	64
6.1.22	Methode nach Bickel	65
6.1.23	Methode nach Westin	65
6.1.24	Methode nach Merle D'Aubigné	66
6.1.25	Methode nach Cauchoix	67
6.1.26	Methode nach Kempf	68
6.1.27	Monticelli-Spinelli Fixateur	68
6.1.28	Dynamisch-axiale externe Fixation	69
6.1.29	Externer Fixateur von Cañadell	75
6.1.30	Wiesbadener Ringfixateur	75
6.1.31	Heidelberg-External-Fixation-System (HEFS)	76
6.1.32	Hybridfixateure	76

6.2	Interne Verfahren	77
6.2.1	Schöllner-Distraktor	77
6.2.2	Distractionsmarknagel von Götz und Schellmann	78
6.2.3	Distractionsmarknagel von Baumann und Harms	78
6.2.4	Distractionssystem von Witt und Jäger	79
6.2.5	Distractionsmarknagel von Bliskunov	80
6.2.6	Albizzia-Nagel von Guichet	80
6.2.7	Distractionsmarknagel von Baumgart und Betz	81
7	Alternative Methoden	84
7.1	Differenzausgleich durch Verkürzung	84
7.2	Fremdmaterialimplantation in die Epiphysenfuge	87
7.3	Arthrodesse des Calcaneo-Cruralgelenks	90
7.4	Epiphyseodese	91
7.5	Arterio-venöse Fisteln	92
7.6	Periostales Stripping	93
7.7	Transiliakale Verlängerung	94
7.8	Kurzwellen-Diathermie	95
7.9	Lumbale Sympathektomie	96
8	Diskussion	98
9	Kalendarische Zusammenfassung	110
10	Literaturverzeichnis	115
11	Abbildungsverzeichnis	142

1 Einleitung

Während es bereits zahlreiche Veröffentlichungen über die biologischen, biomechanischen und physikalischen Eigenschaften und Prinzipien der unterschiedlichen Methoden zur invasiven Behandlung von Beinlängendifferenzen gibt, wurde die Entwicklung dieser Methoden bisher nicht ausführlich beschrieben. Das Anliegen dieser Arbeit ist die Darstellung dieser Entwicklung in einem medizinhistorischen Überblick.

Anregung für diese Arbeit war mir der Bericht eines jungen Mannes, der wegen eines angeborenen Zwergwuchses, einer Achondroplasie, in der sibirischen Klinik des damals noch lebenden Professors GAVRIIL ABRAMOVICH ILIZAROV zur Behandlung gewesen war. Im Rahmen der Behandlung konnte eine Verlängerung der Gesamtkörpergröße von etwa dreißig Zentimetern erzielt werden. Diese Behandlung, die zwei Jahre dauerte, bot dem jungen Mann die große Chance auf ein neues Leben.

Die Bedeutung der Beinlängendifferenz beschäftigte die Menschen schon in der Antike. Erste Hinweise auf die Entwicklung eines für die Extremitätenverlängerung benötigten externen Fixationssystems für Knochenfragmente finden sich in altägyptischen Schriften und in den Schriften der antiken Medizin, im Corpus Hippocraticum.

Wie aber ist eine Beinlängendifferenz zu definieren, welche Ursachen kann sie haben und wie misst man sie objektiv?

2 Ätiologie und Auswirkungen von Beinlängendifferenz

2.1 Ätiologie der Beinlängendifferenz

Nach MORSCHER¹ (ehemaliger Chefarzt der orthopädischen Klinik der Universität Basel) unterscheidet man zwischen der reellen oder anatomischen, durch einen wirklichen Längenunterschied der Knochen bedingten Beinlängendifferenz, und der funktionellen Differenz – verursacht durch Kontrakturen von Muskeln und Gelenken sowie durch Fehlstellung im Hüftgelenk.

Die Therapien von anatomischer und funktioneller Beinlängendifferenz sind unterschiedlich.

Bei der funktionellen Differenz kommt eine Extremitätenverlängerung nicht in Betracht. Sie bedarf einer intensiven physikalischen Behandlung. Daneben können auch chirurgische Weichteileingriffe durchgeführt werden. Nur bei anatomischer Längendifferenz ist eine Indikation zum operativen Längenausgleich gegeben. Sie kann durch fehlendes, verzögertes, oder beschleunigtes Wachstum entstehen.

Im Folgenden werden verschiedene Ursachen für anatomische Beinlängendifferenzen und ihre Auswirkungen auf die Beinlänge dargestellt.

2.1.1 Angeborene Ursachen

Bei den kongenitalen Fehlbildungen gibt es zahlreiche, zum Teil gleichzeitig auftretende Erkrankungen. Verlängernde Maßnahmen sind bei angeborenen Fehlbildungen wegen der zumeist mitbestehenden Weichteilverkürzung schwieriger durchführbar als bei ätiologisch anderen Längendifferenzen.²

Durch angeborene Wachstumsstörungen kommt es zu Skelettmissbildungen.

¹Morscher 1972, 1-8 und 1973, 187-191

²Pfeil, Grill, Graf 1996, 10

Diese Erkrankungen werden als Osteochondrodysplasien bezeichnet und können alle Knochen betreffen. Hierbei kann die Störung in den Epiphysen, Metaphysen, periostal oder endostal, lokalisiert sein.

So besteht bei der Femurhypoplasie, einer angeborenen Unterentwicklung, bis hin zur Femuraplasie, einem vollständigen Fehlen des Oberschenkelknochens, meist eine große Beinlängendifferenz. Sie ist häufig mit einer Tibiaverkürzung und Formveränderungen des Kniegelenks oder der Hüfte vergesellschaftet. Eine Extremitätenverlängerung sollte nur bei der Aussicht auf stabile Gelenkverhältnisse durchgeführt werden, um Luxationen oder Subluxationen zu vermeiden.³

Eine Tibiahypoplasie ist häufig mit Fußdeformitäten und geschwächter Unterschenkelmuskulatur verbunden, so dass ein Längenausgleich bei gestörter Abrollfunktion hinderlich sein könnte.⁴

Die kongenitale Unterschenkelipseudarthrose erzeugt ebenfalls eine Beinverkürzung. Zur Sanierung der Pseudarthrose kann ein Segmenttransport erfolgen und gleichzeitig oder in einem zweiten Schritt ein Längendifferenzausgleich durchgeführt werden.⁵

Auch die angeborene Hüft dysplasie und Hüftluxation ist häufig Ursache einer Beinlängendifferenz. Im Rahmen der konservativen oder operativen Therapie der Hüft dysplasie oder Hüftgelenkluxation kann es zu einer Hüftkopfnekrose und konsekutiv zu einem Minderwachstum des proximalen Femurs kommen. Neben Umstellungsosteotomien am Femur kommen bei größeren Längendifferenzen Korrekturen der Beinlänge in Betracht.⁶

Zu den kongenitalen Anomalien mit Hypertrophien der Knochen zählt das

³Jones, Moseley 1985, 33-35

⁴Pfeil, Grill, Graf 1996, 13

⁵Pfeil, Grill, Graf 1996, 13

⁶Pfeil, Grill, Graf 1996, 14

Klippel-Trénaunay-Weber-Syndrom. Hier finden sich Gefäßanomalien, die das Knochenwachstum in der Epiphyse fördern und zu einem dysproportionierten Riesenwuchs der Knochen führen. Da die Pathologie im längeren Bein liegt, werden bevorzugt verkürzende Maßnahmen angewandt.⁷

2.1.2 Entwicklungsbedingte, tumorähnliche Erkrankungen und Tumoren

Zahlreiche tumoröse Knochenveränderungen können zu Beinlängendifferenzen führen.

Die fibröse Dysplasie ist eine Erkrankung des kindlichen Skeletts mit Fehlentwicklung des knochenbildenden Mesenchyms, wobei das Knochenmark durch fibröses Mark ersetzt wird und Faserknochen sich nicht in lamellären Knochen umwandelt. Diese Erkrankung imponiert röntgenologisch als „Knochenzyste“, weshalb sie zu den tumorartigen Veränderungen gezählt wird. Es kann zu Spontanfrakturen kommen. Die fibröse Dysplasie kann eine Wachstumsstimulation im Bereich der Wachstumsfugen auslösen, aber auch zu deren Beeinträchtigung führen.⁸

Die Neurofibromatose Recklinghausen kann in circa 40% zu zum Teil generalisierten, dysplastischen Knochenveränderungen führen. Sie bestehen in Wachstumsstörungen, angeborenen Knochenverkrümmungen, Pseudarthrosen oder intraossären, lytischen Knochenveränderungen. Zusätzlich können Neurofibrome, aus peripheren Nervenzellen bestehende benigne Tumoren, intraossär (selten) und periostal sowie extraperiostal auftreten. Durch die multiplen Knochenaffektionen kann sowohl ein beschleunigtes, wie auch ein gebremstes Knochenwachstum resultieren.⁹

⁷Köhler, Zimmer 1989, 698

⁸Adler 1997, 318-320

⁹Adler 1997, 386

Knochenzysten können, wenn sie in der Nähe der Epiphysenfuge liegen, Wachstumsstörungen verursachen. Auch die operative Entfernung der Zysten kann, da sie häufig metaphysär liegen, zu einer Wachstumsfugenschädigung führen.¹⁰

Bei der Enchondromatose (Morbus Ollier), einer nicht erblichen, meist auf einer Skelettseite manifestierten Entwicklungsstörung des Skeletts, finden sich multiple Enchondrome in den Diaphysen und Metaphysen verschiedener Knochen. Dies kann zu seitenungleichem Knochenwachstum führen. Beim Morbus Ollier bestehen zum Teil erhebliche Längendifferenzen durch Knochenverkürzung und Verbiegung.¹¹

Exostosen sind epimetaphysär lokalisiert. Durch die Exostose selbst, oder den operativen Eingriff an dieser, kann es zu einem meist partiellen Wachstumsfugenschluss kommen, so dass hier Beinverkürzungen mit Achsenabweichungen entstehen können.¹²

Zu den entwicklungsbedingten und tumorösen Erkrankungen des Skeletts zählt auch die Osteochondromatose. Es handelt sich um eine Erkrankung mit multiplen Osteochondromen. Sie wird auch als Exostosenkrankheit bezeichnet und ist ein hereditäres, familiär auftretendes Leiden. Die tumorösen Läsionen liegen häufig im Bereich der Knie und Knöchel, meist epimetaphysär, und können dort, vor allem, da sie zur malignen Entartung neigen, die Wachstumsfugen zerstören und so zu einer Wachstumsbremsung führen.¹³

Auch maligne Tumoren können Beinlängendifferenzen verursachen. Sie können im Wachstumsalter im Bereich der Epiphysen liegen und diese zerstören,

¹⁰Adler 1997, 408

¹¹Adler 1997, 60

¹²Correll 1998, 130-131

¹³Adler 1997, 62

was zu einer Wachstumsbremsung führen kann.¹⁴ Bei der Resektion mit Sicherheitsabstand entstehen größere sekundäre Knochendefekte, die mittels Segmentverschiebung überbrückt werden können. Dabei kann der Ausgleich einer Längendifferenz notwendig sein.

2.1.3 Septische und aseptische Entzündungen

Bei Säuglingen und Kleinkindern kann bei septischen Erkrankungen ein Gelenkempyem auftreten. Dies kann zum Fugenschluss oder zur Zerstörung der Epiphyse führen. Insbesondere bei der fulminanten Sepsis kann an mehreren Epiphysenfugen eine Brückenkallusbildung mit partiellem oder komplettem Verschluss einer oder mehrerer Epiphysenfugen als Spätfolge auftreten. Die Entwicklung der Längendifferenz sollte radiologisch genau kontrolliert werden, da durch die frühzeitige Chirurgie an der Epiphysenfuge eine Restitutio ad integrum erreicht werden kann.¹⁵

Durch Osteomyelitis an Femur oder Tibia, Tuberkulose sowie durch eine Arthritis purulenta können die Wachstumsfugen geschädigt werden. Ist die Epiphysenfuge selbst nicht durch die Osteomyelitis oder Tuberkulose befallen, sondern der Knochen oder das Gelenk in der direkten Nachbarschaft der Fuge, kann es auch zu einer Wachstumsstimulation kommen.¹⁶ Ein Débridement bei entzündlichen Erkrankungen kann durch einen Knochendefekt zu einer Verkürzung führen.

Die juvenile Polyarthritis zählt zu den aseptischen Entzündungen. Durch die anhaltende Entzündung der Gelenke kommt es zu einer reaktiven Stimulation der angrenzenden Wachstumsfugen. Dies kann zu einem erheblichen Wachstumsanstieg führen. Auch kann ein verfrühter Epiphysenfugenschluss beob-

¹⁴Morscher 1972, 1-8

¹⁵Pfeil, Grill, Graf 1996, 16

¹⁶Morscher 1972, 1-8

achtet werden, so dass bis zum Wachstumsende die definitive Beinlängendifferenz nicht abgeschätzt werden kann.¹⁷

2.1.4 Neuroorthopädische Erkrankungen

Neuroorthopädische Erkrankungen wie poliomyelitische und andere Lähmungen können durch trophische Störungen zu Beinverkürzungen führen. Der Knochen ist in diesem Fall meist mindermineralisiert, was für eine gute Konsolidierung nach operativem Beinlängenausgleich hinderlich ist. Zur Kallusausreifung ist dementsprechend eine längere Zeit notwendig. Weiterhin ist die Muskelfunktion im Falle einer Poliomyelitis nach einer Verlängerung häufig stark eingeschränkt. Der operative Längenausgleich sollte nur bei Patienten erfolgen, die ohne oder mit geringgradigen technischen Hilfsmitteln laufen können.¹⁸

2.1.5 Trauma

Häufige Ursachen der Beinlängendifferenz sind Traumata. Bei kindlichen diaphysären Frakturen kann es durch eine vermehrte Durchblutung zu übermäßigem Längenwachstum aufgrund einer Stimulierung der benachbarten Epiphysenfugen kommen. Dagegen führen diaphysäre Frakturen kurz vor Beendigung des Längenwachstums häufig zu einem vorzeitigen Verschluss der Wachstumsfuge mit konsekutivem Wachstumsstillstand.

Direkte Verletzungen der Wachstumsfugen können zu einem kompletten oder partiellen Fugenschluss führen. Dies bedingt dann Längendifferenzen und Achsenfehlstellungen.¹⁹

Frakturen der Röhrenknochen heilen beim Erwachsenen bei Fehlindikation zu konservativer Therapie oder fehlgeschlagener operativer Versorgung häufig mit einer Verkürzung aus.

Primäre Knochendefekte können bei höhergradigen offenen Frakturen aufgrund

¹⁷Pfeil, Grill, Graf 1996, 13-16

¹⁸Pfeil, Grill, Graf 1996, 17

¹⁹Pfeil, Grill, Graf 1996, 15-16

von schweren Traumata durch den Verlust von Knochenteilen entstehen. Die Resektion von Pseudarthrosen oder ein Débridement bei schwerem Knocheninfekt oder Knochennekrosen nach einem Trauma hinterlassen einen sekundären knöchernen Defekt. Neben einer Wiederherstellung der Kontinuität des Knochens kann eine verlängernde Maßnahme notwendig werden.²⁰

2.1.6 Sonstige Ursachen

Bei den metabolischen Osteopathien, z.B. der chronischen Nephropathie, der Rachitis oder der seltenen juvenilen Osteoporose können Beinverkürzungen, häufig kombiniert mit Achsendeviationen, auftreten. Primär ist hier die Grunderkrankung zu behandeln. Nachfolgend können achsenkorrigierende Eingriffe mit oder ohne simultane Längenkorrektur erfolgen.²¹

Der Morbus Legg-Calvé-Perthes ist eine Erkrankung, bei der es im Kindesalter zu einer partiellen oder vollständigen aseptischen Hüftkopfnekrose aufgrund einer arteriellen Minderdurchblutung kommen kann. Dabei kann es zu einer Beeinträchtigung der Wachstumsfuge und so zur Wachstumsbremsung im Bereich der Hüfte kommen.²²

Durch Bestrahlung maligner Tumoren können im Wachstumsalter die Epiphysenfugen beeinträchtigt werden. Dadurch kann es zu Beinverkürzungen kommen. Distrahierende Beinlängenkorrekturen müssen dann fern der ehemaligen Bestrahlungszone durchgeführt werden, da im bestrahlten Gebiet keine ausreichende Kallusbildung zu erwarten ist.²³

Bei den dargestellten Ätiologien ist die Konsequenz meist eine mehrere Zentimeter betragende Differenz. Wesentlich häufiger ist jedoch ein weniger als

²⁰Strecker, Keppler, Kinzl 1997

²¹Pfeil, Grill, Graf 1996, 18

²²Adler 1997, 176

²³Correll 1998, 131

zwei Zentimeter betragender Beinlängenunterschied, dessen Ursache weitgehend ungeklärt ist und der deshalb als idiopathische Beinlängendifferenz bezeichnet wird. Beinlängendifferenzen von bis zu einem Zentimeter sind bei circa 66% der Bevölkerung vorhanden.²⁴

Eine leichte, idiopathische, Beinlängendifferenz führt nur selten zu Beschwerden, da sie gut kompensiert wird. Ein leichter Beckenschiefstand ist meist kaum auffällig. Er kann aber auch ein Verkürzungshinken und eine Ausgleichsskoliose verursachen.²⁵

2.2 Auswirkungen der Beinlängendifferenz

Größere Beinlängendifferenzen können schwerwiegende Folgen für Muskeln und Skelett haben.

Es resultiert ein Beckenschiefstand mit einer kompensatorischen Lumbalskoliose und Konvexität in der Regel zur kürzeren Seite zur Gewährleistung der Körperaufrichtung.

In späteren Stadien kommt es zuweilen zu einer thorakozervikalen Gegenkrümmung.²⁶ Eine im Wachstumsalter erworbene Beinverkürzung neigt zur Skolioseentwicklung, die in 90% der Fälle zu einer fixierten Fehlbildung führt. Nach GRILL kann sich eine Wirbelsäulenfehlhaltung durch Beckenschiefstand fixieren, wenn eine Beinlängendifferenz über längere Zeit besteht. Erstaunlicherweise gibt es keinen Zusammenhang zwischen der Schwere des Beckenschiefstandes und dem Ausmaß der Fixation.²⁷

Beinlängendifferenzen von über zwei Zentimetern werden häufig dadurch kompensiert, dass eine Spitzfußstellung der kürzeren Seite entsteht und das Knie und die Hüfte der längeren Seite gebeugt werden.

Eine nach Wachstumsabschluss erworbene Längendifferenz neigt zu einer ungünstigen Stellung der statischen Gliederkette mit ungleichmäßiger Belastung

²⁴Grill, Chochole, Schultz 1990, 244-262

²⁵Morscher 1972, 1-8 und 1973, 187-191

²⁶Grill, Chochole, Schultz 1990, 244-262

²⁷Grill 1989, 241-276

von Wirbelsäule und Hüftgelenken. Jede Fehlstellung der Wirbelsäule bedingt eine Abnutzung der Bandscheiben, Osteochondrose- und Osteophytenbildung an der Skoliosenkonkavseite, sowie Spondylarthrosen der Wirbelgelenke. Vor allem ist die Lendenwirbelsäule von solchen Abnutzungserscheinungen betroffen. Nach MORSCHER sollte man daher im Einzelfall immer bestrebt sein, die Wirbelsäule ins Lot zu bringen. Er rät jedoch davon ab, eine Beinlängendifferenz ohne exakte Analyse des Einzelfalles mit allen Mitteln zu korrigieren. Der Grad der Differenz und damit der Schwere des Beckenschiefstandes, die Schwere der seitlichen Verkrümmung der Wirbelsäule und deren Beweglichkeit sowie sämtliche vorhandenen Kompensationsmechanismen sollten wichtige Richtpunkte sein.²⁸

Am Hüftgelenk resultiert in Abhängigkeit von der Längendifferenz eine Ungleichheit in der Hüftkopfüberdachung. Der Femurkopf wird auf der Seite des kürzeren Beines von der Hüftgelenkspfanne stärker überdacht, was eine Vergrößerung des CE-Winkels zur Folge hat. Dadurch wird die Hüfte auf dieser Seite entlastet. Eine zusätzliche Entlastung des Hüftgelenkes auf der Seite des kürzeren Beines kommt dadurch zustande, dass beim Verkürzungshinken der Oberkörper stärker zu der Seite des kürzeren Beines verlagert wird, und dadurch der Hebelarm des Körperschwerpunktes, bzw. der Lastarm, verkürzt wird. Auf der längeren Seite entsteht eine funktionelle Coxa valga durch Verkleinerung des CE-Winkels mit vermehrter Belastung und erhöhtem Arthrose-Risiko. Von den Hüftabduktoren muss wegen der Vergrößerung des Abstandes von Ursprung und Ansatz der Muskeln mehr Muskelarbeit geleistet werden. Dies kann zu chronischen Bursitiden führen, da der Tractus iliotibialis vermehrt auf den Trochanter major drückt.²⁹

Die Muskulatur wird durch Unterschiede in der Beinlänge beeinflusst. Elektromyographische Untersuchungen von MORSCHER zeigen, dass schon geringgradige Beinlängenunterschiede von ein bis zwei Zentimetern zu verstärkten

²⁸Morscher 1972, 1-8 und Putz, Müller-Gerbl 1990, 278-282

²⁹Grill, Chochole, Schultz 1990, 244-262

2 ÄTIOLOGIE UND AUSWIRKUNGEN VON BEINLÄNGENDIFFERENZ

asymmetrischen Muskelaktivitäten in den verschiedenen Muskelgruppen am Stamm und an den unteren Extremitäten führen. Subjektiv fühlbar treten Muskelermüdungsschmerzen auf.

Man findet vermehrt Tendinopathien am Ansatz und Ursprung des Musculus iliopsoas, am Trochanter minor und an den Querfortsätzen der Lendenwirbel, sowie am Ursprung der Adduktoren am Schambein.³⁰

Haben sich massive degenerative Schäden erst einmal etabliert, kommt ein korrigierender Eingriff, welcher Art auch immer, meist zu spät.³¹

Auch die psychische Belastung des Patienten durch das veränderte Gangbild ist ein nicht zu vernachlässigendes Problem.

³⁰Morscher 1973, 187-191 und 1972, 1-8

³¹Grill, Chochole, Schultz 1990, 244-262

3 Untersuchungsmethoden

3.1 Klinische Untersuchung der Beinlänge und Beinlängendifferenz

Zu jeder Untersuchung der unteren Extremitäten, der Hüftgelenke oder des Rückens, speziell wenn an letzterem eine seitliche Verkrümmung festgestellt werden kann, gehört, neben der Anamneseerhebung, die Messung der Beinlängen. In der Regel erfolgt diese Messung klinisch, und nur in Ausnahmefällen drängt sich eine röntgenologische Messung auf, wenn zum Beispiel vor einem operativen Eingriff eine größere Messgenauigkeit gefordert wird.³²

Ein verändertes Gangbild des Patienten, zum Beispiel ein Verkürzungshinken, kann schon auf den ersten Blick auffällig sein. Die klinische Untersuchung erfolgt am entkleideten, sitzenden, liegenden und stehenden Patienten. Von dorsal wird ein Beckenschiefstand am stehenden Patienten mit auf den Beckenkamm aufgelegten Händen abgeschätzt, gegebenenfalls auch mit Hilfe einer Beckenwaage gemessen. Der Verlauf der Wirbelsäule und Achsenfehlstellungen sind dabei zu beachten.

Ein grober Anhalt für Längendifferenzen von Ober- und Unterschenkeln kann im Stehen anhand der Kniescheibenhöhe oder in Rückenlage, bei gleichzeitiger 90°-Beugung in den Hüft- und Kniegelenken, erhalten werden.

Man kann die Distanz zweier Skelettpunkte im Liegen direkt mit dem Längenmaß in Zentimetern und Millimetern ausmessen und mit derselben Strecke der anderen Extremität vergleichen (direkte Messmethode). Dabei wird mit dem Maßband die Distanz zwischen zwei Messpunkten bestimmt, die am Körper bezeichnet werden müssen. Man bestimmt die Länge von Knochen und wählt daher Messpunkte, die am ehesten den Enden langer Röhrenknochen entsprechen. Für die Oberschenkel­länge hat sich als effektivste Messstrecke die Distanz zwischen Spina iliaca anterior superior und äußerem Kniegelenkspalt, für die

³²Grill, Chochole, Schultz 1990, 244-262

Gesamtbeinlänge die Distanz zwischen Spina iliaca anterior superior und äußerem Malleolus eingebürgert.

Es ist leicht vorstellbar, dass die Fehlermöglichkeiten bei dieser direkten Messmethodik relativ groß sind, vor allem bei verschiedenartigen Gelenk- und Muskelkontrakturen oder unterschiedlichen Weichteilkonturen, woraus sich ergibt, dass so gemessene Werte nur im Vergleich, nicht aber absolut, gewertet werden dürfen.

Andererseits kann man beim Vorliegen einer Beinlängendifferenz die kürzere Extremität durch Unterlegen von Brettchen bekannter Stärke solange verlängern, bis Symmetrie erreicht ist. Als Maß dieser Symmetrie dient in der Regel die Beseitigung eines seitlichen Beckenschiefstandes und die Korrektur seitlicher Wirbelsäulenverkrümmungen, falls diese nicht schon fixiert sind (indirekte Messmethode).³³

Um vor Therapiebeginn einen Ausgangsstatus über die Gelenkbeweglichkeit zu haben, bedient man sich der Neutral-0-Methode im Seitenvergleich. Eine dabei festgestellte Gelenk- oder Muskelkontraktur kann eventuell vorzeitig durch physikalische Therapie gemindert werden, bevor eine Verschlechterung durch eine Verlängerungsmaßnahme eintritt.

Mit einer Untersuchung von Becken und Wirbelsäule können kompensatorische Vorgänge in diesen Segmenten bei Längendifferenzen aufgedeckt werden. Man kann erkennen, ob strukturelle Veränderungen schon fixiert sind.

Bei Patienten im Wachstumsalter ist nicht nur die exakte Messung der Längendifferenz, sondern auch eine Wachstumsprognose notwendig, deren Ziel die Einschätzung der Situation zum Wachstumsende ist. Die Gesamtprognose setzt sich aus mehreren Faktoren wie Körpergröße der Familienangehörigen

³³Morscher und Figner 1972, 9-13

und Skeletalterbestimmung zusammen.³⁴ Auch die graphische Vorausberechnung spielt für die Prognose eine große Rolle. Mit dem Nomogramm von MOSELEY kann die zu erwartende Beinlängendifferenz abgelesen werden und mit Referenzlinien das weitere Wachstum nach operativen Eingriffen, wie zum Beispiel Verlängerungen oder Epiphyseodesen, graphisch dargestellt werden. So lässt sich ein günstiger Operationszeitpunkt ermitteln, so dass rechnerisch zum Zeitpunkt der Skelettreife keine, beziehungsweise nur eine geringe Längendifferenz besteht.³⁵

3.2 Bildgebende Verfahren

Keine der klinischen Methoden kann die bildgebenden Untersuchungsverfahren ersetzen.

Bei der Orthoröntgenographie werden die Gelenke im Seitenvergleich separat aufgenommen. Gleichzeitig wird eine metrische Skalierung abgebildet, die zur Ermittlung der Knochenlängen und deren Differenzen dient. Der Nachteil der Orthoröntgenographie liegt in der fehlenden Beurteilbarkeit der Statik, da weder Achsen noch die entsprechende Einstellung der Lendenwirbelsäule beurteilbar sind.³⁶

Bei der computertomographischen Beinlängenmessung sinkt die Strahlenbelastung auf 20% im Vergleich zur konventionellen Röntgenaufnahme. Eine exakte Längenbestimmung mit einer Abweichung von unter einem Millimeter ist möglich. Nachteilig ist wie bei der Orthoröntgenographie die fehlende statische Beurteilbarkeit.³⁷

Die Standbeinaufnahmen erlauben eine differenzierte Längenbestimmung von

³⁴Anderson, Messner, Green 1963, 1-14

³⁵Moseley 1978, 33-40

³⁶Pfeil, Grill, Graf 1996, 21-23

³⁷Pfeil, Grill, Graf 1996, 23

Ober- und Unterschenkel. Sie erfolgen als Ganzbeinaufnahmen unter Belastung beider Beine a.p. und seitlich nach Längenausgleich durch Brettchenunterlage mit nach vorne gerichteten Kniescheiben.³⁸

Bei der sonographischen Längenmessung werden die Gelenkspalten ermittelt. Auf einer externen Messvorrichtung werden Entfernungsmarkierungen gesetzt. Aus den ermittelten Differenzen lässt sich mit dieser Methode die Länge von Femur und Tibia bestimmen.³⁹

Der Goldstandard der radiologischen Messungen sind heute das Beinlängen-CT und die Standbeinaufnahmen.

³⁸Oest, Sieberg 1971, 54-72 und Pfeil 1997, 123-124

³⁹Holst, Thomas 1989, 547-551

4 Konservativer Beinlängenausgleich

Konservative Ausgleichsmethoden sind nicht invasiv. Beinlängendifferenzen von weniger als einem Zentimeter bedürfen keiner Therapie, vorausgesetzt es besteht Beschwerdefreiheit. Ein Ausgleich kann mit Hilfe von Schuheinlagen, Fersenkissen oder Fersenkeilen an Konfektionsschuhen erfolgen. Außerdem kann eine Absatzerniedrigung der Gegenseite von bis zu 0,5 Zentimetern zum Ausgleich führen.

Längendifferenzen von bis zu circa drei Zentimetern können durch eine orthopädische Schuhzurichtung (Absatzerhöhung mit Sohlenausgleich oder Schuheinlage) behandelt werden. Häufig stellen solche orthopädiotechnische Veränderungen für den Patienten jedoch funktionelle und kosmetische Probleme dar.⁴⁰

Eine Beinverkürzung von über drei bis zu circa sieben Zentimetern lässt sich orthopädiotechnisch durch Absatzerhöhung nur schlecht ausgleichen. Absatzerhöhungen werden von Seiten des Sprunggelenkes nur schlecht toleriert, Bandläsionen sind nicht selten. Bei Differenzen von über drei Zentimetern wird daher eine Versorgung mit orthopädischen Maßschuhen, Innenschuhen kombiniert mit Maßschuhen, oder orthopädiotechnischen Fußbettungsothesen erforderlich. Ausreichende Stabilität kann bei diesen Differenzen nur gewährleistet sein, wenn die Maßschuhe über den Knöchel reichen.

Bei bis zu zwölf Zentimetern Längendifferenz erfolgt der konservative Ausgleich durch einen Innenschuh, der den Fuß in Spitzfußstellung hält. Da der Fuß in diesem Fall seine Abrollfunktion verloren hat, erfolgt ein Ausgleich durch individuell angepasste Absatzrollen.

Bei hochgradiger Verkürzung kommen orthopädiotechnische Beinorthesen oder Etagenschuhe in Betracht. Der Fuß wird dabei in Spitzfußstellung in einer Orthoprothese auf einem künstlichen Fuß fixiert.⁴¹

⁴⁰Morscher 1972, 119-120

⁴¹Pfeil, Grill, Graf 1996, 81-82



Abbildung 1: Beinlängenausgleich durch Schuherhöhung im Mittelalter

Bei einer schuhtechnischen Längenkorrektur bleiben wichtige Probleme ungelöst. Das Hilfsmittel kann die Längendifferenz lediglich kompensieren, während die Deformität unverändert bestehen bleibt. Weiter bleiben bei einer Längendifferenz der Oberschenkel, im Gegensatz zu der Längendifferenz der Unterschenkel, beim technischen Verkürzungsausgleich die Kniegelenke auf ungleicher Höhe, was eine Störung des Gangbildes verursacht.

Auch den kosmetischen Ansprüchen können die technischen Hilfsmittel nicht gerecht werden. Gleiches gilt für die Hygiene: Verwitterungsspuren am Hilfsmittel durch Schweiß, Geruchsbelästigung und die recht begrenzten Reinigungsmöglichkeiten sind große Nachteile.

Unzulänglichkeiten der Hilfsmittel haben daher schon früh ein dringendes Bedürfnis nach einer operativen Längenkorrektur geweckt, mit der die Deformität tatsächlich beseitigt und der Patient von den technischen Hilfsmitteln unabhängig wird.⁴²

Stellen sich konservative Ausgleichsmethoden als unzureichend heraus, kann eine operative Begleichung dieser Differenz das Mittel der Wahl sein. Dabei

⁴²Wagner 1972, 59-74

besteht die Möglichkeit, die gesunde längere Extremität (bei „ausreichender“ Körpergröße) zu verkürzen, oder die verkürzte Extremität zu verlängern. Weiterhin besteht bei hochgradigen Beinlängendifferenzen die Möglichkeit einer kombinierten Verkürzungs- und Verlängerungsosteotomie.

5 Externe Fixationsmittel zur Frakturbehandlung bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts

Die Entwicklung der Extremitätenverlängerung beginnt mit der Entwicklung des dazu notwendigen technischen Hilfsmittels, des externen Fixateurs. Dieser wurde zunächst lediglich in der Frakturbehandlung, als äußerer Festhalteapparat der Frakturfragmente, eingesetzt.

Erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts, als im Bereich der Frakturbehandlung bereits Fixateure mit der Möglichkeit eines direkten Zuges am Knochen vorhanden waren, waren die Voraussetzungen geschaffen, um erstmals eine Extremitätenverlängerung durchzuführen.

Im Folgenden wird die Entwicklung externer Fixationssysteme bis zu ihrem Einsatz im Bereich der Extremitätenverlängerung dargestellt.

5.1 Medizinische Frühzeit

Die Entwicklung der externen Fixation zur Frakturbehandlung begann in Ägypten und war der Grundstein für die Entwicklung der modernen Methoden zur Extremitätenverlängerung.

Im Alten Reich Ägyptens, etwa 3000 bis 2000 vor Christus, wurden zur Frakturfixation Schienen mit Leinenbinden umwickelt.⁴³ Eine mumifizierte Extremität mit einer derartigen Fixation der Frakturfragmente befindet sich an der medizinischen Fakultät der Universität Kairo.⁴⁴

Auch der gerne als ältestes chirurgisches Lehrbuch bezeichnete Papyrus Edwin Smith (chirurgischer Papyrus, der um 1550 vor Chr. entstanden ist) beschreibt unter anderem Leinenschienen zur Fixierung von Claviculafrakturen.⁴⁵

⁴³Kolta 2000, 49

⁴⁴Harris, Wente 1980, Abb. 2.4

⁴⁵Brothwell, Sandison 1972, 599-605

In der antiken Medizin, in den Schriften des „*Corpus Hippocraticum*“, wurde im Kapitel über Knochenbrüche („*de fractis*“) eine Methode zur externen Fixation beschrieben. Der große Vorteil dieser Methode wurde darin gesehen, dass beispielsweise eine Tibiafraktur immobilisiert, und gleichzeitig eine assoziierte Wunde oder Weichteilverletzung behandelt und inspiziert werden konnte. Die Konstruktion hatte äußerlich große Ähnlichkeit mit den heutigen Fixateuren und bestand aus Lederringen und Stäben aus Kirschbaumholz. Die Ringe wurden im Bereich von Knie und Sprunggelenk befestigt. Man verwendete

„vier Stäbe aus Kornelkirschbaumholz, untereinander von gleicher Größe, etwa von Fingerdicke und von solcher Länge, dass sie, wenn sie gebogen sind, in die Anhängsel hineinpassen, und dabei muss man darauf achten, dass die Enden der Stäbe nicht gegen die Haut, sondern gegen die Ränder der Ringe stoßen. Man muss aber drei Sorten solcher Stäbe haben und noch mehr, und zwar müssen die der einen Sorte noch etwas länger sein als die der anderen Sorte, andere wieder etwas kürzer und gleichzeitig etwas schwächer, so dass man eine stärkere oder schwächere Streckung vornehmen kann, je nachdem man will. Diese Stäbe müssen paarweise links und rechts von den Knöcheln angebracht werden. Diese mechanischen Vorrichtungen werden, wenn sie regelrecht getroffen sind, dazu dienen, eine regelmäßige und gleichmäßige Streckung in der natürlichen Richtung (des Gliedes) zu bewirken, und es wird an der Wundstelle kein Schmerz vorhanden sein; denn durch Einschnürung entstehender Druck wird, wenn ein solcher überhaupt vorhanden sein sollte, einesteils nach dem Fuße, andernteils nach dem Oberschenkel gelenkt.“

Beeindruckend ist insbesondere folgende Aussage:

„Wenn die Ringe geschmeidig, gut gemacht, weich und frisch genäht sind und wenn die durch die Stäbe zu bewirkende Spannung in angemessener

Weise bewirkt wird, so ist das Gerät wohl zu brauchen, wenn dagegen irgend etwas von dem allen nicht in Ordnung ist, so wird das Gerät mehr schaden als nützen.”⁴⁶

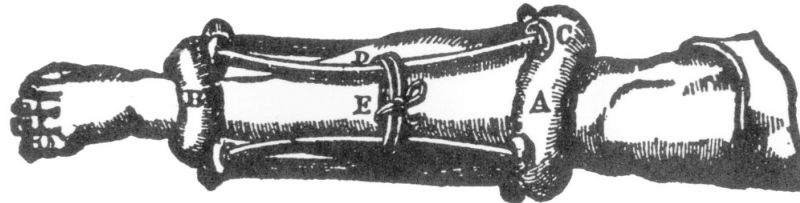


Abbildung 2: Externes Fixationsmittel des Corpus Hippocraticum

Im Prinzip wurde diese Art von Fixation zur Stabilisierung der Fragmente bei Frakturen mehrere Jahrhunderte lang, bis in das Mittelalter, angewandt.

5.2 Mittelalter bis Beginn des 20. Jahrhunderts

Der byzantinische Arzt ABULKASIM CHALAF BEN ABBAS EL-ZAHRAWI wurde bei Cordoba geboren und lebte von etwa 936 bis 1013. Sein Werk umfasst die gesamte Medizin. Das Hauptwerk, der sogenannte Tesrif, umfasst einen praktischen und einen theoretischen Teil mit je fünfzehn Büchern. Der ausführliche chirurgische Teil umfasst drei Bücher. Ob ABULKASIM das Corpus Hippocraticum bekannt war, ist unklar.⁴⁷ Im XII. Jahrhundert wurde der chirurgische Teil des Tesrif ins Lateinische übersetzt.⁴⁸

Hervorzuheben sind die von ABULKASIM im 3. Buch beigefügten zahlreichen Abbildungen, die externe Fixationssysteme zeigen. ABULKASIM verwendete Schienen aus Holz oder Eisenblech mit abgerundeten Ecken sowie Schienen mit geschweifter Mittelplatte und schmalen lattenförmigen Enden für Schlüsselbeinbrüche. Er beschrieb die Möglichkeit einer Fensterung des Verbandes bei komplizierten Frakturen mit Wunde.

⁴⁶Fuchs 1900, 211-213

⁴⁷Spink, Lewis 1973, 688

⁴⁸Sudhoff 1918, 64-67

Diese Methode wurde später von HANS VON GERSDORF übernommen.⁴⁹

5.2.1 Indirekte Zugmethoden am Knochen

GUY DE CHAULIAC (ca. 1300-1368), ein südfranzösischer Arzt, gilt als derjenige, der in die Frakturbehandlung die Extension eingeführt hat.⁵⁰

Er übernahm vieles von ABULKASIM, dessen Werk er kannte.⁵¹ In seinem Werk „*Chirurgia Magna*“ empfahl er bei Femurfrakturen die permanente Gewichtsex-tension von Knochenfragmenten zur Reposition und Retention. Schienen und Schrauben dienten ihm nur zur Streckung von Ellenbogen- und Kniekontrak-turen.⁵²

1517 erschien das „*Feldbuch der Wund-Arznei*“ von HANS VON GERSDORF (ca. 1455-1529), auch „*Schylhans*“ genannt. Sein Werk war vor allem an die „*Chirur-gia Magna*“ des GUY DE CHAULIAC angelehnt.

Zur Frakturbehandlung an der unteren Extremität verwendete er ein aufwendiges Extensionsgerät, welches mit einem vielschichtigen Verband versehen war. Es handelte sich um einen Streckapparat, mit dem traumatische Fehlstellun-gen eingerichtet und Kontrakturen aufgedehnt wurden. Dies beschrieb er im Kapitel „*Von den Beinbrüchen*“.⁵³ Die Legenden zu Holzschnitten lauteten „*In-strument zu dem krummen arm*“ oder „*Harnesch instrument krumme schenkel zu strecken*“. Er führte die Verwendung von Schienen und Schrauben zur Fraktur-fixation ein.⁵⁴

In den vergangenen Jahrhunderten gab es zahlreiche Versuche, mit Traktions-apparaten fehlverheilte Frakturen einzurichten. Am Prinzip der konservativen

⁴⁹Neuburger, Pagel 1902, 602

⁵⁰Peltier 1990, 169

⁵¹Neuburger, Pagel 1902, 106

⁵²Neuburger, Pagel 1902, 730-736

⁵³von Gersdorf, Nachdruck der Erstausgabe, 1967, IV-V, 1

⁵⁴Valentin 1961,12-15

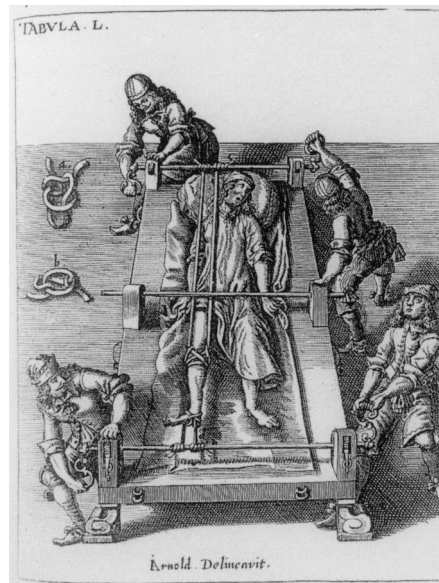


Abbildung 3: Fraktureinrichtung im Mittelalter

Frakturbehandlung durch Traktion und Extension hat sich bis heute nichts geändert.

Nachteil der indirekten Zugmethoden am Knochen war, dass ein großer Teil der Zugkräfte auf die Weichteile wirkte, und diese beeinträchtigte und schädigte. Daraus entstand die Idee, die Zugkraft direkt am Knochen angreifen zu lassen.

Erst Mitte des neunzehnten Jahrhunderts wurden große orthopädische Eingriffe möglich. Eine wesentliche Voraussetzung dafür war das Aufkommen der Äthernarkose, die Einführung der Blutleere bei Operationen, und die Entdeckung der antiseptischen Eigenschaften der Karbolsäure, durch die die Gefahr der bis dahin so gefürchteten postoperativen Wundinfektion reduziert werden konnte. Diese Entwicklung war die Voraussetzung für die Entstehung externer Frakturfixationssysteme mit direktem Angriff am Knochen.

5.2.2 Direkte Zugmethoden am Knochen

JOSEPH FRANCOIS MALGAIGNE (1806-1865), Chirurg in Paris, entwickelte 1847 einen Fixationsgurt für Tibiafrakturen, der aus einem in den Knochen einge-

führten Stachel und aus einem Gurt bestand. Mit diesem sogenannten „Gurtstachel“ sollten dislozierte Fragmente bei Frakturen reponiert werden.⁵⁵



Abbildung 4: J. F. MALGAIGNE

Ein echter Vorläufer des heute verwendeten externen Fixateurs ist der im Jahre 1847 von MALGAIGNE beschriebene und vier Jahre später gebaute sogenannte „Greifer“. Er diente zur perkutanen Behandlung einer transversalen Patellafraktur. Die Form dieses Fixateurs glich der einer Klaue.⁵⁶

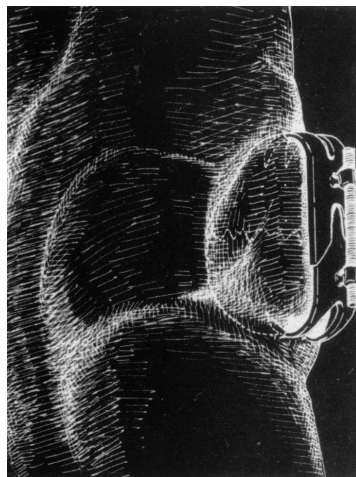


Abbildung 5: Knochenklammer von J. F. MALGAIGNE

MALGAIGNE zeigte mit seinem „Gurtstachel“ und seiner Knochenklammer, dass

⁵⁵Vidal 1983, 7-14

⁵⁶Green 1989, 59-63 und Sisk 1983, 15-22

mechanische Kräfte wie Druck- und Zugkraft direkt am Skelett angreifen können.⁵⁷ Es handelte sich um die ersten externen Fixateure zur Behandlung von Knochenbrüchen mittels direkt am Knochen angreifendem Zugverfahren.⁵⁸

1870 behandelte LAURENT JEAN BAPTISTE BÉRANGER-FERAUD (1832-1900), der Chefchirurg der französischen Marine war, eine Fraktur, indem er zur Stabilisierung von zwei in den Knochen gebohrten Holzschrauben eine Holzstange hinzufügte. Er beschrieb in seinem in Paris veröffentlichten Buch „*Traité de l'immobilisation directe des fragments osseux dans les fractures*“ einen externen Fixateur für Mandibulafrakturen.⁵⁹

CLAYTON PARKHILL (1860-1902) aus Denver, Colorado, konstruierte 1897 eine Knochenklammer mit vier Schrauben (jeweils zwei für ein Knochensegment). Die Schrauben waren mit einer Reihe von Platten verbunden. Er beschrieb neun unter Einsatz der Knochenklammer behandelte Fälle der Frakturstabilisierung. In einem Fall kam es nicht zur Frakturheilung.⁶⁰



Abbildung 6: Fixateuranlegung durch A. LAMBOTTE

1902 wurde von ALBIN LAMBOTTE (1866-1956) in Antwerpen eine ähnliche

⁵⁷Peltier 1990, 174

⁵⁸Klapp, Block 1930, 15-17

⁵⁹Schilch 2000, 58

⁶⁰Paterson 1990, 27-33 und Peltier 1990, 185

Knochenklammer zur Fixation von Frakturen vorgeführt, welche aus einem äußeren Rahmen bestand, der Halbpins durch Gewinde miteinander verband. Die Pins durchstießen nur die Kortikalis. Durch die Gewinde konnten die Knochenfragmente in einer Ebene in ihrer Stellung zueinander verändert werden.⁶¹

Mitte des 19. Jahrhunderts begann somit in Frankreich, Belgien und in den USA gleichzeitig der Weg in die Ära des direkten Zuges am Knochen, zunächst jedoch lediglich im Bereich der Frakturstabilisierung.

Das Ziel dieser Entwicklung war, die empfindlichen Weichteile wie Nerven, Muskeln, Haut und Gefäße weitestgehend zu schonen.

⁶¹Lambotte 1907 und Baumgartner 2000, 21-29

6 Fixationsmittel zur Extremitätenverlängerung

Aufgrund der Erfahrungen mit der Extension bei der Frakturbehandlung entwickelte sich Ende des neunzehnten Jahrhunderts die Idee, dass man auf die gleiche Weise auch Extremitätenverlängerungen erzielen könnte.

Nachdem der Versuch misslang, eine kontrollierte Extremitätenverlängerung durch Fremdmaterialimplantation zu erreichen, wandte sich BERNHARD RUDOLF CONRAD VON LANGENBECK (1810-1871) im Jahre 1869 der Idee zu, dass eine Extremitätenverlängerung durch Zug am Knochen erreicht werden könne. Von erstaunlicher Voraussicht zeugt die folgende Aussage VON LANGENBECKS:

„Von weit größerer Bedeutung wird, glaube ich, für die chirurgische Praxis die Tatsache sein, dass das Längenwachstum der Knochen durch Dehnung gesteigert werden kann. Geringe Einwirkungen von Druck und Zug reichen aus, um erhebliche Veränderungen der Form an den Knochen des Menschen hervorzubringen.“

VON LANGENBECK zog folgenden Schluss:

„Es ist aber meiner Überzeugung nach eine hochwichtige Aufgabe der Orthopädie, bei Anwendung der Streckapparate die Zugkraft so zu regulieren, dass die Knochen selbst eine Dehnung erleiden können. Dazu wird es notwendig sein, die Gelenke möglichst auszuschließen und die beiden Zugkräfte der Ex- und Contraextension auf die beiden Epiphysen des verkürzten Knochen allein wirken zu lassen. Am zweckmäßigsten wird dazu die Extension durch Gewichte sein, weil dadurch allein eine ununterbrochene Zugwirkung entwickelt werden kann.“⁶²

VON LANGENBECK zeigte mit diesen Ideen über die Wirkung von Zugkräften und Dehnung auf das Längenwachstum von Knochen Möglichkeiten auf, die er allerdings nicht selbst in die Tat umsetzte. Sie wurden erst Jahre später von führenden Orthopäden und Chirurgen direkt, oder leicht modifiziert, umgesetzt.

⁶²von Langenbeck 1869, 265-270

Als Erster führte 1905 der damalige Chefarzt des Bologneser Rizzoli-Institutes, ALESSANDRO CODIVILLA (1861-1912), mehrere Versuche einer Femurverlängerung durch. Allerdings wandte er zunächst eine indirekte Zugmethode an, indem er intraoperativ, nach erfolgter schräger Osteotomie, durch einmaligen Zug an einem quer durchtrennten Gipsverband, Verlängerungen um bis zu drei Zentimeter durchführte, die er mit Hilfe großer Zugkräfte (25-70 Kilogramm) in Form von Gewichten erreichte. Danach wurde bis zur Konsolidierung die Distanz zwischen den Fragmenten in einem Gipsapparat gehalten. Dabei stellte sich bald heraus, dass diese Methode für die Extremitätenverlängerung ungeeignet war. Aufgrund des starken Zugs auf die Weichteile durch den indirekten Zug, verursachte sie zu große Schäden, vor allem Nekrosen der Weichteile. Durch zu massives Auseinanderziehen konnte ein zentraler Schock hervorgerufen werden.⁶³ CODIVILLA verzichtete daher sehr schnell auf die indirekte Zugmethode am Knochen bei der Extremitätenverlängerung und wandte sich einer Methode mit direktem Zug zu. Mit dem misslungenen Versuch CODIVILLAS, durch indirekten Zug eine Extremitätenverlängerung zu erreichen, war die Ära des indirekten Zuges zur Extremitätenverlängerung auch schon beendet. CODIVILLA und andere Chirurgen wandten von nun an nur noch direkte Zugmethoden am Knochen, die ja in der Frakturbehandlung seit der Erfindung des externen Fixateurs zur Behandlung von Patellafrakturen durch MALGAIGNE bereits verbreitet waren, zur Verlängerung an.

Erst die Weiterentwicklung externer Fixateursysteme machte es möglich, die biomechanischen Voraussetzungen für eine sichere Knochendistraktion zu schaffen.

Im Folgenden wird die Entwicklung der externen Distraktionsverfahren (inklusive derer mit interner Stabilisierung) zur Beinverlängerung bis zu den heute angewandten Systemen beleuchtet. Danach wird die Entwicklung interner Verfahren, die zunehmend an Bedeutung gewinnen, dargestellt.

⁶³Codivilla 1905, 353 und Peltier 1994, 4-9

6.1 Externe Verfahren

6.1.1 Fersen-Nagelzug-Gipsverband nach Codivilla

CODIVILLA erkannte, dass ein direkter Angriff des Zuges auf den Knochen notwendig war, um schwerste Weichteilläsionen zu vermeiden.⁶⁴

Er modifizierte deshalb seine Technik dahingehend, dass er einen fünf bis sechs Millimeter dicken Nagel durch den Kalkaneus bohrte und in den unteren Teil des Gipsverbandes einbettete. Auf diesen Nagel wurde der Zug über Gewichte ausgeübt, während der Gegenzug weiterhin vom oberen Gipsverband stammte.⁶⁵

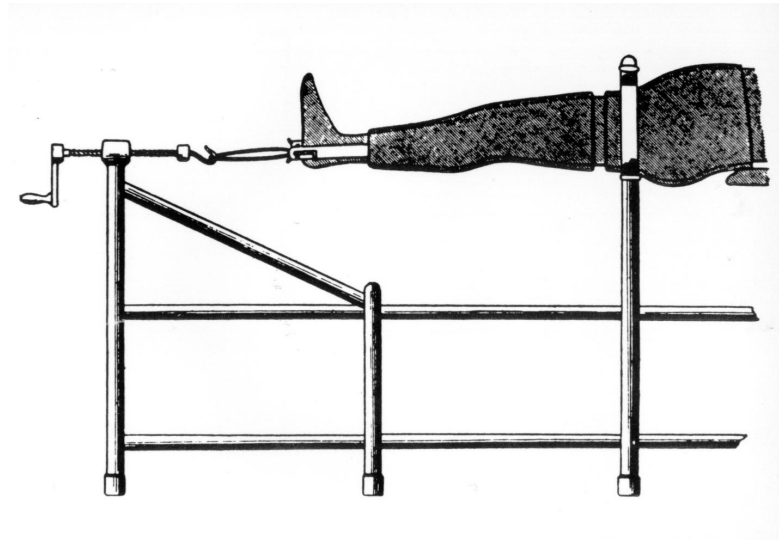


Abbildung 7: Nagelextension (Zeichnung von CODIVILLA, 1905)

Die Kraft zur Distraction wurde somit unter Ausschluss der Haut direkt auf das Skelett, allerdings nicht auf das betroffene Knochensegment, übertragen.

CODIVILLA berichtete von 26 Fällen mit Verlängerungen von drei bis acht Zentimetern und behauptete, dass nach dem Zug am Nagel keinerlei Probleme mehr aufgetreten seien.⁶⁶

⁶⁴Codivilla 1905, 353; Green 1989, 59-63; Sisk 1983, 15-22

⁶⁵Allan 1948, 491-505 und Carroll 1950, 132-142

⁶⁶Codivilla 1910, 404-418 und Moseley 1990, 4-7

Etwa zur gleichen Zeit, in der CODIVILLA in Italien seine Nagelextension vorstellte, entwickelte der Berner Arzt FRITZ STEINMANN (1872-1932) einen Nagel und bohrte ihn, im Gegensatz zu CODIVILLA, nicht durch den Kalkaneus, sondern durch das untere Ende des distalen Tibiafragmentes. Der Fortschritt lag darin, dass nun ein direkter Zug am betroffenen Knochensegment erfolgte. Der Zug wurde mit Hilfe von Gewichten gesichert.

CODIVILLA und STEINMANN beanspruchten jeder für sich die Urheberschaft dieses Verfahrens. CODIVILLA verwendete sein Verfahren jedoch hauptsächlich für die Behandlung von Beindeformitäten, speziell von Längendifferenzen, während STEINMANN die Methode des direkten Zuges am Skelett primär für die Behandlung frischer Frakturen nutzte.⁶⁷

6.1.2 Methode nach Kirschner

Die Ära des direkten Zuges am Knochen und der direkten Knochenfixation im Rahmen der Extremitätenverlängerung wurde durch das KIRSCHNER'sche Verfahren entscheidend beeinflusst. KIRSCHNER fügte einen zweiten direkten Angriffspunkt am zu verlängernden Knochen hinzu.

1909 berichtete MARTIN KIRSCHNER (1879-1942), der an der chirurgischen Klinik in Greifswald arbeitete, über seine Erfahrungen mit einer Modifikation der Nagelextension STEINMANNs bei Frakturen mit starker Dislokation. Es war KIRSCHNER gelungen, den um 8,5 Zentimeter verkürzten Femur eines Mannes in wenigen Tagen um 11 Zentimeter zu verlängern. Er gab an, dabei Gefäße, Nerven und Muskeln nicht geschädigt zu haben.

Anlass zu einer Modifikation des STEINMANN'schen Systems gab KIRSCHNERs Beobachtung, dass es stets zur „seitlichen Dislokation“ und „Gegenextension“ kam. Er fügte daher zu dem Stahlstift im distalen Ende des frakturierten Knochens noch einen im proximalen Ende hinzu, so dass an beiden Fragmenten

⁶⁷Peltier 1994, 4-9

Knochenangriffspunkte entstanden. Zusätzlich verband KIRSCHNER die beiden Nägel

„durch ein das gebrochene Glied umgebendes leichtes Eisenkonstruktionsgerät, das durch abstufbare Feder-, Gewichts- oder Schraubenwirkung die grobe Adaptation der Fragmente in beliebiger Zeit bewirkt, das eine absolut sichere Fixation der so erreichten Stellung gewährleistet und eine nachträgliche Korrektur in allen Ebenen gestattet.“⁶⁸

KIRSCHNER betonte die Schmerzlosigkeit seines Verfahrens, die Schonung der Gelenke, die Möglichkeit der allmählichen Verlängerung mit Unterbrechung durch ruhigere Etappen und die gute Zugänglichkeit des geschienten Gliedes. Trotzdem sollte, so KIRSCHNER, seine Extensionsmethode nur im Falle eines Versagens konservativer Verfahren angewandt werden.⁶⁹

6.1.3 Modifikation der Kirschner'schen Methode nach von Frisch

Am 14. Juni 1918 fand eine Sitzung der königlich-kaiserlichen Gesellschaft der Ärzte in Wien statt. OTTO VON FRISCH (*1877) berichtete über seine Anwendung der Methode nach KIRSCHNER bei mit starker Verkürzung geheilten Frakturen.

Der Knochen wurde durch Extension, mit der wenige Tage nach der Osteotomie begonnen wurde, aus dem Periostschlauch herausgezogen. Zwischen den Fragmenten bildete sich Kallus. Mit dieser Methode erzielte VON FRISCH Verlängerungen von 2,5 bis drei Zentimetern. Er war der Ansicht, dass die KIRSCHNER'sche Methode nur bei Frakturen ohne Winkelstellungen anzuwenden sei. Bei mit Winkelstellung ausgeheilten Frakturen empfahl VON FRISCH schräge Osteotomien, die seiner Meinung nach in vielen Fällen schon einen großen Teil an Längendifferenz der Extremitäten ausglich. Insgesamt hatte er 40 Fälle operiert und empfahl zur Vermeidung von Pseudarthrosen und verzögerter Kallusbildung, stets durch den gesunden Knochen zu osteotomieren. Auch

⁶⁸Kirschner 1909, 563

⁶⁹Kirschner 1909, 563-564

schlug er statt der von KIRSCHNER verwendeten LORENZ'schen Extensionschraube und nachfolgender Eingipsung die 1888 von BERNHARD BARDENHEUER (1839-1913)⁷⁰ eingeführte permanente Extension vor, da er mit dieser weit bessere Ergebnisse erzielen konnte.⁷¹

6.1.4 Methode nach Ombredanne

Der Liller Arzt OSCAR LAMBRET (1872-1943) verwendete einen unilateralen externen Fixateur mit zwei Pins zur Frakturbehandlung (je ein Pin pro Fragment). Er setzte seinen Fixateur allerdings nicht zur Extremitätenverlängerung ein.⁷²

1913 berichtete der Pariser Arzt LOUIS MARIE ARSÈNE OMBREDANNE (1871-1956), dass er einen Fixateur externe zur Femurverlängerung verwendet hatte. Dieser ähnelte dem Fixateur LAMBRETS.

OMBREDANNE führte eine acht Zentimeter lange schräge Osteotomie (schräge Durchtrennung des gesamten Knochens mitsamt Markraum) durch. In acht Tagen beabsichtigte er den Knochen um vier Zentimeter zu verlängern (0,5 Zentimeter pro Tag), musste jedoch am sechsten Tag bereits nach einer Verlängerung von erst drei Zentimetern aufhören, da die Haut des Patienten vaskulär beeinträchtigt war. Eine Wundinfektion war zu einer Zeit, in der es noch keine Antibiotika gab, eine schwere Komplikation. Letztendlich betrug die erreichte Verlängerung auf Grund der Rekompensation 1,5 Zentimeter.⁷³

6.1.5 Methode nach Magnuson

1913 publizierte der Amerikaner PAUL BUDD MAGNUSON (1884-1968), der in Chicago tätig war, seine Ergebnisse von Experimenten an Hunden, aus denen er folgerte, dass circa fünf bis 7,5 Zentimeter bei der Verlängerung eines menschlichen Femurs möglich seien. Er berichtete über seine klinische Erfahrung mit ei-

⁷⁰Bardenheuer 1903, 107-158

⁷¹von Frisch 1918, 501-502 und 739

⁷²Lambret 1911, 545-551 und Bosworth 1938, 912

⁷³Ombredanne 1913, 1177

ner Technik, bei der er nach longitudinaler Trennung des Periostes eine lange Z-Osteotomie der Tibia durchführte und im Sinne einer one-stage Distraction die Fragmente durch Zug und Gegenzug mit Gewichten von circa 30 Kilogramm einmalig intraoperativ trennte. Bei Erreichen der gewünschten Länge wurde der Spalt zwischen den Knochenenden mit Knochenspänen überbrückt, die verwendeten Gewichte wieder entfernt und das Bein eingegipst. MAGNUSON fixierte die Knochenfragmente mit absorbierbaren Elfenbeinschrauben, welche entfernbare Messingköpfe hatten. Er veröffentlichte 14 Fälle, bei denen die Extremitätenverlängerung durchschnittlich 20 bis 30 Minuten dauerte. Die meisten seiner Patienten erlitten durch das Operationstrauma einen schweren Schock. Einer seiner Patienten verstarb.⁷⁴

6.1.6 Methode nach Putti

VITTORIO PUTTI (1880-1940) war Schüler von ALESSANDRO CODIVILLA und während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts führender orthopädischer Chirurg in Italien. Er war Professor an der Universität von Bologna und Chefchirurg des Rizzoli-Institutes für Orthopädie. Sein Einfluss ging weit über die Grenzen Europas hinaus.

PUTTI lieferte einen Beitrag zur Entwicklung der Beinverlängerung, als er 1921 über Zug und Gegenzug berichtete, die er direkt auf den Knochen ausgeübt hatte. Ab einer Beinlängendifferenz von mehr als fünf Zentimetern sah PUTTI eine operative Verlängerung als notwendig an. 1910 hatte er erstmals einen Femur verlängert, obwohl dies zu dieser Zeit als zu komplikationsreich galt und hauptsächlich Tibiae verlängert wurden.

PUTTI widersprach damit der Auffassung FRANCESCO RIZZOLIS (1809-1880), dem ehemaligen Chefarzt des Bologneser Institutes für Chirurgie, der es ablehnte, Beine zu verlängern, und es für besser erachtete, das normal lange Bein zu verkürzen.

PUTTI entwickelte das sogenannte „Osteoton“, einen Distractionsapparat mit

⁷⁴Magnuson 1913, 63-71

Teleskopmechanismus zur langsamen, graduellen und kontinuierlichen Distraction. Zug und Gegenzug am Knochen wurden direkt übertragen. Das Osteoton bestand aus zwei langen Metallnägeln, die durch das proximale und distale Fragment (subtrochantere Region und Condylus femoris), und zwar durch den gesamten Knochen, also beide Kortikales, gebohrt wurden. Als Längsträger diente erstmals ein teleskopartiges, eine Feder enthaltendes Rohr, welches durch eine verstellbare Schraube nach und nach manuell auseinandergedrückt werden konnte. Die Osteotomie, die an beliebiger Stelle nach Befestigung des Osteotons durchgeführt wurde, legte PUTTI, im Gegensatz zu transversalen oder queren Osteotomien seiner europäischen Zeitgenossen, z-förmig mit einer Motorsäge an. Auch, und auch dies war neben der Möglichkeit zur kontinuierlichen Distraction ein großer Fortschritt,

*„kann das Osteoton als Dynamometer und zur Messung der erhaltenen Länge verwendet werden. Zwei am Gerät eingravierte Skalen mit Millimetereinteilung geben dem Operateur jederzeit die Möglichkeit, abzulesen, wie stark die Zugkraft ist und wie viel Verlängerung bereits erzielt worden ist.“*⁷⁵

LEROY C. ABBOTT beschäftigte sich mit PUTTIS Osteoton und beschrieb es eingehend. Mit einer Schraube konnte die im Teleskoprohr liegende Feder zusammengedrückt werden. Die durch die Schraube dosierbare Kraft der gespannten Feder übertrug sich über die Teleskoprohre auf die im Knochen liegenden Nägel, so dass die Fragmente langsam und kontinuierlich auseinander wichen.⁷⁶ Die Strecke, um die die Feder zusammengedrückt wurde, konnte an einer Skala am Osteoton abgelesen werden. Diese Strecke ist proportional zur Kraft, die auf die Fragmente wirkt. Somit bot PUTTIS Osteoton dem Operateur die Möglichkeit neben der erzielten Verlängerung auch die auf die Fragmente wirkende Kraft abzulesen.

⁷⁵Putti 1921, 934-935

⁷⁶Abbott 1927, 128-152

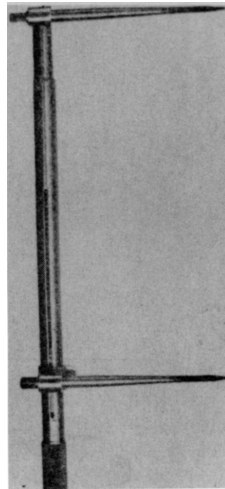


Abbildung 8: Osteoton von PUTTI

Die Verlängerungsperioden betragen 18 bis 21 Tage, durchschnittlich wurde täglich um zwei bis drei Millimeter distrahiert. Danach wurde das Osteoton durch einen Gipsverband ersetzt, den PUTTI beließ, bis ein vollständiger Kallus ausgebildet war.

Er wandte seine Technik bei Kindern und bei Erwachsenen an. Insgesamt behandelte er zehn Fälle von Femurverkürzung. Er erzielte dabei Verlängerungen von 7,6 bis 10,2 Zentimetern. PUTTI stellte keine trophischen Störungen fest, allerdings hatten alle zehn Patienten eine verzögerte Frakturheilung und Achsenabweichungen der Fragmente.

Er erkannte, dass die Beeinträchtigung des Weichteilgewebes zu den Hauptproblemen der Beinverlängerung gehörte. Dabei unterschied er zwischen Fällen, in denen Muskulatur auf ihre ursprüngliche Länge gebracht wurde, und solchen, in denen Muskeln tatsächlich verlängert wurden. Erwähnenswert ist PUTTIS Einsicht, dass

„um den elastischen Widerstand der Weichteile allmählich und ohne große Kraft zu überwinden, was gefährlich sein könnte, die angreifende Kraft elastisch und kontinuierlich sein sollte, so dass sie sich entgegen dem Widerstand entfaltet auf den sie trifft.“⁷⁷

⁷⁷Putti 1921, 934

Gerät und Technik PUTTIS waren für die damalige Zeit sehr fortschrittlich. Trotz seiner wichtigen Erkenntnisse über die graduelle, kontinuierliche Distraction fand das Verfahren nicht die verdiente Ausbreitung. Das lag hauptsächlich an dem, mit diesem wenig rigiden Gerät nicht zu kontrollierenden Achsenabweichungen. Erst mit späteren Modifikationen, die PUTTIS Osteoton zum Rahmenfixateur komplettierten, wurde die Methode beherrschbar.

PUTTI selbst verließ seine Technik und distrahierte später unter Verwendung von Klavierdrähten und einer stationären Extensionsvorrichtung im Bett unter anschließender Ruhigstellung nach Applikation eines Gipsverbandes. Er war der erste Chirurg, der Klavierdrähte zur Verlängerung verwendete.⁷⁸

6.1.7 Prinzipien der Kallusentstehung und Methode nach Bier

AUGUST BIER (1861-1949) arbeitete zunächst in Greifswald und ab 1907 in Berlin, wo er Leiter der chirurgischen Klinik war. Seine Forschungsergebnisse von 1905 über die biologischen Prinzipien der Knochenneubildung waren Grundlage für seine 1923 veröffentlichten Erfahrungen mit der Oberschenkelverlängerung.

1905 erschien in der Zeitschrift „*Medizinische Klinik*“ ein Aufsatz über die Bedeutung des Blutergusses für die Knochen- und Bindegewebsneubildung nach Knochenbruch.⁷⁹ In diesem Aufsatz wurde erstmalig detailliert die Bedeutung des Kallus, also der neugebildeten Knochenmatrix, beschrieben. Diese Erkenntnisse sind bis heute für die Kallusdistraction von größter Bedeutung.⁸⁰

BIER verlangte natürliche Verhältnisse für die Heilung eines Knochenbruches. Eine Blutung dürfe nicht gestillt und Ergüsse nicht ausgeräumt werden. Er schrieb:

⁷⁸Putti 1934, 318-321

⁷⁹Bier 1905, 6-7

⁸⁰Brug 1991, 47-52

*„Ebenso gut kann der Bluterguss nützlich für die Heilung der Knochenbrüche sein, denn sie erfolgt ja immer unter dem Einflusse außerordentlich großer, zwischen und um den Bruch ergossener Blutmengen. Diese stellen also die natürlichen Verhältnisse für die Heilung eines Knochenbruches dar.“*⁸¹

An anderer Stelle stellte er fest:

*„Der Grund für die verzögerte Kallusbildung in diesen Fällen ist mir jetzt klar: Wir räumten die Blutergüsse aus und stillten sorgfältig die Blutung. Also lehrt überall die Beobachtung: Wo ein großer Bluterguss vorhanden ist, entsteht erhebliche Knochen- und Bindegewebsneubildung.“*⁸²

Eine weitere Schrift BIERs zu diesem Thema erschien im Jahre 1923 in „*Langenbecks Archiv für klinische Chirurgie*“. BIER beschrieb eine eigene Methode zur Beinverlängerung, welche die von ihm erforschte Notwendigkeit eines ausgedehnten Blutergusses zur Kallusbildung berücksichtigte. Er berichtete von sieben Oberschenkelverlängerungen von drei bis sieben Zentimetern. Nach der vollständigen Osteotomie mit einem Meißel immobilisierte er – und das war neu – für drei bis fünf Tage ohne Distraction, bis sich ausreichend bindegewebiges Regenerat gebildet hatte. Danach erst begann er, mehr oder weniger kontinuierlich, mit Hilfe der KLAPP'schen Drahtextension unter Zuhilfenahme von Gewichten bis zu 30 Kilogramm, zu distrahieren. Die Patienten hatten starke Schmerzen und vorübergehende Lähmungen des Nervus ischiadicus, so dass die Behandlung abgebrochen werden musste, und damit die geplanten Verlängerungsziele nicht erreicht wurden. Zu dieser Zeit verfügte BIER noch nicht über ein Gerät, welches ihm die genau kontrollierbare, kontinuierliche Distraction ermöglichte.⁸³ Das in Bologna bereits existierende Osteoton PUTTIs kannte BIER nicht.

⁸¹Bier 1905, 6-7

⁸²Bier 1905, 7

⁸³Bier 1923, 1-136

6.1.8 Distraktionsapparate von Klapp, Block und Hempel

Wie bereits festgestellt, fehlte es in Deutschland bis zu RUDOLF KLAPPS und WERNER BLOCKS Entwicklung im Jahr 1929 an einem Distraktionsgerät zur kontinuierlichen Distraction, mit dessen Hilfe man die richtungsweisenden biologischen Erkenntnisse BIERS über die Knochenneubildung hätte in der Praxis anwenden können.

RUDOLF KLAPP (1873-1948), der ein Schüler BIERS und späterer Direktor der Chirurgischen Uniklinik Marburg war, arbeitete während des zweiten Balkankrieges (1912/1913) in einem Militärlazarett in Belgrad. Dort behandelte er mit Verkürzung ausgeheilte Knochenbrüche durch Osteotomie und nachfolgende Distraction mit Drahtzügen und Gewichten, da ihm nichts anderes als Draht zur Verfügung stand (KLAPP'sche Drahtextension). Auf die positiven Erfahrungen mit den Drähten aufbauend entwickelte er 1929, gemeinsam mit WERNER BLOCK (1893-1976), der ebenfalls ein Schüler BIERS war, einen Distraktionsapparat. Dieser wurde zur Reposition und Achskorrektur von Frakturen und zur Extremitätenverlängerung eingesetzt. Der Distraktionsapparat, so beschrieb KLAPP 1930,

*„ruht auf einem Aufliegebrett; in seiner Mitte befindet sich eine mechanische Vorrichtung von der aus sich zwei Metallschenkel im Sinne einer Distraction bewegen lassen. Sie besitzen seitlich angebrachte Zahnradflächen, die ein schrittweises Vorwärtsbewegen gestatten.“*⁸⁴

Die beiden Drahtspannbügel konnten mit Hilfe eines Schlüssels, der an der Schraube des Mittelteiles angesetzt wurde, gleichmäßig voneinander entfernt werden. Auch eine Pro- oder Supination konnte mit den beiden Drahtdistraktionsbügeln durchgeführt werden. Die Bügel waren in Gleitschienen eingelassen, so dass Außen- wie auch Innenrotation möglich waren. Erstmals bestand damit

⁸⁴Klapp, Block 1930, 53-55

bei einem Distraktionsgerät auch die Möglichkeit der Bewegung in verschiedenen Ebenen.

KLAPP war der Meinung, dass Verkürzungen bereits ab vier Zentimetern eine Operation verlangten.⁸⁵

Wie PUTTI in Italien verwendete auch KLAPP Kirschner-Drähte bei der Extremitätenverlängerung. Die Vorteile dieser Drähte erläuterte er in seinem Buch „Die Knochenbruchbehandlung mit Drahtzügen“ anhand von Röntgenbildern. Ein 3,5 Millimeter dicker Steinmann-Nagel erfahre, so KLAPP, bei einer Belastung von zehn Kilogramm Gewicht eine erhebliche Formabweichung. Dagegen erfahre ein, im KIRSCHNER'schen Bügel angespannter, ein Millimeter dicker, verchromter Klavierseitendraht nur minimale Änderungen in seiner Achse an den Drahthaltepunkten. Dadurch würde die Gefahr der Druckschädigung benachbarter Weichteile und der Hautbohrlöcher gemindert.⁸⁶

KLAPPS Marburger Mitarbeiter KURT HEMPEL stellte ebenfalls 1929 einen Distraktionsapparat vor. Dieser bestand aus je zwei, zu einem Kreis geschlossenen, Bügelhälften. Die Bügelhälften waren über Kugelgelenke mit vier Gewindestangen verbunden. Auch HEMPEL verwendete Kirschner-Drähte. Mit diesem Distraktionsapparat war auch ein Ausgleich von Rotationsfehlern möglich. Das System wurde nur zur Unterschenkelverlängerung eingesetzt.⁸⁷

6.1.9 Methode nach Abbott

Die Extremitätenverlängerung gewann in den späten zwanziger Jahren in den USA zunehmend an Bedeutung. Zu dieser Zeit wurde in St. Louis die Methode der Extremitätenverlängerung nach LEROY CHARLES ABBOTT bevorzugt, der, nachdem er 1921 einen Vortrag PUTTIS gehört hatte, dessen Osteoton abwandelte und den Schwachpunkt, die unilaterale Fixation, beseitigte. Er konstruierte

⁸⁵Klapp, Block 1930, 54

⁸⁶Klapp, Block 1930, 67-68

⁸⁷Klapp, Block 1930, 55-57 und Zichner 2000, 31-36

einen Rahmenfixateur für die Tibiaverlängerung.

Jeweils ein Steinmann-Nagel befand sich proximal und distal der Osteotomie-stelle. An beiden Seiten waren die Nägel mit teleskopierenden Rohren beziehungsweise Gewindespindeln (analog zweier Osteotome) verbunden, wodurch eine stabile Rahmenkonstruktion entstand. Nach der Osteotomie (die Tibia osteotomierte er unter kompletter Periostabtrennung um den Knochen herum) und der Verlängerung der Achillessehne distrahierte er intraoperativ um ein bis zwei Zentimeter. Postoperativ wartete ABBOTT sieben bis zehn Tage, bis er mit der graduellen Distraction um 1,5 bis drei Millimeter täglich begann.

Er präsentierte 1927 eine Serie von sechs Fällen, die er nach seiner Methode behandelt hatte. Die größte erreichte Verlängerungsstrecke betrug 4,7 Zentimeter. Als Komplikationen traten Achsenabweichungen durch Verkippen der Knochenenden, Osteomyelitis und Drucknekrosen der Haut auf.⁸⁸ Verschiedene amerikanische Chirurgen berichteten über Achsenabweichungen bei der Anwendung des Abbott-Distraktors. Aufgrund der Komplikationen modifizierte ABBOTT seine Methode. Allerdings verwendete er weiterhin Steinmann-Nägel. Er platzierte statt einem Nagel pro Segment zwei Nägel über, und zwei unter der Osteotomiestelle.⁸⁹ Auch dies konnte die Biegungstendenz jedoch nicht verhindern.

In der Folgezeit wurde in den USA versucht, die Nachteile des ABBOTT'schen Apparates zu verbessern.

6.1.10 Modifikationen des Abbott-Distraktors

Um den Achsenabweichungen entgegenzutreten modifizierte Ende der zwanziger Jahre, WILLIAM CARRELL (1883-1944), der in Dallas tätig war, den Abbott-Distraktor. Er platzierte einen dritten Steinmann-Nagel in eine andere Ebene, vor das tibiale Fragment.⁹⁰ Auch damit blieben allerdings Achsenabweichun-

⁸⁸Abbott 1927, 128-152

⁸⁹Mc Carroll 1950, 132-142

⁹⁰Carrell 1929, 216

gen, Drucknekrosen und Osteomyelitiden häufige Konsequenz, und das Ergebnis war insgesamt unbefriedigend.⁹¹

Im Jahre 1932 verwendeten FRANK DAKE DICKSON (1882-1964) und sein Mitarbeiter R.L. DIVELEY in Kansas City, sowie die New Yorker Chirurgen EDWARD J. HABOUSH (1904-1973) und HARRY FINKELSTEIN erstmals in den USA die bei der Anwendung wesentlich komplikationsärmeren Kirschner-Drähte anstelle der bisher von ABBOTT und CARRELL eingesetzten Steinmann-Nägel.

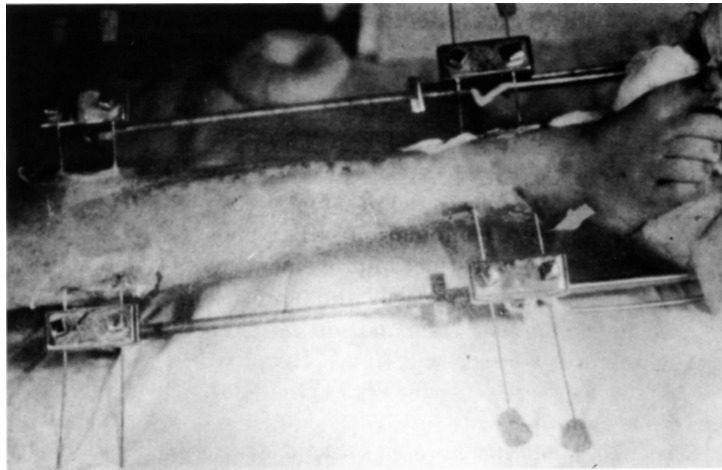


Abbildung 9: Fixateur von DICKSON und DIVELEY

DICKSON und DIVELEY konstruierten einen Distraktionsapparat zur langsamen Distraction, dessen proximales Ende von einem hufeisenförmigen Rahmen gebildet wurde, der die beiden stationären Kirschner-Drähte trug. An zwei seitlichen Längsträgern war der zweite hufeisenförmige Rahmen befestigt, welcher das zweite Paar Kirschner-Drähte hielt.

DICKSON und DIVELEY verlängerten Unterschenkel, indem der distale Rahmen durch Betätigung einer Schraube (mit der die Federkraft eingestellt wurde) vom proximalen entfernt wurde. Ein variables Fußstück hielt den Fuß in gewünschter Position. Die Knochendurchtrennung bestand in einer Z-Osteotomie der Ti-

⁹¹Mc Carroll 1950, 132-142; Barr 1932, 674-678

bia und Fibula. Falls nötig, wurde die Achillessehne durchtrennt. Dann wurden die Kirschner-Drähte, zwei in das obere Fragment der Tibia, zwei in das untere Fragment, eingebohrt. Schließlich wurden die Drähte im hufeisenförmigen Rahmen fixiert.⁹²

Als erste amerikanische Wissenschaftler beschrieben HABOUSH und FINKELSTEIN, die ebenfalls statt Steinmann-Nägeln Kirschner-Drähte verwendeten, 1932 eine Periostdurchtrennung auf einer anderen Höhe als die Osteotomie, da der Erhalt des unversehrten Periostes im Bereich der Distraction von großer Bedeutung für die Entstehung einer stabilen Knochenmatrix sei.

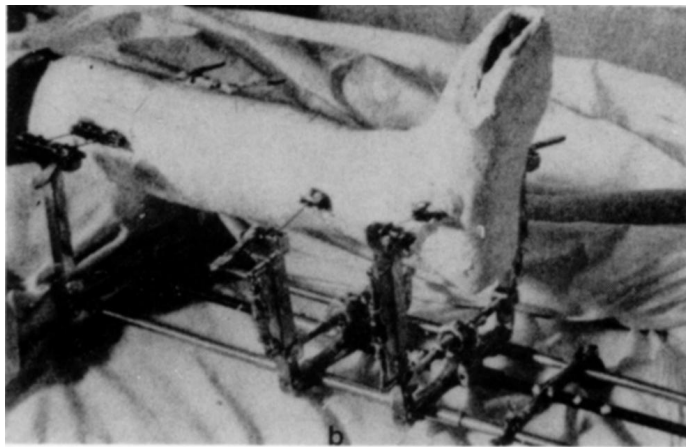


Abbildung 10: Fixateur von HABOUSH und FINKELSTEIN

Sie gaben ein kurzes Resümee über die damals vorherrschenden Schwierigkeiten und Komplikationen der Extremitätenverlängerung:

- Achsenabweichung
- ungleiche Trennung von Fibula- und Tibiafragment
- fehlende Anerkennung der Bedeutung von Weichteilen, insbesondere des Periostes
- Pes equinus
- verzögerte Kallusbildung⁹³

⁹²Dickson und Diveley 1932, 194-196

⁹³Haboush, Finkelstein 1932, 807-821

ALVIA BROCKWAY und SAMUEL BENJAMIN FOWLER änderten ab Mitte der dreißiger Jahre in Los Angeles ABBOTTs Distraktionsmethode ab. Um die Achsenabweichung zu vermeiden, platzierten sie den zweiten Nagel des proximalen Endes etwas weiter vorne als die anderen drei Nägel. Auch diese Lösung konnte jedoch die Biegungstendenz und damit die Achsenabweichung nicht verhindern.⁹⁴

6.1.11 Ringfixateur nach Wittmoser

Erwähnenswert, vor allem, da er als Vorläufer des später beschriebenen, allgemein anerkannten, Ilizarov-Fixateurs angesehen werden kann, ist der 1944 von RUDOLF WITTMOSER in Innsbruck entwickelte Distraktionsapparat. Es handelt sich um den ersten Ringfixateur, der zunächst hauptsächlich in der Knochenbruchbehandlung des Unterschenkels, später auch zur Distraction, eingesetzt wurde.

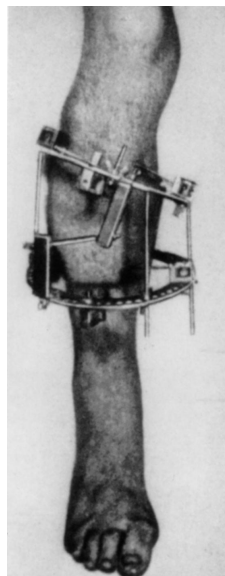


Abbildung 11: Ringförmiger Fixateur von WITTMOSER

Knochenbrüche sollten unter fortwährender Kompression bis zur Heilung fi-

⁹⁴Brockway, Fowler 1942, 252

xiert werden. Jedes Bruchende wurde mittels zweier kreuzender Kirschner-Drähte in einem Spannring festgehalten. Die Drähte wurden durch den Knochen, möglichst weit vom Bruchende entfernt, gebohrt und dann gespannt. Die beiden Ringe wurden durch Schraubenspindeln sowohl in Längsrichtung, als auch in gewünschter Richtung quer dazu, aufeinander zu bewegt. Somit war durch stärkeres Anziehen der inneren Spindel, bei Valgusveränderung des Unterschenkels, oder der äußeren Spindel, bei varusförmigen Achsenabweichungen, der Ausgleich von Achsenveränderungen möglich.⁹⁵

LORENZ BÖHLER (1885-1973), WITTMOSERS Lehrer und ab 1925 Chefarzt der Unfallklinik Wien, lehnte die Ideen seines Schülers damals vehement ab: *„Das sieht sehr schön aus, aber veröffentlichen Sie es nicht! Man wird es sonst anwenden und es würde ein großes Unglück werden.“*⁹⁶

6.1.12 Methode nach Allan

F.G. ALLAN, der in Birmingham, Alabama, tätig war, führte die Schraubendistraktion ein, die, im Gegensatz zur Distraktion mit einer Feder, steuerbarer ist. Er modifizierte 1948 den Distraktor von HABOUSH und FINKELSTEIN, indem er die Kirschner-Drähte in Steigbügeln fixierte, welche an einem Träger festgeklemmt waren. ALLAN fixierte das proximale Drahtpaar, während das distale sich von diesem durch Schraubendrehung wegbewegte. Er führte eine Querosteotomie durch und bemühte sich, wie schon in den dreißiger Jahren HABOUSH und FINKELSTEIN, das Periost und die Weichteile so gut wie möglich zu schonen.

Vor der Distraktion wurde ein bereits angelegter Gipsverband an der Osteotomiestelle durchtrennt. War die gewünschte Verlängerung durch Schraubendistraktion von täglich 1,6 Millimetern erreicht, wurden beide Fragmente mit Schrauben stabilisiert. Für Tibia und Fibula hatte ALLAN jeweils spezielle Distraktoren entwickelt.

⁹⁵Wittmoser 1953, 229-231

⁹⁶Brug 1991, 48

Er beschrieb 1951 seine Erfahrungen mit 54 Unterschenkel- und 47 Oberschenkelverlängerungen. Die Ursachen für die meisten Komplikationen postulierte er in einer massiven Weichteildissektion und damit einer Störung der Blutzufuhr zum Knochen.⁹⁷ Um die Blutversorgung der Muskulatur nicht zu beeinträchtigen, schlug ALLAN vor, Muskelfaszie und Membrana interossea nicht zu durchtrennen.⁹⁸

6.1.13 Methode nach Bertrand

PIERRE BERTRAND, ein Pariser Arzt, beschrieb 1951 einen intramedullären Nagel zur internen Stabilisierung für die Femurdistraktion. Dieser Nagel sollte die Schwierigkeiten der Kontrolle der osteotomierten Fragmente vermindern, da es bei allen bisher beschriebenen Verfahren immer wieder zu Achsenabweichungen kam. Der Nagel war schmal genug für die Distraktion und gleichzeitig stark genug zur Vermeidung einer Verbiegung der Knochenfragmente. Bei weiter Markhöhle wurden zwei Nägel verwendet.

Bertrand wandte eine transversale Osteotomie mit Schonung des Periostes an. Der Zug erfolgte mit einem bilateralen externen Schraubendistraktor.

Bei vier Patienten kam sein Verfahren zum Einsatz. Die Zeit bis zur Konsolidierung betrug durchschnittlich fünf bis sechs Monate. Es kam zu Bewegungseinschränkungen im Kniegelenk. BERTRAND nannte keine weiteren Komplikationen.⁹⁹

Die Kombination aus interner Stabilisation über einen Marknagel und externer Distraktionsmethode nimmt eine Zwischenstellung zwischen externen und internen Verfahren ein. Da bei BERTRANDS Verfahren die Distraktion von extern erfolgt, ist es in dieser Arbeit unter den externen Verfahren aufgelistet.

Eine ähnliche Technik wurde wenige Jahre später von F.C. BOST und L.J. LARSEN angewandt.

⁹⁷Allan 1951, 218-222

⁹⁸Allan 1948, 491-505

⁹⁹Bertrand 1951, 530-533

6.1.14 Methode nach Anderson

1952 stellte W.V. ANDERSON (1891-1971) aus Seattle seine Technik zur Extremitätenverlängerung vor. Er verwendete eine Modifikation des Abbott- und Allan-Distraktors.

ANDERSON verlängerte die Achillessehne zur Verhinderung einer Spitzfußbildung und durchtrennte die Tibia (Quer- oder Z-Osteotomie) mit Hilfe – und dies war eine neue Entwicklung – von Bohrosteoklasie (dabei werden am Knochen in einer Ebene eine Reihe von Bohrungen vorgenommen, die als Sollbruchstellen dienen und es ermöglichen, den Knochen an der gewünschten Stelle zu brechen). Er verwendete einen leicht modifizierten Abbott-Distraktor, also einen Rahmendistraktor, mit zwei Steinmann-Nägeln (zu Beginn der dreißiger Jahre hatten bereits DICKSON und DIVELEY in Kansas City, sowie HABOUSH und FINKELSTEIN in New York, die Vorteile der Verwendung von Kirschner-Drähten zur Fixation beschrieben) oberhalb und zwei Nägeln unterhalb der Osteoklasiestelle, um die Längsachse beizubehalten. Die Distraction erfolgte täglich um knapp 0,3 Zentimeter, indem die Schrauben des Fixateurs gedreht wurden.

ANDERSON berichtete über den Einsatz seiner Methode bei 71 Kindern. Im Durchschnitt erreichte er eine Verlängerung von knapp fünf Zentimetern (2,54 bis 8,9 Zentimeter). Die durchschnittliche Dauer der Verlängerungsbehandlung betrug fünf Monate.

Es traten keine vaskulären Probleme auf, kleinere Bohrlochinfektionen hingegen waren häufig. In einem Fall machte eine ernsthafte Infektion es unmöglich, mit der Distraction fortzufahren. Ein Patient entwickelte einen chronischen Knochenabszess und ein Nagel brach durch. Die ernsthafteste Komplikation, die auftrat, war das Entstehen einer Valgusfehlstellung. Verantwortlich war zum größten Teil die fehlende Parallelbewegung des lateralen Malleolus mit der Tibia in der Distaktionsphase. Daher fixierte ANDERSON den Malleo-

lus lateralis mit Hilfe von Schrauben oder Nägeln an die Tibia.¹⁰⁰

6.1.15 Methode nach Bost und Larsen

Nach wie vor kam es bei der Distraction zur Extremitätenverlängerung immer wieder zu Achsenabweichungen der Fragmente.

1956 berichteten FREDERIC CARROLL BOST und LAUREN JOSEPH LARSEN über ihre Erfahrungen bei der Anwendung des Abbott-Fixateurs in Kombination mit einem Rush-Pin als intramedulläres Implantat bei der Femurverlängerung. Ihre Erfahrungen basierten auf 23 Operationen an 20 Kindern in der Zeit zwischen 1951 und 1955. Sie begannen sofort nach der Osteotomie mit der Distraction. Es wurden Verlängerungen zwischen 2,5 und 10,5 Zentimetern erreicht.

BOST und LARSEN stellten in elf Fällen eine verzögerte Vereinigung der Knochenfragmente fest. Auf der Suche nach der Ursache fanden sie heraus, dass der intramedulläre Nagel zu einer starken Zerstörung der intramedullären Gefäße und damit zu einer unzureichenden Kallusbildung geführt hatte. Daraufhin verzichteten sie auf weitere Versuche.¹⁰¹

6.1.16 Methode nach Smith, Cunningham und Ring

Die Methode der Epiphysenfugendistraction, die SMITH, CUNNINGHAM und RING bei Tieren anwandten, erspart dem Operateur die Osteotomie.

1957 distrahierten E.S. SMITH und J.B. CUNNINGHAM Kälber epiphysenfugen. Dabei wurde die Epiphyse durch einen äußeren Festhalter einer Zugbelastung an der Diaphyse ausgesetzt. Durch die Zugbelastung wurde die Epiphysenfuge verbreitert und so ein Längengewinn erzielt.¹⁰²

Ähnliches testete P. A. RING 1958 an Hunden, und erzielte durchschnittliche Verlängerungen von neun Millimetern. Als Hauptkomplikation beobachtete er

¹⁰⁰Anderson 1952, 150 und Pflüger 1972, 57-58

¹⁰¹Bost, Larsen 1956, 567-584

¹⁰²Smith, Cunningham 1957, 125

einen vorzeitigen Verschluss der Epiphysenfuge sowie ein Ausbleiben der knöchernen Konsolidierung der verlängerten Extremität.¹⁰³

Mehr als zehn Jahre später wurde diese Methode auch beim Menschen angewandt.

6.1.17 Methode nach Küntscher

Die Anfang der sechziger Jahre eingeführte Methode der geschlossenen Verlängerungsosteotomie nach GERHARD KÜNTSCHER (1900-1972) war eine Weiterentwicklung der geschlossenen Marknagelung, wie sie in der Knochenbruchbehandlung bei bestimmten Frakturarten gehandhabt wurde.

Die Osteotomie wurde am Ober- und Unterschenkel von der Markhöhle aus durch Einführung einer Innensäge vorgenommen. Unter Extension wurde ein Klaffen der Osteotomiestelle von zwei Zentimetern herbeigeführt und ein Distanznagel so in die Markhöhle eingeführt, dass ein Distanzblock im Zwischenraum des proximalen und distalen Knochenabschnittes zu liegen kam. Der dahinter platzierte Marknagel presste dann den Distanzkeil fest zwischen die Abschnitte des Knochens. Dadurch wurde die Verlängerung aufrechterhalten und das Bein konnte nach zehn Tagen wieder belastet werden. Die knöcherne Überbrückung der Defekte erfolgte allerdings nur langsam und unzureichend und die Methode wurde nicht weiterverfolgt.¹⁰⁴

6.1.18 Methode nach Le Coeur

POL LE COEUR führte 1962 in Paris seine Methode der einzeitigen intraoperativen Verlängerung, direkt nach der Osteotomie, ein. Die einzeitige Verlängerung war eine Methode, die, erstmals von CODIVILLA angewandt, bereits lange Zeit, vor allem wegen der unzureichenden Kallusbildung, aus der Mode gekommen war und dennoch immer wieder vereinzelt neu aufgegriffen wurde.

¹⁰³Ring 1958, 169

¹⁰⁴Küntscher 1962 und Fischer 1972, 50-56

Ursprünglich diente das Verfahren LE COEURS nur zur Tibiaverlängerung, wurde aber später auf andere Knochen erweitert.

Die Tibia wurde langstreckig querosteotomiert. Mit einem bilateralen externen Schraubendistraktor wurden die Fragmente einmalig distrahiert. Vor Entfernung des externen Fixateurs wurde intern mit Bolzen und Nuten fixiert. All dies geschah in nur einer Operation.

LE COEUR wandte seine Methode, die sich vor allem wegen der unzureichenden Knochenneubildung nicht durchsetzte, in 125 Fällen (88 Tibiae und 37 Femora) an, nahm aber aufgrund der Komplikationen, wie sekundäre Frakturen (acht Femora und vier Tibiae) und Lähmungserscheinungen (in fünf Fällen) sowie drei knöchernen Infektionen, von ihr Abstand.¹⁰⁵

6.1.19 Methode nach Wagner

Die bisher beschriebenen Methoden führten zu einer meist mehrmonatigen Phase der Immobilität des Patienten. Neben den zahlreichen Komplikationen war auch dies für die Patienten abschreckend.

Eine wichtige Erkenntnis der Forschung der frühen sechziger Jahre des 20. Jahrhunderts war die Tatsache, dass die frühzeitige Mobilität die Prozedur für die Patienten angenehmer machte und gleichzeitig die vorsichtige Belastung der zu verlängernden Extremität die Knochenneubildung förderte. Diese Erkenntnis setzte WAGNER um.

HEINZ WAGNER, ehemaliger Chefarzt der Orthopädischen Klinik des Wichernhauses in Altdorf bei Nürnberg, verwendete seit 1963 (damals war er noch an der orthopädischen Klinik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster tätig) ein Verfahren, das besonders in Nordamerika auf Begeisterung stieß.

WAGNER konstruierte einen monolateralen Fixateur. Dabei orientierte er sich an den zur Frakturbehandlung eingesetzten monolateralen Fixateuren, wie den

¹⁰⁵Le Coeur 1962, 500-502 und Cauchoix 1978, 66-73

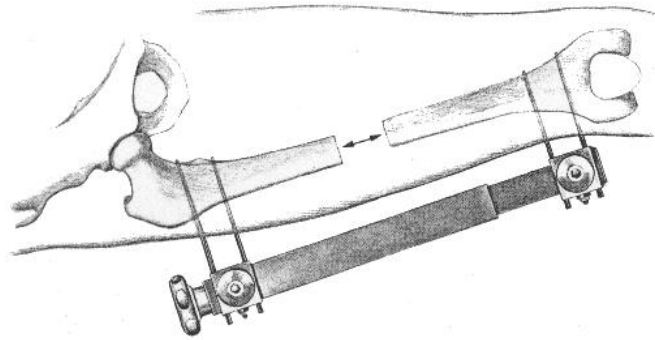


Abbildung 12: Wagner-Distraktor

Stader-Fixateur, der 1932 von OTTO STADER (1894-1962) in Ardmore, Pennsylvania, entwickelt wurde. Er wurde zur Behandlung von Frakturen langer Röhrenknochen bei Hunden verwendet, und aufgrund der erstaunlichen Stabilität, die eine frühe Mobilisierung ermöglichte, auch beim Menschen eingesetzt.¹⁰⁶ Auch der vom Schweizer RAOUL HOFFMANN 1938 entwickelte und heute noch in der Frakturbehandlung verwendete monolaterale Fixateur, der erstmalig die Beweglichkeit der Fragmente in allen Ebenen ermöglichte, gilt als Vorläufer des Wagner-Distraktors.¹⁰⁷

Der Wagner-Distraktor wurde an der Oberschenkelaußenseite und Unterschenkelinnenseite angebracht. Bei der Unterschenkelkorrektur war nach WAGNER eine Achillessehnenverlängerung notwendig, um eine Spitzfußbildung zu vermeiden.

Nach transperiostaler und transmedullärer diaphysärer Querosteotomie und initialer Dehnung von 0,5 Zentimetern wurde ab dem ersten postoperativen Tag kontinuierlich distrahiert und anschließend eine Osteosynthese, gegebenenfalls eine Spongiosaanlagerung, durchgeführt.

Der Wagner-Distraktor bestand aus einem Vierkant-Teleskop und vier SCHANZ´schen Schrauben (zwei im proximalen Fragment und zwei im distalen Fragment), die parallel in der gleichen Ebene am Knochen lagen. Am Distraktionsgerät befand sich ein Rändelgriff, eine Gewindestange und eine Vierkantfüh-

¹⁰⁶Stader 1937, 37 und Lewis, Breidenbach, Stader 1993,3-7

¹⁰⁷Hoffmann 1938, 844-880 und Green 1989, 59-63

rung, sowie eine Skala zum Ablesen der erreichten Gesamtverlängerung. Der Patient führte die Distraction selbst aus, indem er die Rändelschraube drehte, welche über eine Gewindeschraube den Distraktor auseinander zog. Eine Umdrehung der Rändelschraube entsprach 1,5 Millimetern Distraction. Auf diese Weise distrahierte der Patient 1,5 Millimeter pro Tag (einmalige Umdrehung der Schraube), aufgeteilt in mehrmalige Teildistractionen. Dies entsprach etwa einem Zentimeter Distraction pro Woche. Am zweiten oder dritten Tag nach der Operation konnte der Patient das Bett verlassen und mit einer Unterarmstütze herumlaufen.

War der gewünschte, die Differenz ausgleichende, Verlängerungsbetrag erreicht, konnte mit Hilfe von Röntgenaufnahmen kontrolliert werden, ob der Kallus ausreichend war und nur eine Osteosynthese durchgeführt werden musste, andernfalls erfolgte ergänzend zur Osteosynthese eine Auffüllung mit autologer Spongiosa aus dem Darmbeinkamm.

Mit dieser Methode konnten laut WAGNER am Oberschenkel maximal 16 Zentimeter und am Unterschenkel maximal acht Zentimeter verlängert werden. Mit sechs Wochen bis sechs Monaten Klinikaufenthalt musste gerechnet werden. Drei bis vier Operationen waren nötig: Osteotomie, Osteosynthese, Spananlagerung und Metallentfernung. Bei Komplikationen konnten zudem Begleitoperationen notwendig werden. Solche Komplikationen waren Achillotomie, Adduktorenentomie oder Kniebeugersehnenverlängerung. Probleme der Wagner-Methode waren bei der Oberschenkelverlängerung die Beugekontraktur im Kniegelenk, bei der Unterschenkelverlängerung die Spitzfußstellung und Fibularisparese. WAGNER unterteilte in technisch abhängige Komplikationen und technisch unabhängige Komplikationen. Zu den technisch abhängigen Komplikationen zählte er Refrakturen bei Z-Osteotomie, Drucknekrose der Haut durch Fragmentenden, reversible Fibularislähmung durch Distraction oder Lagerung, thermisch bedingte Sequester an der Schanz-Schraube und Nachgeben des Distraktors. Diese Komplikationen konnten durch Verbesserung des Distractionsgertes reduziert werden. Technisch unabhängig waren

nach WAGNER blande Weichteilinfektionen, welche nach Metallentfernung wieder abklangen, Infektionen mit Knochenbeteiligung, welche nach Sequestrotomie abheilten, Refrakturen nach Metallentfernung, Ermüdungsfrakturen bei hypoplastischem Knochen nach Metallplattenentfernung, schleichende Verbiegung bei kongenitaler Verkürzung und Infektionen an SCHANZ'schen Schrauben. Des weiteren waren Metallbruch oder -lockerung bei verzögerter Konsolidierung und Metallverbiegung bei akzidenteller Überbelastung zu nennen.¹⁰⁸ Die Morbidität nahm mit der Wagner-Methode ab, die Liste der Komplikationen war jedoch immer noch sehr hoch und betraf sowohl die Knochen, als auch das Weichteilgewebe. Trotzdem hat das WAGNER'sche Konzept großen Erfolg gebracht. Bei über 150 Gliedmaßenverlängerungen konnten Verlängerungsbeträge am Bein von bis zu 20 Zentimetern erreicht werden.¹⁰⁹

6.1.20 Methode nach Ilizarov

GAVRIIL ABRAMOVICH ILIZAROV hat wie kaum ein anderer in der heutigen Zeit die Knochen- und Gelenkchirurgie beeinflusst. Seine große Leistung besteht darin, dass er bereits bekannte Prinzipien, vor allem die Knochenbiologie und Weichteilregeneration betreffend, in seiner Methode zusammenfasste, und seine eigenen Ideen hinzufügte. Seine Techniken werden weltweit genutzt.

ILIZAROV wurde am 15. Juni 1921 als ältestes von acht Kindern jüdischer Eltern in einem kleinen Dorf in der Nähe von Vitebsk in Russland geboren. Später zog er mit seinen Eltern in eine kaukasische Bergregion, was die schlechte finanzielle Situation seiner Eltern nicht besserte. Als Junge konnte er bis zu seinem elften Lebensjahr nicht zur Schule gehen, denn er besaß keine Schuhe.

Von 1939 bis 1944 studierte er Medizin und wurde, nachdem er graduiert hatte, in ein Dorf namens Dolgovka in der westsibirischen Region Kurgan geschickt.

¹⁰⁸Wagner 1971, 173 und 260-266; Wagner 1972, 59-74; Wagner, Zeiler 1983, 163-180

¹⁰⁹Jani, Dolanc, Morscher 1975, 39-52; Herzog, Hefti 1992, 221-229; Guarniero, Tarcisio, Barros 1990, 254-259



Abbildung 13: G. A. ILIZAROV

Er verfügte bis dahin über keinerlei praktische Erfahrung und versorgte ohne die nötige medizinische Ausstattung ein Gebiet in der Größe eines kleinen europäischen Landes. Er musste die Aufgaben eines Internisten, Chirurgen, Gynäkologen, Pädiaters und Orthopäden erfüllen. 1949 stieg er zum leitenden Arzt in einem Krankenhaus für Kriegsverletzte in Kurgan auf. Zu dieser Zeit gab es Tausende von verwundeten Kriegsveteranen in Kurgan. Die Notwendigkeit verhalf ILIZAROV zu der Entwicklung seines externen Fixateurs zur Behandlung Kriegsversehrter. Er erhielt für diesen ein Patent seines Heimatlandes. In den fünfziger Jahren berichtete er von beeindruckenden Ergebnissen mit seiner Methode, doch in Moskau nahm keiner der führenden Orthopäden den „Provinzler“ ernst. Auch das Gesundheitsministerium ignorierte ihn. Dennoch kamen von weither Menschen, um von ihm behandelt zu werden. Anfang der sechziger Jahre berichtete er von Verlängerungen von bis zu 25 Zentimetern. Sein Ruhm in Kurgan und seiner Umgebung wuchs, aber es gelang ihm nicht, ihn auch in die großen Städte wie Moskau oder Leningrad zu tragen. Erst 1967, als es ihm gelang, den verletzten VALERY BRUMEL, einen bekannten sowjetischen Hochspringer, nach zahlreichen missglückten Behandlungen anderer

Chirurgen so erfolgreich zu operieren, dass Brumel danach wieder hochspringen konnte, gelangte er zu nationalem Ansehen. Das Gesundheitsministerium baute ihm eine große orthopädische Klinik. Er publizierte mehr als 2000 wissenschaftliche Schriften, gewann zahlreiche Preise und wurde 1989 Volksdeputierter im sowjetischen Parlament. 1992 starb GAVRIIL A. ILIZAROV und hinterließ einen allgemeinen Konsens darüber, dass seine biologischen Prinzipien gelten, unabhängig davon, welcher externe Fixateur verwendet wird.¹¹⁰

Obwohl ILIZAROV seinen Fixateur schon 1951 in der ehemaligen Sowjetunion eingeführt hatte, konnte er der westlichen Welt erst zwanzig Jahre später, Ende der sechziger Jahre, vorgestellt werden. Bis dahin wurde in Deutschland und den USA hauptsächlich die Wagner-Technik angewandt.

ILIZAROV stellte nicht nur einen neuen Verlängerungsapparat vor, sondern, was noch wichtiger ist, seine Forschungsarbeiten vom KNIIEKOT (Kurgan Scientific Institute of Experimental and Clinical Orthopedics and Traumatology), Sibirien, führten zu einem neuen Verständnis für die Biologie der Extremitätenverlängerung. ILIZAROV verband die Idee des Ringfixateurs mit den Erkenntnissen über die Biologie der Knochenregenerierung und -konsolidierung. Sein Ringfixateursystem zählt zu den derzeit am häufigsten eingesetzten Systemen.

Bei diesem System wird der Knochen in mehreren Ebenen über gegeneinander versetzte und unter Spannung gebrachte Kirschner-Drähte fixiert. Die Drähte werden in einem möglichst großen Winkel zueinander (idealerweise 90°) platziert, was jedoch durch die anatomischen Verläufe von Nerven und Gefäßen limitiert ist. Sie werden an Metallringen befestigt, die in mehreren Größen vorliegen und über gelenkige oder auch starre Längsträger verbunden sind. An den Längsträgern befindet sich der Gewinde- und Teleskopmechanismus zur Längen- und Achsenkorrektur. Um all diese Bestandteile miteinander zu verbinden, kommen Fixationsteile wie Klammern und Schrauben zur Verwen-

¹¹⁰Golykhovsky 1992, 7-8

dung.¹¹¹

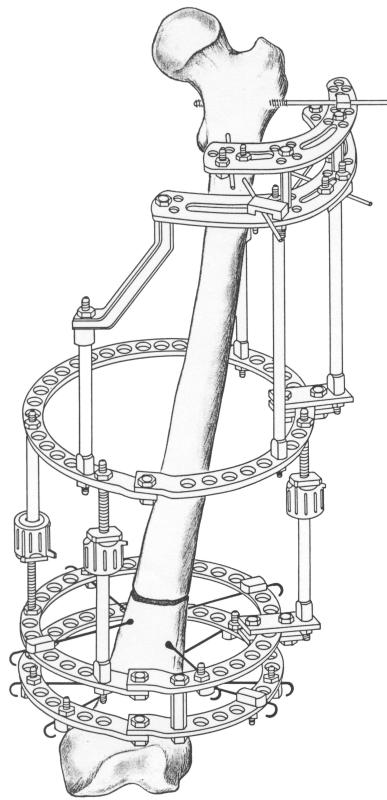


Abbildung 14: Ilizarov-Ringfixateur am Femur

Aufgrund der vielseitigen Anordnungsmöglichkeiten der Komponenten lassen sich nahezu alle Fehlstellungen durch Drehungen und Verschiebungen beheben. Sind während der Verlängerung Achsenkorrekturen gewünscht, werden zwischen die Ringe Gelenkverbindungen eingebaut. Durch asymmetrische Distraction werden die Ringe, und damit auch der daran transfixierte Knochenabschnitt, zueinander geschwenkt und somit die Achsenkorrektur erzielt.¹¹²

Da der externe Fixateur sowohl bei Frakturen als auch bei Fehlstellungen oder Extremitätenverlängerung niemals in Notfällen eingesetzt wird, kann jeder operative Eingriff im Voraus geplant werden. Dort, wo aufgrund anatomischer Begebenheiten Vollringe nicht montierbar sind, wird auf Bügel oder Halbringe zurückgegriffen. Dies trifft sowohl auf hüftgelenknahe Montagen zu, als auch

¹¹¹Green 1990, 1-11 und 19-25

¹¹²Pennig 1987, 667-673 und Atar 1991, 961-967

auf Montagen nahe von Gelenken, welche durch Vollringe stark in ihrer Beweglichkeit eingeschränkt wären.¹¹³

Der größte Anteil an Veröffentlichungen über biologische Prinzipien der Kallusdistraktion stammt vom KNIIEKOT-Institut unter der Leitung ILIZAROVs. In westlicher Literatur ist über die biologischen Grundlagen der Extremitätenverlängerung sehr viel weniger zu finden.

So erforschte ILIZAROV die Kortiko- und Kompaktotomie. Im Bereich der Knochenmetaphyse wird eine perkutane, geschlossene Osteotomie als Kompaktotomie bezeichnet.¹¹⁴ Erfolgt die Osteotomie an der Diaphyse, so nennt man sie Kortikotomie.¹¹⁵ Bei der von ILIZAROV beschriebenen Kortikotomie wird der Knochenkortex mit einem fünf Millimeter breiten Osteotom geöffnet. Dabei sollte laut ILIZAROV darauf geachtet werden, dass die versorgende Markarterie geschont wird und die medulläre Zirkulation erhalten bleibt. Auch das Periost bleibt weitgehend intakt, außer an der Stelle des Eintrittes des Osteotoms. Eine Kortikotomie sollte stets in einem Bereich mit guter Durchblutung des Knochens durchgeführt werden um eine gute Knochenregeneration zu erreichen.¹¹⁶ Bei Versuchen mit Hunden verglich ILIZAROV die offene Osteotomie des Knochens mit der perkutanen Kortikotomie, bei welcher Periost und Endost unbeschädigt blieben. In der Gruppe der Tiere mit offenen Osteotomien war die Konsolidierungsrate des Knochenregenerates deutlich niedriger als in der Gruppe der geschlossenen Kortikotomien. In beiden Gruppen war großer Wert auf die stabile Fixation mit dem Ringfixateur gelegt worden. Wurde zusätzlich mit einer instabilen Fixation kombiniert, so kam es zu signifikanten Verzögerungen der Konsolidierungszeit oder unzureichender Vereinigung der Knochenenden. Es lässt sich daraus erkennen, wie wichtig eine perfekte Biomechanik für die Kallusentstehung ist.

¹¹³Ilizarov 1988, 49-53

¹¹⁴Paley, Tetsworth 1991, 569-579

¹¹⁵Delloye 1990, 34-42

¹¹⁶Paley 1990, 41-52; 1989, 15-29 und Paley, Tetsworth 1991, 569-579

ILIZAROV betonte immer wieder die Bedeutung der Schonung der intramedulären Zirkulation, besonders der versorgenden Arterie.

Er empfahl, sieben Tage nach der Kortikotomie, wenn sich bereits etwas Kallus gebildet hat, mit der Distraction der Fragmentenden zu beginnen.¹¹⁷ Nach ILIZAROVs Forschungsergebnissen über den Distaktionsrhythmus sollte viermal täglich um 0,25 Millimeter distahiert werden, also um einen Millimeter pro Tag. Die Distraction erfolgt manuell über Gewindestangen.

Um zu diesem Ergebnis zu kommen, wandte ILIZAROV in seinen Experimenten verschiedene Rhythmen und Raten an, so zum Beispiel 0,5 , 1 , 1,5 und 2 mm/Tag. Diese konnten in einmal, zweimal und auch viermal pro Tag aufgeteilt werden. Die Stärke der Osteogenese war direkt von diesen Faktoren abhängig. Wurde täglich um 1,5 oder 2 Millimeter verlängert, so entstand eine lokale Ischämie und die Rate der Knochenneubildung wurde um das Doppelte bis Dreifache herabgesetzt. War umgekehrt die Distaktionsrate langsamer als die Knochenneubildungsrate, so bei 0,5 mm/Tag, verhinderte eine vorschnelle Konsolidierung des Regenerates das weitere Fortschreiten der Distraction. Somit konnte die optimale Distaktionsrate von 1 mm/Tag festgelegt werden. Auch zeigte sich ein indirekt proportionales Verhältnis zwischen dem Distaktionsrhythmus und der Konsolidierungszeit des Knochenkallus. Steigerte ILIZAROV den Rhythmus von einmal auf viermal täglich, so sank die Zeit, die das Knochenregenerat zur Konsolidierung benötigte. ILIZAROV beschrieb das Prinzip von Zug und Spannung, das besagt, dass mit einem langsamen, stetigen Zug einfluss Knochengewebeneubildung auf proliferative Weise stattfindet.¹¹⁸ Er zeigte außerdem, dass bei gleichmäßiger und langsamer Dehnung des Weichteilmantels, der Vorgang der Zell- und Gewebeneubildung homogener ist als bei unkontrollierter Dehnung.¹¹⁹

¹¹⁷White, Kenwright 1991, 613-624 und Herzenberg 1991, 601-611

¹¹⁸Ilizarov 1990, 8-25

¹¹⁹Ilizarov 1992

Unmittelbar nach Distraktionsbeginn wurde mit der Gewichtsbelastung begonnen. Volle Belastung sah ILIZAROV als essentiell für die Entstehung und Konsolidierung des Knochenregenerates an. Allogene Knochentransplantate wurden nicht benötigt, da genügend Kallus entstand.¹²⁰

ILIZAROV konnte mit zahlreichen Tierexperimenten zeigen, dass, wenn für die Knochenheilung gute biologische und biomechanische Bedingungen herrschen, sich bei kontrollierter, progressiver mechanischer Distraction Kallus bildet. Dazu waren spezifische biomechanische Merkmale des Ringfixateurs von großer Bedeutung.

Das wesentliche biomechanische Merkmal des Ringfixateurs ist die belastungsabhängige Änderung der axialen Steifigkeit des Fixateurs. Der Ilizarov-Fixateur, als rigides System, lässt Bewegungsauslenkungen im Fraktur- oder Osteotomiebereich zu. Bei zunehmender Belastung wächst das Steifigkeitsverhalten. Damit könnte erklärt werden, dass bei geringer Belastung die Kallusheilung gefördert, und bei größeren Kräfteinflüssen nicht gestört wird.

Die Ausbildung eines vollwertigen, belastungsfähigen Knochens benötigt deutlich längere Zeit als die Phase der Distraction. In der Fixationsphase ist die funktionelle Nachbehandlung unter Belastung der Extremität bei liegendem Ringfixateur von wesentlicher Bedeutung.¹²¹

1968 berichteten ILIZAROVs Landsleute ZAZIJALOV und PLASKIN über die Anwendung der langsamen, graduellen Epiphyseolyse. Sie distrahierten Epiphysenfugen von Kindern und verwendeten hierzu ILIZAROVs Ringfixateur. Es kam dabei zur Ruptur der Fuge mit prämatuerm Verschluss.¹²²

1969 berichtete auch ILIZAROV über die Anwendung der Epiphysenfugendistraction mit einer Distraktionsfrequenz von 0,25 Millimetern alle sechs Stun-

¹²⁰Pfeil, Niethard 1990, 263-272

¹²¹Podolsky, Chao 1993, 61-70

¹²²Zazijalov, Plaskin 1968, 121

den. Er behandelte 49 Kinder zwischen vier und 16 Jahren und erreichte durchschnittliche Verlängerungen von vier Zentimetern. Er gab keinerlei Komplikationen an. ILIZAROV empfahl die Anwendung dieser Methode kurz vor Verschluss der Epiphysenfuge.¹²³

1971 veröffentlichte ILIZAROV Ergebnisse über Tibiaverlängerungen. Zwischen 1952 und 1967 hatte er 217 Verlängerungen der Tibia durchgeführt. Die durchschnittliche Verlängerung betrug sieben Zentimeter. Das Alter der Patienten lag zwischen fünf und 44 Jahren. Es kam zu 13 Komplikationen. In neun Fällen kam es zu Bohrlochinfektionen, welche eine Entfernung der Drähte nötig machten. Vier Patienten entwickelten im Osteotomiebereich Osteomyelitiden, welche jedoch unbehandelt nach zwei bis acht Monaten abheilten. Bei vier Patienten kam es zu (beherrschbaren) Problemen im Sinne von Peroneuspareesen, die innerhalb von vier Monaten reversibel waren.¹²⁴

1973 veröffentlichte er die Ergebnisse von 237 Femurverlängerungen. Die durchschnittliche Verlängerung betrug 7,4 Zentimeter. Das Patientenalter zum Operationszeitpunkt lag zwischen fünf und 50 Jahren. Es traten sieben Komplikationen auf. Vier Patienten entwickelten eine Staphylokokkensepsis, einer eine Osteomyelitis. Bei zwei Patienten mit Hüftdysplasien kam es zu Hüftluxationen während der Distraction. Sechs Patienten hatten vorübergehende Probleme mit Peroneuspareesen.¹²⁵

DROR PALEY, der das Kurganer Institut mehrfach besuchte, berichtete, dass in neueren Veröffentlichungen des KNIIEKOT-Institutes als Hauptkomplikationen der Distraction auftretende Nervenläsionen beschrieben wurden. Sie traten selten bei Verlängerungen von weniger als 10 Zentimetern auf. Bei mehr als 10 Zentimeter Verlängerung entwickelten 12% der Patienten vorübergehende sensorische oder motorische Defizite. Bei ihnen allen konnte durch adäquate

¹²³Franke 1989, 138-145 und 1992, 197-209

¹²⁴Ilizarov, Deviatov 1971, 20-25

¹²⁵Ilizarov, Trohova 1973, 51-55

Behandlung, Verlangsamung, Beendigung oder auch Umkehr der Distraction, eine gute Rekonvaleszenz erreicht werden. Selten kam es zu Refrakturen. Bei Verlängerungen von weniger als 10 Zentimetern kam es nur selten zu einer permanenten Einschränkung der Motilitätsbreite (ROM= range of motion). Bei Verlängerungen von über 10 Zentimetern war die ROM häufiger eingeschränkt. Täglich wurde bis zu sechs Stunden Physiotherapie mit jedem Patienten des Institutes durchgeführt.

Der durchschnittliche Verlängerungsindex betrug 1 Monat pro Zentimeter. Er umfasste die Behandlungszeit vom Anbringen des Fixateurs bis zu seiner Entfernung, während der die Verlängerung und die Knochenkonsolidierung stattfanden, geteilt durch die Anzahl der Zentimeter, um die verlängert wurde. Der Index war geringer bei jüngeren Kindern und bei Verlängerungen über 10 Zentimetern.¹²⁶ Hier existierte das Problem der mangelhaften Knochenvereinigung nicht. Dennoch war im Allgemeinen das Problem der verzögerten Konsolidierung recht häufig (etwa 10%). Gewöhnlich war die Ursache in einem technischen Fehler bei der Kortikotomie oder in einer mangelhaften Fixateurstabilität zu suchen. Auch waren stets, bei nicht offensichtlichem Grund, individuelle biologische Faktoren zu berücksichtigen. So erfolgte eine Knochenneubildung schneller und besser bei jüngeren Patienten und häufig konnte beobachtet werden, dass die Konsolidierung des Knochenregenerates am selben Knochen des selben Patienten rechts und links unterschiedlich war, obwohl bilateral gleicherweise behandelt wurde.¹²⁷

Es existieren mehr als 1000 Publikationen von ILIZAROVs Klinik in Kurgan, welche die vielen Anwendungen seiner Technik beschreiben. Sie sind jedoch meist in russischer Sprache abgefasst, und daher nicht für jeden zugänglich.

¹²⁶Paley 1988, 76

¹²⁷Paley 1988, 73-92

6.1.21 Methode nach Wasserstein

I. WASSERSTEIN entwickelte Anfang der sechziger Jahre in Wiesbaden eine Methode, bei welcher kortikale allogene Transplantate zur Überbrückung der distrahierten Strecke verwendet wurden. WASSERSTEINS Absicht war es, dem Patienten die lange Behandlungszeit zu ersparen, welche durch das Entstehen und die Konsolidierung von Knochenkallus bedingt ist.

Er verwendete, wie auch ILIZAROV, einen zirkulären Fixateur externe, dessen Besonderheit darin lag, dass die Längsträger aus Plastik waren. Sie waren somit leichter, und auf Röntgenbildern nicht zu sehen.

Er führte eine subperiostale Osteotomie in der Mitte der Diaphyse durch. Die Fragmente wurden mit einem flexiblen, dünnen Nagel im Markraum gesichert. Dieser sollte dem Widerstand gegen eine axiale Abweichung durch unbalancierte Muskelkräfte dienen. Die Distraction begann acht bis zehn Tage postoperativ, ein bis zwei Millimeter pro Tag, bis die erwünschte Verlängerungstrecke erreicht war. Die Distractionslücke wurde dann mit einem zylindrischen Knochen-Allotransplantat aus Knochenbänken aufgefüllt. Der Ringfixateur komprimierte das allogene Transplantat zwischen den Knochenenden. Nach circa sechs bis acht Wochen Kompression konnte der Fixateur wieder entfernt werden.¹²⁸

Von 1963 bis 1990 wurden Verlängerungen mit WASSERSTEINS Methode an 320 Patienten durchgeführt. An Femur und Tibia wurden maximale Verlängerungen von bis zu 12 Zentimetern erreicht. Wenn an beiden operiert wurde, konnten folglich Verlängerungen von bis zu 24 Zentimetern erreicht werden. In 27 Fällen traten Komplikationen auf, davon waren 19 Bohrlochinfektionen, vier Weichteilinfektionen mit Transplantatabwehr und weitere vier Fälle Frakturen des Allotransplantates.¹²⁹

¹²⁸Wasserstein, Correll, Niethard 1986, 743-750 und Wasserstein 1990, 150-153

¹²⁹Wasserstein 1990, 150-153

6.1.22 Methode nach Bickel

WILLIAM BICKEL von der Mayo Klinik in Rochester, Minnesota, stellte 1964 seine Methode der Nagelextension vor, die in ähnlicher Form schon 1956 von BOST und LARSEN beschrieben worden war.¹³⁰

Er fixierte einen intramedullären Nagel im distalen Femurfragment und bewegte dieses mit einer Schraubenkonstruktion am proximalen Fragment nach distal. Der Zug wurde von der Schraube direkt auf den Nagel übertragen, Gegenzug entstand durch zwei transversale Steinmann-Nägel, welche sagittal durch den Trochanter major gebohrt waren. BICKEL führte transversale Osteotomien durch und verwendete intramedullär zur Stabilisierung der Fragmente Küntscher-Nägel. Nach der Operation mussten die Patienten Bettruhe einhalten.

Mehrmals am Tag wurde um einen Millimeter distrahiert, abhängig von der Größe des Patienten und der zu verlängernden Strecke. War die gewünschte Länge erreicht, so wurden die Steinmann-Nägel und der äußere Apparat entfernt. Der Küntscher-Nagel blieb in situ, und die physikalische Therapie konnte durchgeführt werden.

BICKEL wandte seine Methode nur bei fünf Patienten an. Da es zu drei Frakturen kam und einer der Patienten massive Irritationen und Schmerzen im Bereich der Glutealmuskulatur hatte, da der Nagel zu weit hochragte, wandte er sich von ihr ab.¹³¹

6.1.23 Methode nach Westin

WILBUR WESTIN stellte 1967 eine Methode zur Femurverlängerung vor, die ebenfalls eine Modifikation der Nagelextension mit dem Fixateur externe von BOST und LARSEN von 1956 darstellte. Das besondere dieser Methode lag in der Schonung des Periostes.

Nach Freilegung des Femurs führte er eine longitudinale Inzision des zuvor vorsichtig vom Knochen gelöst und dabei maximal geschonten Periostes durch.

¹³⁰Bost, Larsen, 1956; 567-584

¹³¹Peterson 1992, 175-190

Dann wurde im proximalen Anteil des Periostblattes schräg osteotomiert und ein Marknagel von der Region des Trochanter major aus nach distal durch die Osteotomiestelle in das distale Fragment geschoben. Dieser ragte 12 bis 15 Zentimeter in das distale Fragment. Nach Anlegen des externen Fixateurs wurde das distale Knochenfragment aus dem Periostschlauch gezogen.

WESTIN behandelte so 26 Patienten und führte insgesamt 33 Femurverlängerungen durch. Es kam während der Distraction zu je zwei Hüft- und Kniegelenksdislokationen und sechs Frakturen des verlängerten Femurs. Neurovasculäre Komplikationen traten nicht auf. In zwei Fällen wurde bei den ersten Zeichen einer Parese des Nervus ischiadicus die Verlängerung gestoppt und die erreichte Länge beibehalten. Auch mit WESTINS Methode war die Zahl der Komplikationen sehr hoch, so dass diese keine weitere Anwendung fand.¹³²

6.1.24 Methode nach Merle D'Aubigné

1971 beschrieb ROBERT MERLE D'AUBIGNÉ in Paris ein Verfahren mit bilateralem Fixateur externe, bei welchem transversal osteotomiert und sofort über einem intramedullären Nagel eine One-Stage-Verlängerung durchgeführt wurde.

Er brachte dazu einen intramedullären Nagel ein und osteotomierte anschließend fünf Zentimeter distal des Tuberculum innominatum des Trochanter major transversal. Mit einem Spreizer distrahierte er die Fragmente. Mit Hilfe einer kortikalen Knochenblockierung konnte die erreichte Länge beibehalten werden.

Mit dieser Methode wurden 16 Patienten behandelt. Folgende Komplikationen traten auf: In drei Fällen kam es zu vorübergehenden Lähmungen des Nervus peroneus, bei weiteren drei Patienten kam es zu einer verzögerten, davon bei einem Patienten zum Ausbleiben einer knöchernen Überbrückung des Distractionsspaltes. In zwei Fällen kam es zu Kniegelenkskontrakturen.

¹³²Westin 1967, 836-854

MERLE D'AUBIGNÉ empfahl seine Methode zur Korrektur von Beinlängendifferenzen von 10 Zentimetern und mehr bei älteren Kindern und jungen Erwachsenen mit Femurverkürzungen.¹³³ Weiterentwicklungen dieser Methode gab es nicht.

6.1.25 Methode nach Cauchoix

1972 stellte JEAN CAUCHOIX, ein Pariser Chirurg, seine Methode der einzeitigen Verlängerung vor, welche er bereits seit 12 Jahren angewandt hatte.

Im Bereich des mittleren Knochendrittels führte er eine Z-Osteotomie durch und verwendete zur einzeitigen Distraction einen Apparat, bestehend aus subtrochanteren und suprakondylären Steinmann-Nägeln, Winden, Stahldrähten und Längsträgern.

Die interne Fixation nach der Distraction wurde mit einer an die Knochenhinterseite geschraubten Vitalliumplatte vorgenommen. Knochenlücken wurden nach der Z-Osteotomie mit Knochenspänen ausgefüllt.

Der Autor beschrieb 100 Fälle. Es gab eine operative Komplikation, nämlich eine Femurfraktur beim Einführen eines Steinmann-Nagels. Postoperativ kam es zu 15 Komplikationen. Dreimal brach die innere Fixierung, bei zwölf Patienten kam es zu Wundinfektionen. Alle Patienten wiesen eine Einschränkung der Kniebeweglichkeit auf. Insgesamt kam es in 11 Fällen nicht zur Konsolidierung der Knochenfragmente. Der durchschnittlich erreichte Längenzuwachs betrug 3,7 Zentimeter.

CAUCHOIX empfahl zum Erreichen eines besseren Ergebnisses eine stabilere interne Fixation und die Verwendung größerer Mengen an Knochenspänen.¹³⁴ Aufgrund der schwerwiegenden Komplikationen wurde diese Methode jedoch nicht weiter eingesetzt.

¹³³Merle D'Aubigné, Dubousset 1971, 411-430 und Cauchoix, Morel 1978, 66-73

¹³⁴Cauchoix 1972, 1802-1803

6.1.26 Methode nach Kempf

1976-1984 führte I. KEMPF in Straßburg One-Stage-Nagelexensionen bei 17 Patienten durch. Nach Querosteotomien, langen Z-Osteotomien und transversalen Osteotomien erfolgte die Extension und dann eine statisch verschließende intramedulläre Nagelung und Anlage von Knochenspänen. Außerdem wurden die Osteotomiestellen mit zwei zusätzlichen Schrauben versehen, um nach Dynamisierung eine Verkürzung zu vermeiden. Es kam zu 13 Komplikationen: bei fünf Patienten trat ein signifikanter Verlust des Längenzuwachses auf, vier hatten eine Lähmung des Nervus femoralis, drei entwickelten tiefe Infektionen und einer eine Pseudarthrose. Die Infektionsrate war hoch und die Knochenkonsolidierung mangelhaft. Letztlich empfahl KEMPF die Anwendung der Wagner-Methode bei Verlängerungen von über vier Zentimetern.¹³⁵

6.1.27 Monticelli-Spinelli Fixateur

Dieser Ringfixateur wurde gegen Ende der siebziger Jahre in Rom als leicht veränderte Variante des ursprünglichen Ilizarov-Ringfixateurs entwickelt.

Die Längsträger wurden durch Kugelgelenke gehalten. So konnte in allen drei Ebenen bewegt werden. Die Ringe bestanden aus Aluminiumlegierung. Ausleger ermöglichten es, zusätzliche Drähte hinzuzufügen, ohne Doppelringkomplexe nötig zu machen. Jeder Punkt der Ringzirkumferenz konnte zur Drahtfixation verwendet werden. Dieser Vorteil wurde jedoch mit einem erhöhten Fixateurvolumen erkauft.

Anfang der achtziger Jahre besuchte MONTICELLI ILIZAROV in Kurgan, um sich über dessen neuesten Forschungsstand zu unterrichten.

MONTICELLI und SPINELLI berichteten von 43 Fällen, bei denen sie zur Extremitätenverlängerung ihren Fixateur und die von ILIZAROV beschriebene Kortikotomietechnik verwendeten. Außer in einem Fall wurde bei allen Patienten der geplante Längenausgleich von durchschnittlich sieben Zentimetern er-

¹³⁵Kempf, Grosse, Abalo 1986, 165-173

reicht. In sieben Fällen musste die durchschnittliche Behandlungszeit von einem Monat pro Zentimeter wegen Ossifikationsstörungen um 30 bis 40% erhöht werden. In einem Fall kam es zur Kniegelenksluxation, bei neun Patienten zu Gelenkkontrakturen.

MONTICELLI und SPINELLI führten Epiphysenfugendistraktionen mit ihrem Ringfixateur an 16 Kindern durch und beschrieben 1981 (damals waren sie die ersten Autoren, die ihre Ergebnisse mit dieser Methode in der westlichen Welt publizierten) die dabei auftretenden histologischen Veränderungen. Sie zeigten, dass mit einer schnellen Distraktionsrate die Epiphysenfuge in der hypertrophierten Zone gesprengt wird. Die entstehende Lücke füllt sich mit Blut, es entsteht ein Hämatom mit Ursprung aus dem Periost und der Metaphyse. In diesem Hämatom kommt es zur membranösen Osteogenese. Epiphyseometaphyseale Brücken werden gebildet. Somit wird die gesamte Wachstumsfuge durch trabekulären Knochen ersetzt. Sie erreichten in ihrer Studie Verlängerungen des Unterschenkels von drei bis 10 Zentimetern. Die mittlere Fixationszeit betrug 26 Tage pro verlängerten Zentimeter. An Komplikationen mussten drei vorzeitige Fibulaverknöcherungen, eine Fraktur der Tuberositas tibiae und zwei partielle Refrakturen behandelt werden.¹³⁶

6.1.28 Dynamisch-axiale externe Fixation

In Verona, Italien, entstand Anfang der siebziger Jahre ein Zentrum für Extremitätenverlängerung. Die dort entwickelte dynamisch-axiale externe Fixation genießt auch heute noch weltweite Anerkennung.

GIOVANNI DE BASTIANI und FRANCO LAVINI sahen die Probleme bilateraler Implantate in den durch die Weichteilanatomie gesetzten Grenzen. Sie bergen die Gefahr vaskulärer und nervaler Läsionen, von Muskelschädigungen und Gelenksteifheit, sowie von Infektionen und Narben. Außerdem komme es häu-

¹³⁶Monticelli, Spinelli, Bonucci 1981, 262-274 und Monticelli, Spinelli 1981, 275-285

fig zur verzögerten oder gänzlich fehlenden Kallusbildung, Refraktur des Regenerates, Osteolyse oder Osteoporose der Knochensegmente.¹³⁷

Das Ziel war es, mehrere Faktoren, wie Unilateralität, dynamische Kompression, geringes Gewicht, attraktives Design, Gelenkigkeit in mehreren Ebenen, Einfachheit in der Anwendung und vielseitige Anwendungsmöglichkeiten in der Traumatologie und Orthopädie, wie auch Senkung der oben genannten Gefahren miteinander in einem Apparat zu vereinigen.

Der unilaterale externe Fixateur von DE BASTIANI, ALDEGHERI, LAVINI, AGOSTINI und RENZI-BRIVIO, auch Orthofix genannt, wurde im Jahre 1979 am Institut für klinische Orthopädie und Traumatologie an der Universität von Verona vorgestellt. Er existiert in verschiedenen Größen und unterschiedlichen Ausführungen mit oder ohne Kugelgelenke.

Der Orthofix-Distraktor, der zur einfachen Verlängerung ohne Achskorrektur verwendet wird, verfügt nicht über gelenkig verbundene Klammern. Sein Zentralkörper zeigt einen teleskopartigen Aufbau, welcher die dynamisch-axiale Kompression und auch die Distraction ermöglicht.

Werden simultan Achskorrekturen durchgeführt, so verwendet man den mit Gelenkverbindungen versehenen unilateralen Fixateur.

Weitere Varianten verfügen über eine artikulierende T-Klammer, welche für Verlängerungen durch Epiphysenfugendistraktion und Korrektur von axialen Deformitäten durch asymmetrische Distraction der Wachstumsfuge von Bedeutung ist (Chondrodiatasis, Hemichondrodiatasis).¹³⁸

Nach Anbringung des Fixateurs wird submetaphyseal eine subperiostale Osteotomie, möglichst gewebeschonend, mit Vermeidung von Hitzeschäden, und unter Erhaltung des Periostes durchgeführt.¹³⁹ Mit der Distraction wird bei Erwachsenen am 15. , bei Kindern am 10. postoperativen Tag, das heißt, nach

¹³⁷De Bastiani, Lavini 1991, 57-60

¹³⁸De Bastiani, Aldegheri, Renzi-Brivio, Trivella 1989, 235-272

¹³⁹Aldegheri, Renzi-Brivio, Agostini 1989, 137-146

ausreichender Kallusbildung, begonnen.

Es existieren zwei verschiedene Distractionstechniken, die sogenannte Kallotasis und die Chondrodiatasis.

Die langsame, progressive Kallusdistraction wird Kallotasis genannt; der Suffix „-tasis“ stammt von dem griechischen Wort „teino“, welches „strecken“ bedeutet.

„Indem man einen Vorteil aus der Regenerationsfähigkeit der Gewebe während der Distraction zieht, bewirkt diese Vorgehensweise gute biologische Voraussetzungen für die Entstehung von periostalem Kallus in einer subperiostalen Fraktur an der proximalen Metaphysodiaphyse.“¹⁴⁰

Die Distraction erfolgt um einen Millimeter/Tag, durchgeführt in mehreren, über 24 Stunden verteilten, Distractionsschritten. Ist die gewünschte Verlängerungsstrecke erreicht worden, so schützt man das Knochenregenerat, indem eine Sperrschraube am teleskopartigen Zentralkörper des Fixateurs festgedreht wird. Die Kompressions-Distractionseinheit wird entfernt. Dadurch wird der Apparat leichter.

Bereits einen Tag nach der Operation ist eine Gewichtsbelastung mit Gehhilfen möglich.

Nun beginnt die sogenannte Ossifikationsphase. Ist eine adäquate Konsolidierung eingetreten, was in einem Röntgenbild als einheitliche Verschattung zu erkennen ist, so kann die blockierende Schraube wieder gelöst werden, und der Patient die Extremität vollständig unter Verwendung von Gehhilfen belasten.

ALDEGHERI et al. führten in einer Studie die Kallotasis, also die langsame Kallusdistraction, an insgesamt 270 Knochensegmenten von 140 Patienten durch. Dabei wurden 146 Femora und 124 Tibiae verlängert. 95 Patienten wurden aufgrund von Beinlängendifferenz behandelt, wobei 61 Femurverlängerungen, 25 Ti-

¹⁴⁰De Bastiani, Aldegheri, Renzi-Brivio, Trivella 1989, 257

biaverlängerungen und neun Simultanverlängerungen an einem Bein durchgeführt wurden. Bei 45 Patienten mit Achondroplasie erfolgten 38 mal Beinverlängerungen in allen vier Segmenten, während die alleinige Verlängerung beider Tibiae siebenmal durchgeführt wurde.

Bei den Patienten mit Beinlängendifferenz betrug das Durchschnittsalter 16,8 Jahre, das der Achondroplastiker lag bei 16,7 Jahren. Die mittlere Verlängerungsstrecke lag bei 6,6 Zentimetern. In allen Fällen wurden die gewünschten Verlängerungsbeträge erreicht. Der durchschnittliche Heilungsindex betrug 39 Tage pro Zentimeter. Es traten insgesamt 36 Komplikationen auf: 12 Refrakturen, 12 vorzeitige Verknöcherungen, acht Osteolysen nach Pintrakt-Infektionen, drei vorzeitige Verknöcherungen der Fibulaosteotomie und eine Subluxation der Hüfte. Die durchschnittliche Nachuntersuchungszeit betrug zwei Jahre.¹⁴¹

Bei der Chondrodiatasis, neben der Kallotasis ebenfalls ein von der Schule Veronas geprägter Begriff, handelt es sich um eine Methode zur Behandlung von Längenunterschieden der oberen und unteren Extremitäten, bei welcher die Epiphysenfuge unter Einsatz des dynamisch-axialen externen Fixateurs (DAF), distrahiert wird und zwar, im Gegensatz zur Distractionsepiphyseolyse ILIZAROVs, mit dem Ziel, eine Ruptur der Epiphysenfuge zu verhindern. Daher erfolgte die Distraction langsamer (0,5 Millimeter pro Tag, aufgeteilt in zwei Distractionen von 0,25 Millimetern). Durch die Distraction wird eine langsame, graduelle Verbreiterung der Wachstumsfuge erzielt. Es kommen nur geringe Kräfte zur Anwendung. So soll ein Anstieg der metabolischen Aktivität der Wachstumsfuge erreicht werden, ohne eine Sprengung, beziehungsweise einen Riss, zu bewirken. Zwei artikulierende Kugelgelenke, eines an jedem Ende des DAF, erlauben es, das Fixateurgerüst mit der Diaphyse zu verbinden, und eine Abweichung der Wachstumsfuge während der Verlängerungsperiode zu vermeiden. Die Epiphysenfuge soll ihre funktionelle Integrität bis zum Ende der

¹⁴¹Aldegheri, Renzi-Brivio, Agostini 1989, 137-146; Price 1989, 512-514; Price, Cole 1990, 105-111

physiologischen Wachstumsperiode behalten.¹⁴²

Die Chondrodiatasis sollte weniger ernsthaften Beinlängendifferenzen vorbehalten sein (zwei bis vier Zentimeter) und in einem Alter nahe der Skelettreife durchgeführt werden.¹⁴³ Sie ist die langsame Variante der Epiphysenfugendistraktion.¹⁴⁴

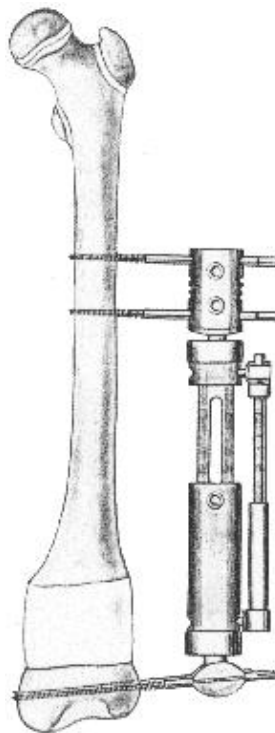


Abbildung 15: Orthofix in situ nach erfolgter Epiphysenfugendistraktion

ALDEGHERI et al. veröffentlichten im Jahre 1989 ihre Ergebnisse über die Chondrodiatasis von 170 Knochensegmenten an 75 Kindern. Sie distrahierten 0,5 Millimeter in zwei Phasen, alle 24 Stunden.

Die Distraktion erfolgte an den distalen Wachstumsfugen von Femur und Tibia. Der verwendete Orthofix-Distraktor bestand aus einem langen und einem kurzen Zentralsegment, einer T-Klammer, zwei Schrauben für die Epiphysen und zwei Kortikalisschrauben für die Diaphysen.

¹⁴²Aldegheri, Trivella, Lavini 1989, 117-128

¹⁴³Renzi-Brivio, Lavini, De Bastiani 1990, 112-116

¹⁴⁴Kenwright 1990, 61-72

Die Distraction begann am ersten Tag nach der Operation. Bei den 170 Knochensegmenten handelte es sich um 92 Femora und 78 Tibiae. Die mittlere femorale Verlängerung betrug drei Zentimeter, die mittlere tibiale Verlängerung 3,7 Zentimeter. Der mittlere Heilungsindex war femoral 36 d/cm (= Tage/cm), tibial 34 d/cm. Insgesamt traten acht femorale und 25 tibiale Komplikationen auf. Zweimal kam es am Femur, sechsmal an der Tibia zu Refrakturen.¹⁴⁵ Bei keinem der Patienten wurde durch die Behandlung die Wachstumsfuge zerstört. Da die Ergebnisse bei der Tibiaverlängerung hohe Komplikationsraten zeigten, riet ALDEGHERI von Tibiaverlängerungen ab.

Der Begriff Hemichondrodiastasis wurde von DE BASTIANI geprägt. Eine langsam und unter ständiger Kontrolle durchgeführte externe, asymmetrische Distraction der Epiphysenfuge kann am konkaven Teil einer Deformität durchgeführt werden und erlaubt eine Korrektur einer epiphyseo-metaphysealen Valgus- oder Varusdeformität der Extremität.¹⁴⁶ Dafür finden, wie bei der Chondrodiastasis, ein DAF mit Gelenkkörper und einer T-Klammer für die epiphysealen Schrauben, sowie zwei Kortikalisschrauben für die Diaphyse, Verwendung.

DE BASTIANI erprobte diese Methode an Kaninchenfemora. Er distrahierte nur den lateralen Teil der distalen Femurepiphysenfuge um 0,25 Millimeter alle acht Stunden. So entstand eine Varusdeformität. Weder eine Fraktur, noch ein Hämatom wurden hervorgerufen.¹⁴⁷ Innerhalb von 24 Stunden wurde dreimal um 0,25 Millimeter distrahiert.

In einer Studie wurden 35 Segmente an 25 Patienten wegen Varus- oder Valgusdeformität korrigiert. Das durchschnittliche Patientenalter betrug 11,2 Jahre. Es konnte eine Durchschnittsbehandlungszeit von 90 Tagen ermittelt werden. Insgesamt traten fünf Komplikationen auf, nämlich Osteolysen durch Bohrlöchinfektionen und Verbiegungen der Epiphysenschrauben. Alle gewünschten

¹⁴⁵Aldegheri, Trivella, Lavini 1989, 117-128

¹⁴⁶Grill 1989, 166-175

¹⁴⁷Renzi-Brivio, Lavini, De Bastiani 1990, 112-116

Korrekturziele wurden erreicht.¹⁴⁸

6.1.29 Externer Fixateur von Cañadell

Bei diesem Fixateur, der 1986 von J. CAÑADELL in Pamplona (Spanien) entwickelt wurde, handelt es sich um einen erweiterbaren, tubulären, monolateralen, externen Fixateur. Seine Besonderheit liegt in seinem Kugelmechanismus und in einem Antikollapssystem. So kann eine freie Biokompression und Dynamisierung bei guter axialer Elastizität erreicht werden. Der Körper hat zylindrische Form und kann in seiner Längsachse distrahiert oder komprimiert werden. Die Verlängerung geschieht durch das Drehen eines Bolzens. Am Zentralkörper können zwei oder drei Nagelhalter befestigt werden, von denen jeder ein bis vier, im Knochen befestigte, Schrauben tragen kann. Der Kugelmechanismus liegt am Ende des Zentralkörpers. Mit dem Bolzen können Längenveränderungen und Achsenveränderungen erreicht werden.¹⁴⁹

6.1.30 Wiesbadener Ringfixateur

J. FISCHER, P. DUFEK und P. STACHEL haben 1992 aufgrund der Vorteile der Ringfixation den Ilizarov-Fixateur weiterentwickelt.

Ihr Apparat besteht aus zwei röntgentransparenten Kunststoffringen, ist von der Volumenbeanspruchung geringer, leichter zu implantieren, und hat ein extrem niedriges Eigengewicht. Er zeigt eine modulare Bauweise. Die Extensions- und Distractionsvorrichtungen sind auf Kugelgelenken gelagert. Mit diesem Fixateur führten sie Epiphysen- und Kallusdistraction durch.

Sie beschrieben pro Fall durchschnittlich 2,2 oberflächliche Weichteilinfektionen, bei jedem zweiten Patienten eine vorübergehende Gelenkbewegungseinschränkung unter 20 Grad, in jedem fünften Fall eine solche von über 20 Grad.¹⁵⁰

¹⁴⁸Aldegheri, Trivella, Lavini 1989, 128-157

¹⁴⁹Cañadell 1986, 477-480

¹⁵⁰Fischer, Dufek, Stachel 1992, 210-220

6.1.31 Heidelberg-External-Fixation-System (HEFS)

1989 führten J. PFEIL und R. PAUSCHERT aus Heidelberg einen monolateralen Fixateur mit Teleskopmechanismus, mit dem Achskorrekturen während der Distraktionsphase durchführbar sind, ein.¹⁵¹

Der Fixateur ist in Modulbauweise aufgebaut und verfügt über drei einfügbare Gelenke, nämlich ein blockierbares Kardangelenk, ein einsetzbares, blockierbares Scharniergelenk und ein Angulator, so dass zur Distraction simultan achskorrigiert werden kann.¹⁵²

6.1.32 Hybridfixateure

In der heutigen Zeit existieren neben den oben dargestellten unilateralen und transfixierenden Systemen in Form von Ringfixateuren und Rahmenfixateuren auch andere Systeme, wie zum Beispiel Hybridfixateure. Diese sind aus Elementen beider Gruppen, monolaterale Fixateure und Ringfixateure, die zueinander kompatibel sind, zusammengesetzt. Solche Konstruktionen sind sinnvoll, wenn die Anwendung eines Verlängerungsapparates alleine ungünstig ist. Dies ist zum Beispiel bei der Anwendung des Ringfixateurs am Femur oder Humerus der Fall. Der proximale Ring ist ein Hindernis für den Patienten und auch für den Operateur. Die Platzierung von Drähten nahe an Gefäß- und Nervenbahnen ist nicht ungefährlich. Der störende Ring kann durch eine monolaterale Konstruktion mit Befestigung am distalen Ring ersetzt werden. Auch in Gelenknähe können Hybridkonstruktionen sinnvoll sein. Für eine suffiziente Hybridmontage ist die Kompatibilität der Systeme und die Erfahrung des Operateurs bei der Konstruktion von Bedeutung, damit ausreichend Stabilität gegeben ist.

¹⁵¹Pfeil, Pauschert 1993, 737-742

¹⁵²Pfeil, Pauschert 1993, 731-736

6.2 Interne Verfahren

Im Laufe der Zeit wurden immer neue Varianten von Fixationssystemen zum Einsatz bei der Extremitätenverlängerung entwickelt. So gewannen auch Konstruktionen mit der Kombination von externem Fixateur und interner Stabilisierung, zunehmend an Bedeutung.

Die Erfahrung, dass eine Verlängerung mit einem externen Distraktionsapparat über einen medullären Kraftträger zur internen Stabilisierung durchgeführt werden kann, haben schon 1956 BOST und LARSEN¹⁵³ und 1963 WASSERSTEIN¹⁵⁴ gemacht.

Dass eine Distraktionsosteogenese mit ausreichender Kallusbildung über einen intramedullären Nagel möglich ist, zeigen Studien von BAUMANN und HARMS¹⁵⁵ aus den siebziger Jahren. Dies belegen auch Studien aus den neunziger Jahren von BRUNNER¹⁵⁶, BETZ, BAUMGART und SCHWEIBERER¹⁵⁷ sowie GUICHET¹⁵⁸. Seit den siebziger Jahren werden auch rein interne Verfahren zur Distraction eingesetzt. Im Folgenden wird die Entwicklung interner Verfahren zur Extremitätenverlängerung bis zu den heute angewandten Systemen dargestellt.

6.2.1 Schöllner-Distraktor

Bei der 1972 von D. SCHÖLLNER, dem ehemaligen Chefarzt des Krankenhauses der Augustinerinnen in Köln, beschriebenen Methode zur Femurverlängerung handelte es sich um die Distraction mit einem internen Fixateur. Er sollte die Komplikationen bei der Anwendung externer Distraktoren ausschließen, und die Schmerzbelastung der Patienten verringern.

Der monolaterale Distraktor wurde implantiert und mit Schrauben unmittelbar am Knochen befestigt. Er bestand aus zwei Rohren, welche teleskopartig

¹⁵³Bost, Larsen 1956, 567-584

¹⁵⁴Wasserstein 1990, 150-153

¹⁵⁵Baumann, Harms 1977, 139-146

¹⁵⁶Brunner, Kessler, Cordey, Rahn, Schweiberer, Perren 1990, 244-250

¹⁵⁷Betz, Baumgart, Schweiberer 1990, 605-609

¹⁵⁸Guichet 1992, 405-410

auseinander geschoben wurden.

Die Distraction, um ein bis zwei Millimeter täglich, erfolgte mit Hilfe eines langen Vierkantschlüssels, der durch ein die Haut perforierendes Kunststoffrohr an ein Kupplungsstück am Distraktor herangeführt wurde. Während der Distraktionsphase konnten bereits Bewegungsübungen durchgeführt werden.

SCHÖLLNER wandte seine Methode bei sieben Patienten an. Es traten eine Fraktur des Knochenregenerates, vorübergehende massive Einschränkungen der Kniegelenksbeweglichkeit und eine Hüftgelenksluxation auf. Die maximal erreichte Verlängerung betrug neun Zentimeter.¹⁵⁹ Es zeigte sich bei der Anwendung des Schöllner-Distraktors, dass die technischen Schwierigkeiten und Komplikationen letztendlich größer waren als bei der Anwendung externer Distraktoren, so dass diese Methode nicht weiter eingesetzt wurde. Auch bestand aufgrund der Verbindung zur Hautoberfläche ein hohes Infektionsrisiko.¹⁶⁰

6.2.2 Distraktionsmarknagel von Götz und Schellmann

1975 berichteten J. GÖTZ und W.D. SCHELLMANN über einen Marknagel mit einem hydraulisch betriebenen Druckzylinder im Nagelinneren. Dieser Nagel wurde zur Femurverlängerung eingesetzt. Über einen externen Druckgeber wurde die pneumatische Kraft auf den Druckzylinder übertragen. Ein Querbolzen, der im distalen Knochensegment verankert war, wurde dabei weggedrückt und führte zu einem Längengewinn. Es handelte sich um ein halboffenes System, da ein dünner Schlauch den externen Druckgeber mit dem Druckzylinder verband. Über eine klinische Verwendung wurde nicht berichtet.¹⁶¹

6.2.3 Distraktionsmarknagel von Baumann und Harms

F. BAUMANN und J. HARMS stellten 1977 einen teleskopartigen Verlängerungs-marknagel mit einem transkutan nach proximal ausgeleiteten Spindelantrieb

¹⁵⁹Schöllner 1972, 971-974

¹⁶⁰nach einem persönlichen Brief von Professor Schöllner

¹⁶¹Götz, Schellmann 1975, 305-310

vor. Pro Umdrehung der Gewindespindel wurde der Innennagel um einen Millimeter nach distal verschoben. Zum Antrieb der Gewindespindel wurde eine biegsame Welle eingebracht. Dieses System wurde in zehn Hundefemora implantiert. Es ergaben sich laut BAUMANN und HARMS keine technischen Störungen.

Knochenhistologische und mikroangiographische Untersuchungen zeigten eine ausreichende Revaskularisation und Kallusbildung nach Marknagelung. Sie berichteten über die klinische Anwendung in einem Fall mit einer erzielten Verlängerung von 13 Zentimetern.¹⁶²

Dieses System wurde nicht weiter eingesetzt, obwohl über keinerlei Komplikationen berichtet wurde.

6.2.4 Distractionssystem von Witt und Jäger

In den Jahren 1977 und 1978 wurde ein erstes voll implantierbares Distractionssystem von A.N. WITT und M. JÄGER vorgestellt. Es handelte sich, im Gegensatz zu den vorher beschriebenen Distractionssystemen, um ein geschlossenes System, basierend auf einer seitlich an den Knochen angebrachten Platte mit einer elektronisch programmierbaren Distractionseinheit. Über einen Sender mit den Funktionen „Vorlauf-Stop-Rücklauf“ wurde drahtlos, transkutan die Energie an einen integrierten Motor übertragen, der den Teleskopmechanismus in Bewegung setzte. Das System war vollständig sterilisierbar. WITT und JÄGER implantierten 1977 ihr System auf die Oberfläche von Schafsfemora und distrahierten in einem stündlichen Intervall um jeweils 0,15 Millimeter. Es kam bei diesem Tierversuch zu wiederholten Ausrissen am distalen Femurfragment. 1978 berichteten JÄGER und WITT über die Anwendung bei einem Patienten mit posttraumatischer Femurverkürzung. In der ersten Operation erfolgte die Anbringung des Systems nach Querosteotomie. Über sechs Wochen wurde distrahiert und eine Verlängerung von 6,5 Zentimetern erreicht. In einer zweiten Operation wurde das Antriebsaggregat entfernt und eine kortikospon-

¹⁶²Baumann, Harms 1977, 139-146

göse Plombe aus dem Beckenkamm, zur Auffüllung des erzielten Defektes, eingelegt. Nach fünf Monaten war das Bein vollständig belastbar.¹⁶³

Über weitere Anwendungen der Methode wurde nicht berichtet. Die Größe des Implantates verhinderte einen weiteren klinischen Einsatz.

6.2.5 Distractionsmarknagel von Bliskunov

1983 stellte ALEXANDER IVANOVITSCH BLISKUNOV, ein ukrainischer Chirurg aus Simferopol (Ukraine), einen vollständig implantierbaren Nagel zur Femurverlängerung vor. Ein kleines Ratschensystem wurde am Darmbeinkamm festgeschraubt und mit dem oberen Ende eines teleskopförmigen intramedullären Nagels im Femur verbunden. Der Nagel wurde im distalen Femurfragment mit Pins befestigt. Kein Metallteil hatte Verbindung zur Hautoberfläche. Aktive Außen- und Innenrotation des Beines durch den Patienten führte mit Hilfe eines Ratschenmechanismus zur Auseinanderbewegung des im Femur liegenden Teleskops.¹⁶⁴ Eine Außenrotation des Beines führte zu einer Distraction von 0,04 Millimetern. In 24 Stunden wurde dieser Vorgang 12 bis 24 mal wiederholt, bis die endgültige Länge erreicht war. Nach Erreichen der gewünschten Länge wurde der Nagel bis zur knöchernen Konsolidierung in situ gelassen.¹⁶⁵

6.2.6 Albizzia-Nagel von Guichet

Dieser Verlängerungsmarknagel, bestehend aus zwei teleskopartig verbundenen Rohren, wurde 1987 entwickelt und funktioniert, wie auch der Verlängerungsmarknagel von BLISKUNOV, auf der Basis eines mechanischen Ratschenmechanismus. Durch manuelle Rotation am Unterschenkel des osteotomierten Beines um je 20° wird ein Teleskopmechanismus betätigt, der über eine Spindel und eine Rasterscheibe den Knochen auseinander drückt und zu einer Verlängerung führt.

¹⁶³Witt, Jäger 1977, 273-279 und Witt, Jäger 1978, 291-296

¹⁶⁴Peterson 1992, 175-190

¹⁶⁵Bliskunov 1983, 59-62

Die Operation zur Implantation des Nagels erfolgt perkutan. Bei der Osteotomie wird speziell darauf geachtet, das Periost nicht zu schädigen. GUICHET konnte in Tierversuchen an Kaninchenfemora nachweisen, dass allein vom Periost, trotz Zerstörung des Knochenmarks, ausreichend Kallus gebildet werden kann.¹⁶⁶

Bereits direkt nach der Operation wird mit einer Bewegungsschiene passiv die Muskulatur beübt, um eine maximale Beweglichkeit der Gelenke, vor allem des Kniegelenks, zu erhalten. Am fünften postoperativen Tag wird mit der Betätigung des Ratschenmechanismus für die graduelle Verlängerung begonnen. Täglich wird um etwa einen Millimeter verlängert. Für diese Strecke müssen drei mal fünf, zum Teil schmerzhafte, Rotationen durch den Patienten oder einen Helfer getätigt werden.

Sobald die Schmerzen es zulassen, kann eine Teilbelastung erfolgen. Erst nach Beendigung der Verlängerung ist, nach Verriegelung des Implantates, die vollständige Belastung erlaubt.

Bei axialem Druck nimmt die Distanz zwischen proximalem und distalem Verriegelungsbolzen ab. Bei Druckabnahme kehrt der Knochen durch einen Federungsmechanismus wieder in die Ausgangslage zurück. Diese aktive Dynamisierung fördert die Kallusbildung.

Auch für die Tibia existiert ein Marknagel. Für multiple und/oder distale Femurosteotomien steht der 3D-Albizzia-Nagel, der eine dritte äußere Röhre mit größerem Durchmesser hat, zur Verfügung.¹⁶⁷

6.2.7 Distraktionsmarknagel von Baumgart und Betz

Der erste voll implantierbare, motorisierte und programmierbare, Distraktionsmarknagel von BAUMGART und BETZ wurde 1989 erstmals klinisch eingesetzt und gilt derzeit als das am weitesten entwickelte, voll implantierbare System.

Im Gegensatz zum mechanischen Antrieb des Distraktionsmarknagels von GUI-

¹⁶⁶Guichet, Braillon, Bodenreider, Lascombes 1998, 527-531

¹⁶⁷Guichet 1999, 1066-1077; Guichet, Casar 1997, 281-290; Guichet 1997, 251-264

CHET basiert dieser Marknagel auf einem elektronischen Antrieb. Ein Elektromotor, der im proximal im Femur liegenden Nagelende untergebracht ist, treibt einen Spindelmechanismus an.

In der ersten Entwicklungszeit, am Anfang der neunziger Jahre, wurde neben der Antriebs- und Kontrolleinheit auch eine Batterie implantiert. Die Größe des Implantates konnte drastisch reduziert werden, was sich günstig auf das Weichteilgewebe auswirkte, indem die Energiequelle nach außen verlegt wurde.¹⁶⁸ Beim weiterentwickelten Modell erfolgt die Energieeinkopplung durch Hochfrequenz über einen Sender. Während der Nacht wird dieser Sender mit einem Klippmechanismus auf der Haut, über der subkutan liegenden Empfangsantenne, fixiert.

Der Nagel zieht sich nach distal in den Knochen, da die Zugspindel durch eine Schraube, die in einem Langloch gleitet, mit dem proximalen Hauptfragment verbunden ist.¹⁶⁹

Die Kortikotomie erfolgt vom Mark aus unter maximaler Schonung des Periostes, da dieses, bei beeinträchtigtem Knochenmark, für die Kallusbildung maßgeblich ist. Intraoperativ können auch Achsenfehlstellungen korrigiert werden.

Die Distraction beginnt nach einer Ruhephase von fünf bis sieben Tagen postoperativ mit einer Geschwindigkeit von circa einen Millimeter pro Tag. Durch die Programmierung des Senders kann eine nahezu kontinuierliche Verlängerung nachts, also bei Relaxation der Muskulatur, erreicht werden, was sich nach den Versuchen von ILIZAROV günstig auf die Knochenneubildung auswirkt.¹⁷⁰ Zugkräfte bis zu 1800 Newton können erzielt werden.¹⁷¹ Eine Verlängerung von bis zu acht Zentimetern ist möglich.¹⁷²

Postoperativ kann nach Abklingen der Schmerzen mit zunächst geringem Ge-

¹⁶⁸Betz, Baumgart, Schweiberer 1990, 605-609

¹⁶⁹Baumgart, Betz, Schweiberer 1997, 135-143

¹⁷⁰Ilizarov 1992

¹⁷¹Baumgart, Zeiler, Kettler, Weiss, Schweiberer 1999, 1058-1065

¹⁷²Baumgart, Betz, Schweiberer 1997, 137

wicht belastet und mit der krankengymnastischen Übungsbehandlung begonnen werden.¹⁷³ Die Konsolidierungsphase dauert in der Regel zwei bis dreimal länger als die Verlängerungsphase. Nach der Distraction kann das Implantat bis zu zwei Jahre belassen werden und hat den Vorteil der Stabilisierung.¹⁷⁴ Auch für die Tibiaverlängerung existiert ein Distraktionsmarknagel.¹⁷⁵

Bei einer Weiterentwicklung, dem Teleskopaktuator, wurde der Marknagel in Hinsicht auf seine anatomische Krümmung und Festigkeit optimiert sowie weiter miniaturisiert. Zusätzlich wurde der Wirkungsgrad von Getriebe und Spindel verbessert. Die Steuerung der Antriebseinheit erfolgt nach dem oben beschriebenen Prinzip.¹⁷⁶

¹⁷³Baumgart, Betz, Zeiler, Kettler, Schweiberer 1996, 259-265

¹⁷⁴Baumgart, Zeiler, Kettler, Weiss, Schweiberer 1999, 1059-1060

¹⁷⁵Baumgart, Kettler, Zeiler, Mutschler 2000, 302-303

¹⁷⁶Betz 1998, 75 und Butsch 2000, 90-94

7 Alternative Methoden

War es anfangs, seit Beginn des 20. Jahrhunderts, die Beschäftigung mit allen denkbaren Möglichkeiten der Extremitätenverlängerung, die auch alternative Methoden erproben ließ, so waren es seit Ende der zwanziger Jahre des 20. Jahrhunderts die zahlreichen Komplikationen und Schädigungen, die bei den herkömmlichen Verfahren auftraten, die vermehrt nach alternativen Möglichkeiten forschen ließ.

Der größte Kritiker der Beinverlängerungsmethoden in dieser Zeit, der Chicagoer Arzt EDWARD LYON COMPERE, stellte fest, dass durch die Komplikationen, die aus den Versuchen resultierten, den Knochen zu verlängern, die Patienten „*stärker zum Krüppel gemacht wurden, als sie es zuvor waren.*“¹⁷⁷

7.1 Differenzausgleich durch Verkürzung

Als Alternative zur Extremitätenverlängerung wird auch die Möglichkeit eines Differenzausgleiches durch Verkürzung des längeren Beines gesehen. Es handelt sich meist um einen operativen Eingriff am gesunden Bein. Diese Maßnahme kann erfolgen, wenn die Wachstumsperiode abgeschlossen und der Patient mit einer Größenreduktion einverstanden ist. Verkürzungsoperationen sind eine Möglichkeit, Beinlängendifferenzen von bis zu 10 Zentimetern auszugleichen. Größere Beträge führen zu einem Weichteilüberschuss mit der Folge einer Muskelinsuffizienz durch Spannungsverlust und Knickung der Gefäße.¹⁷⁸

Als Erster führte 1847 FRANCESCO RIZZOLI (1809-1880), ein Bologneser Chirurg, einen Beinlängenausgleich durch Verkürzung des gesunden Femurs eines neunzehnjährigen Mädchens durch. Dies erfolgte zu einer Zeit, als eine Verlängerung mit Hilfe von externer Fixation noch nicht möglich erschien. RIZZOLI brach den Femurknochen von außen im Vertrauen auf nachfolgende Verschie-

¹⁷⁷Compere 1936, 693

¹⁷⁸Wagner 1972, 59-74

bung und Kallusbildung. Trotz angeblich gutem Erfolg wagte er jahrelang nicht, dies zu publizieren.¹⁷⁹

BERNHARD HEINE (1800-1846), Gründer der ersten orthopädischen Heilanstalt in Würzburg, erfand 1830 das „Osteotom“, ein einer Kettensäge ähnelndes Werkzeug zur subperiostalen Knochenresektion unter Schutz der Weichteile. Mit diesem Instrument konnten Trepanationen und Knochenresektionen mit großer Genauigkeit und unter Schonung des Periostes durchgeführt werden.¹⁸⁰

JOSEPH ANTON MAYER (1798-1860), Chefarzt der zweiten orthopädischen Heilanstalt in Würzburg, verwendete HEINES Osteotom ab 1836 nicht nur zur Resektion erkrankter Knochenabschnitte, sondern auch zur Verkürzung des längeren Röhrenknochens bei Beinlängendifferenz. Das Osteotom ermöglichte ihm eine gezielte Schnittführung. Auch Verkrümmungen von Röhrenknochen behandelte er, indem er mit Hilfe des Osteotoms Knochenkeile entfernte.¹⁸¹

Die Anwendung der Verkürzungsosteotomien ist, wegen des Verlusts an Körperlänge, meist auf größere Menschen beschränkt. Vor dem Eingriff sollte ausgeschlossen werden, dass es zu einer Störung der Körperproportionen mit ästhetischen Problemen kommt. Wichtig ist, dass nach dem Eingriff die Kniegelenke etwa auf gleicher Höhe sind, das heißt, dass bei einer Beinlängendifferenz durch eine Längendifferenz der Femora eine Verkürzungsosteotomie des längeren Femurs durchgeführt wird.

Nach dem Ort der Knochendurchtrennung wird zwischen metaphysären und diaphysären Verkürzungsosteotomien an Femur und Tibia unterschieden.

Vorteil der metaphysären Verkürzungsosteotomie ist die gute knöcherne Heilungsneigung. Bei der metaphysären Verkürzungsosteotomie des Femurs wird

¹⁷⁹Sournia, Poulet, Martiny 1978, 1706

¹⁸⁰Kauth 1984

¹⁸¹Hartnack 1975, 25-33

im Bereich der Femurmetaphyse ein Knochensegment entfernt.¹⁸² Um die entstehenden Hebelkräfte abzufangen, wird nach der Technik von MAURICE E. MÜLLER, einem Berner Chirurgen, mit einer AO-Rechtwinkelplatte stabilisiert.¹⁸³ Zur reinen Verkürzung des Femurs ohne Achsenkorrektur wird in der Regel die proximale metaphysäre Verkürzungsosteotomie durchgeführt. Eine Indikation zur distalen metaphysären Verkürzungsosteotomie ist besonders dann gegeben, wenn gleichzeitig mit der Verkürzung eine Achsenfehlstellung des distalen Femurs korrigiert werden soll.¹⁸⁴

Im Allgemeinen werden bei dem alleinigen Längenausgleich ohne Achsenkorrektur die diaphysären Verkürzungsosteotomien mit Marknagelosteosynthese wegen der Möglichkeit der frühzeitigen Belastung bevorzugt.¹⁸⁵ Auch die z-förmige Verkürzung mit nachfolgender Verschraubung ist möglich.¹⁸⁶ Suprakondyläre Verkürzungen des Femurs werden nur bei gleichzeitiger Achsenfehlstellung in diesem Bereich durchgeführt, da narbige Veränderungen zu einer Bewegungseinschränkung des Kniegelenks führen können.¹⁸⁷

Verkürzungsosteotomien am Unterschenkel neigen, im Gegensatz zu Verkürzungsosteotomien am Oberschenkel, dazu, langsamer und schlechter zu verheilen. Kurze Unterschenkel tragen stärker zum Eindruck einer Störung der Gliedmaßenproportionen bei als um den gleichen Betrag verkürzte Oberschenkel. Die Kniescheiben erscheinen nach unten verlagert, und der Gang ist durch das tiefere Kniegelenksniveau kleinschrittiger.¹⁸⁸

Im Bereich der Tibiametaphyse wird eine AO-Rechtwinkelplatte zur Stabilisierung verwendet, im Diaphysenbereich erfolgt eine Stabilisierung mit einem Verriegelungsmarknagel oder einem Fixateur externe, da in diesem Bereich bei Fixation mit einer Platte die Gefahr von Wundheilungsstörungen groß ist.¹⁸⁹

¹⁸²Wagner 1972, 59-74

¹⁸³Müller, Allgöwer, Willenegger 1969, 266-267

¹⁸⁴Bauer, Kerschbaumer, Poisel 1994, 392

¹⁸⁵Wagner 1972, 59-74

¹⁸⁶Pfeil, Grill, Graf 1996, 89

¹⁸⁷Wagner 1972, 59-74

¹⁸⁸Wagner 1972, 62

¹⁸⁹Pfeil, Grill, Graf 1996, 90

Bei simultanen Verkürzungs- und Verlängerungsosteotomien wird aus dem längeren Femur subtrochantär oder diaphysär ein Knochenblock entnommen und nach der Osteotomie auf der kürzeren Seite als kortikospongiöses Interponat eingesetzt.¹⁹⁰ Der Vorteil dieser Methode ist, dass die resultierende Endgröße des Patienten nur um die Hälfte der ursprünglichen Verkürzung geringer ist. Die beidseitige simultane Markraumschienung oder Plattenosteosynthese stellt allerdings für den Patienten eine Belastung dar, da die postoperative Mobilisierung eingeschränkt ist. Das Infektionsrisiko ist verdoppelt. Des Weiteren besteht die Gefahr einer verzögerten Knochendurchbauung im Bereich des Interponats.¹⁹¹

7.2 Fremdmaterialimplantation in die Epiphysenfuge

Schon seit Mitte des 19. Jahrhunderts wurde nach Möglichkeiten zum Ausgleich von Beinlängendifferenzen durch Förderung von Knochenwachstum geforscht. Gemeinsames Grundprinzip all dieser Versuche war es, unter Imitation pathologischer Mechanismen, durch reaktive Hyperämie eine lokale Wachstumsstimulation zu erreichen. Die Ergebnisse waren bescheiden. Geringer Längengewinn und schlechte Steuerbarkeit begrenzten die klinische Anwendung.

BERNHARD RUDOLF CONRAD VON LANGENBECK (1810-1887) hielt am 16. Juni 1869 einen Vortrag vor der Berliner medizinischen Gesellschaft, welcher in der Berliner Klinischen Wochenschrift abgedruckt wurde. Er beschäftigte sich darin erstmals mit dem Thema der Extremitätenverlängerung und berichtete *„über krankhaftes Längenwachstum der Röhrenknochen und seine Verwertung für die chirurgische Praxis.“* Aus seinen Erfahrungen resümierte er, dass

„Krankheitsursachen, welche Reizung und Hyperämie des Knochengewebes veranlassen, so lange das Knochenwachstum dauert, eine Zunahme in

¹⁹⁰Witt 1963, 438-444

¹⁹¹Pfeil, Grill, Graf 1996, 89-90

der Länge wie in der Dicke des Knochens zur Folge haben.“

Weiter stellte er fest:

„Die Steigerung des Längenwachstums betrifft zunächst den erkrankten Knochen, kann indessen auch an einem nicht erkrankten Knochen der selben Extremität beobachtet werden. Der durch vorschnelles Wachstum verlängerte Knochen behält seine Dimension das ganze Leben über. Eine nachträgliche Längenabnahme durch Resorption findet nicht statt, auch wenn die Ursache derselben, die Knochenkrankheit seit langem aufgehört hatte.“

Daraus folgerte VON LANGENBECK:

„Es lag nahe, sich die Frage zu stellen, ob es nicht möglich sei, das Knochenwachstum künstlich anzuregen und Verkürzung der Extremitäten dadurch zu verhindern oder auszugleichen. Da die Erfahrung zeigte, dass der nekrotische Krankheitsprozess bei jugendlichen Individuen die am häufigsten beobachtete Ursache eines vorschnellen Längenwachstums des Knochen ist, und angenommen werden konnte, dass die durch den Sequester unterhaltene Reizung die Steigerung des Wachstums bedinge, so war zu erwarten, dass das Einlegen fremder Körper in die Knochen einen ähnliche Effekt haben werde.“

VON LANGENBECK legte einem acht Wochen alten Hund Elfenbeinzapfen in Femur und Tibia der linken Hinterläufe. Die Knochen wurden mit einem Bohrer ganz durchbohrt und danach vier Millimeter dicke und vier Zentimeter lange, an einem Ende zugespitzte Elfenbeinzapfen so durch das Bohrloch des Knochens gelegt, dass sie aus diesem mit beiden Enden etwa eineinhalb Zentimeter hervorragten. Die Hautwunden über ihnen wurden geschlossen und ein Verband angelegt. Ein Zapfen befand sich einen Querfinger breit unter dem Trochanter major des linken Femur, der zweite dicht unter der Tuberositas und ein dritter Zapfen lag oberhalb des Malleolus internus der linken Tibia. Zwei Monate später waren sämtliche Wunden geheilt, das Tier bereits gewachsen, und

es benutzte beide hinteren Extremitäten in gleicher Weise. Einen Monat später wurde das Versuchstier getötet. Der linke Oberschenkelknochen wie auch die linke Tibia waren um fünf Millimeter länger als die der rechten Extremität, so dass die Gesamtverlängerung der Extremität zehn Millimeter betrug. Auch hatten die linken Knochenepiphysen an Dicke zugenommen, während die Epiphysen an Durchmesser eher abgenommen hatten. Gleiches galt für die Gelenkköpfe.¹⁹²

BOHLMANN führte 1929, also etwa 50 Jahre später, ähnliche Versuche durch. Durch die Implantation von verschiedenen Materialien, wie zum Beispiel Eisen, Kupfer, Holz, Elfenbein und staphylokokkenhaltigen Seren in die distalen Femurepiphysenfugen von Guineaschweinen wollte H.R. BOHLMANN eine Extremitätenverlängerung erreichen. Es kam jedoch nicht zur Wachstumsstimulation, sondern, im Gegenteil, in einigen Fällen zur Verkürzung der so behandelten Extremität, so dass sich dieses Verfahren als untauglich erwies.¹⁹³

1952 implantierte CHARLES N. PEASE sieben Kindern Eisen- und Metallschrauben in die Epiphysenfugen. Er konnte so Wachstumsstimulationen zwischen 0,2 und 2,2 Zentimetern am Femur und zwischen 0 und 1,3 Zentimetern an der Tibia erreichen.¹⁹⁴

1956 veröffentlichten ERNEST B. CARPENTER und J.B. DALTON aus Richmond ihre Ergebnisse bei der Epiphysenfugenstimulation mit Hilfe von intramedullär in die proximale Tibia und das distale Femur eingepflanzten Elfenbeinchips. Sie führten diese Methode in 30 Fällen durch und beobachteten über eine Zeitspanne von mindestens 30 Monaten. Unter Röntgenbildkontrolle legten sie das distale Femurdrittel frei. Das Periost wurde längs eröffnet und etwa fünf Zentimeter lang inzidiert. Dann schnitten sie ein rechteckiges, etwa 2,5 * 1 Zentime-

¹⁹²v. Langenbeck 1869, 265-270

¹⁹³Bohlmann 1929, 365-384 und Anderson 1952, 150

¹⁹⁴Eldridge, Bell 1991, 625-631 und Pease 1952, 1

ter großes Fenster in die vordere Femurfläche. Der Inhalt der Markhöhle wurde entfernt und mit Elfenbeinchips ausgefüllt. Danach deckelten sie das Fenster wieder ab. Das gleiche Verfahren wurde an der proximalen Tibia durchgeführt. Anschließend wurde ein Gipsverband angelegt. Die Patienten durften mit Gehhilfen das Bein belasten.

In dreimonatigen Intervallen wurde zwei Jahre lang klinisch und röntgenologisch die Beinlänge gemessen. In 26 von 30 Fällen wurde eine minimale Längenzunahme erreicht, welche jedoch nicht ausreichend war, um die Prozedur zu rechtfertigen, auch wenn die Komplikationsrate gering war (zwei Femurfrakturen an der Seite der Fenestration).¹⁹⁵

7.3 Arthrodese des Calcaneo-Cruralgelenks

1925 beschrieb ABRASHANOW im Zentralblatt für Chirurgie eine Methode zur Verlängerung der unteren Extremität.

Er schlug vor, bei Beinlängenunterschieden von bis zu 14 Zentimetern eine Verlängerung nach der Methode von JOHANN VON MICKULICZ-RADECKI (1850-1905), einem Breslauer Arzt, durchzuführen. Die Extremität wurde dabei durch eine Teilresektion des Fußes verlängert, der dann als Fortsetzung des Unterschenkels diente. ABRASHANOW und seine Mitarbeiter modifizierten diese Methode, indem sie Talus und Kalkaneus in die Gelenkgabel des Schienbeins einpassten, ohne den Vorfuß zu resezieren.

Diese Methode ließ nicht nur einen Teil des Fußes, sondern den gesamten Fuß als Fortsetzung des Unterschenkels fungieren. Der Kranke ging allerdings nach dieser Operation auf den Zehen. Bei mehr als 14 Zentimetern Verkürzung war aber auch das Gehen auf den Zehen nicht mehr möglich.

Diese Operation hatte ABRASHANOW bei zwei Patienten durchgeführt. Er erreichte in beiden Fällen gleich lange Extremitäten, ohne dass es zu Komplikationen kam. Er stellte 1925 fest, dass „*ein Pes equinus mit Arthrodese des Calcaneo-*

¹⁹⁵Carpenter, Dalton 1956, 1084-1089

Cruralgelenkes“ genügend Standfestigkeit habe.¹⁹⁶ Über eine weitere klinische Anwendung dieser Methode wurde nicht berichtet.

7.4 Epiphyseodese

1933 schlug der Chirurg DALLAS BURTON PHEMISTER (1882-1951) aus Chicago eine weitere alternative Methode zum Beinlängenausgleich, die sogenannte Epiphyseodese, vor.

Darunter versteht man die Blockierung der Epiphysenfuge, zum Beispiel an Femur oder Tibia, zur Bremsung des Längenwachstums, zum Längenausgleich beim wachsenden Skelett oder zur Korrektur einer Achsenfehlstellung der Beine. Nach dem Nomogramm von MOSELEY kann der günstigste Operationszeitpunkt vor Wachstumsabschluss graphisch bestimmt werden.¹⁹⁷

PHEMISTER führte eine permanente Epiphyseodese ein, die auch heute noch angewandt wird.¹⁹⁸ Zunächst werden aus dem Bereich der Epiphysenfuge seitlich zwei Knochenblöcke mit Meißeln entfernt. Dann wird die Epiphysenfuge mit einem Bohrer in verschiedenen Richtungen angebohrt und anschließend mit einem scharfen Löffel kürettiert. Die entnommenen Knochenblöcke werden um 180° gedreht und an ihrer ursprünglichen Stelle wieder eingesetzt. So entsteht eine knöcherne Verspannung der Wachstumsfuge.¹⁹⁹

Eine weitere Form der permanenten Epiphyseodese schlug CANALE 1986 vor. Dabei wird die Epiphysenfuge unter Bildwandlersicht in perkutaner Technik von der Eintrittsstelle aus in alle Richtungen angefräst und anschließend mit einem scharfen Löffel ausgekratzt. Dies erfolgt jeweils medial und lateral in analoger Weise.²⁰⁰

¹⁹⁶Abrashanow 1925, 462

¹⁹⁷Moseley 1978, 33-40

¹⁹⁸Phemister 1933, 1-15

¹⁹⁹Pfeil, Grill, Graf 1996, 83

²⁰⁰Canale, Russell, Holcomb 1986, 150

Auch die 1949 von WALTER PUTNAM BLOUNT aus Milwaukee vorgestellte Methode der temporären Epiphyseodese stellt hohe Anforderungen an die präoperative Diagnostik im Hinblick auf die Festsetzung des Operationstermins.²⁰¹

Es werden winkelverstärkte Klammern in drei verschiedenen Größen für die temporäre Epiphyseodese verwendet. Diese Metallklammern, welche die Epiphysenfugen übergreifen, werden lateral und medial senkrecht eingebracht, um das Wachstum zu stoppen. Um einen vorzeitigen Verschluss der Epiphysenfuge zu vermeiden, sollte eine axiale Elastizität trotz fester Klammerung erhalten bleiben. Mit dieser Methode können sowohl lineare, als auch Winkeldeformitäten (Genu varum, Genu valgum) behandelt werden.

BLOUNT führte die Epiphysenfugenklammerung an 13 Patienten durch, davon sieben Längskorrekturen und sechs Winkelkorrekturen (einseitige Klammerung) und erzielte gute Ergebnisse.²⁰²

7.5 Arterio-venöse Fisteln

Anfang der fünfziger Jahre erstellten JOSEPH M. JANES und JAMES E. MUSGROVE, welche in der Mayo-Klinik (USA) tätig waren, chirurgisch arterio-venöse Fisteln zwischen iliakalen Gefäßen junger Hunde und konnten so einen leichten Wachstumsanstieg erreichen.²⁰³

Einen Wachstumsanstieg von ein bis drei Zentimetern konnte 1957 T. HIERTONN bei fünf Kindern im Alter von fünf bis zwölf Jahren durch Anastomosenbildung zwischen Arteria und Vena femoralis und drei Wochen später erfolgende Ligatur der Vene proximal der Fistel erreichen.²⁰⁴ Eine genaue Planung der auszugleichenden Länge konnte mit diesem Verfahren nicht erfolgen, so dass sich auch diese Methode nicht durchsetzte.

²⁰¹Blount 1949, 464-477

²⁰²Reichelt, Mohtashami 1972, 40-45

²⁰³Janes, Musgrove 1949, 405 und Janes, Musgrove 1950, 1191

²⁰⁴Hiertonn 1957, 322

Im Jahre 1974 wurde eine Studie zu dieser Methode von W. PETTY et al. veröffentlicht. Von 1959 bis 1969 hatten sie an 28 Patienten mit Beinlängendifferenzen unterschiedlichster Ursache arterio-venöse Fisteln erstellt. Das Alter der Patienten betrug 6,75 bis 11,75 Jahre. Sie legten die Femoralarterie und -vene am Oberschenkel frei und bildeten zwischen diesen etwa 1,5 Zentimeter lange Fisteln. Bei Erreichen des gewünschten Längenausgleiches wurde die Fistel wieder geschlossen. Jeder so behandelte Patient wurde alle sechs Monate kontrolliert. An 17 der 28 Patienten wurden zusätzlich kontralaterale Epiphyseodesen durchgeführt. In insgesamt neun der 28 Fälle konnte die Beinlängendifferenz um mehr als einen Zentimeter verringert werden. In 21 Fällen kam es zu keinem weiteren Anstieg der Diskrepanz und nur bei neun Patienten war letztlich der Beinlängenunterschied weniger als ein Zentimeter.

Insgesamt waren systemische und lokale Komplikationen hoch. Besonders auffällig waren Veränderungen an Herz und Kreislauf. Die periphere Durchblutung der betroffenen Extremität war in vielen Fällen vermindert, Pulse nicht mehr tastbar.

Petty konnte seine Methode wegen der zu hohen Komplikationsrate nicht weiterempfehlen.²⁰⁵

7.6 Periostales Stripping

Das periostale Stripping ist eine Methode zum Beinlängenausgleich durch Wachstumshemmung. Daher kann es nur in der Wachstumsphase angewandt werden.

In den siebziger Jahren beschrieben H.R. JENKINS²⁰⁶, von der Universität Wales, und K.P. CHAN und A.R. HODGSON²⁰⁷, von der Universität Hongkong, die Methode des periostalen Stripping.

²⁰⁵Petty 1974, 581-586

²⁰⁶Jenkins, Cheng, Hodgson 1975, 482-484

²⁰⁷Chan, Hodgson 1970, 55-62

Sie besteht vereinfacht in der Freilegung des zentralen Teiles der Diaphyse eines Röhrenknochens und dem Abtrennen des Periostes bis zu den Metaphysen an beiden Enden. So wird die periostale Blutzufuhr des äußeren Kortexdrittels des noch wachstumsfähigen Knochens zerstört und somit das Wachstum eingeschränkt.

Diese Methode wurde an 30 Patienten mit Poliomyelitis in einer fünfjährigen Studie erprobt. Eine superfizielle Wundinfektion war die einzige auftretende Komplikation. Dennoch waren die Ergebnisse nicht im Voraus bestimmbar und die Autoren empfahlen eine Anwendung dieser Methode zur Korrektur von nur geringen Längendifferenzen.

7.7 Transiliakale Verlängerung

Die in den Jahren 1972 bis 1990 von M.B. MILLIS durchgeführte transiliakale Verlängerungsosteotomie ist eine modifizierte Salter-Osteotomie. Die ursprüngliche Methode nach ROBERT BRUCE SALTER wurde nicht zur Beinlängeningkorrektur verwendet. Anstelle der dreieckigen Transplantate, welche SALTER, der in Toronto tätig war, verwendete, wurden trapezförmige Transplantate in das Becken eingesetzt. So konnten bis zu etwa drei Zentimeter intrapelvin, also indirekt, verlängert werden.

Prinzipiell konnte diese Methode bei jeder Form von Beckenschiefstand angewandt werden, wenn eine Gangstörung ein tolerables Ausmaß überschreitet, und auch eine Schuhzurichtung nicht toleriert wird.

M.B. MILLIS et al. behandelten von 1972 bis 1988 105 Patienten mit dieser Methode. Diese waren zwischen 5 und 33 Jahre alt. Nachuntersucht wurde 2 bis 17 Jahre lang. Operationsindikation war in 38 Fällen eine reine Beinlängendifferenz, in sieben Fällen intrapelviner Beckenschiefstand, in 26 Fällen dekompenzierte Skoliosen, bei 34 Patienten Hüft dysplasie und ipsilaterale Beinverkürzung. Durchschnittlich wurde eine effektive Transplantathöhe von 2,6 Zen-

timetern erreicht. In einem Fall trat eine Verschlechterung einer bereits präoperativ vorhandenen Koxarthrose auf. In drei Fällen kam es zur Sinterung des Transplantates und damit zum Korrekturverlust. Bei vier Patienten entstanden Brüche von insgesamt sechs Steinmann-Nägeln. Vier Patienten entwickelten Wundinfektionen, welche ohne Korrekturverlust ausheilten und zwei hatten eine Subluxation des Sakroiliakalgelenkes. In sechs Fällen kam es zu vorübergehenden Dysästhesien im Bereich des Nervus cutaneus femoris lateralis. Bei einem trat sogar eine Meralgia paraesthetica nocturna auf. Bei zwei Patienten traten vorübergehend Neurapraxien auf und ein anderer erlitt eine akute Parese des Nervus ischiadicus während einer Hüftextension. Die Nervenläsionen heilten alle wieder aus.²⁰⁸

7.8 Kurzwellen-Diathermie

Die Verwendung von Kurzwellen-Diathermie wurde erstmals 1959 in San Francisco von V. RICHARDS und R. STOFER²⁰⁹, dann im Jahre 1963 von J. R. DOYLE²¹⁰ beschrieben.

Als Ursache eines Wachstumsanstieges im Epiphysenfugenbereich wählte DOYLE eine durch Wärme erzeugte lokale oder diffuse Hyperämie, ähnlich wie sie auch bei einer arterio-venösen Fistel, einem diffusen Hämangiom, Osteomyelitis oder der Fraktur eines Röhrenknochenschaftes entsteht.

Er operierte 20 Ratten Elektroden auf die Knochenoberfläche oberhalb der Wachstumsfuge des rechten hinteren Femurs und brachte zusätzlich einen Thermistor, einen Temperaturmesser, chirurgisch an der Oberfläche des distalen Femur jedes Tieres an. Mit Hilfe dieses Thermistors konnte er die Temperatur von 40 Grad Celsius konstant halten (schon 42 Grad Celsius führten zu Verbrennungen und Ödemen). Er wählte eine etwa gleich große Gruppe Ratten als Kontrollgruppe.

²⁰⁸Millis, Ahear, Hall 1990, 283-291

²⁰⁹Richards, Stofer 1959, 84

²¹⁰Doyle 1963, 15-24

In allen Fällen war in der Nachuntersuchung das behandelte rechte Hinterbein länger als das Unbehandelte. Der Längenzuwachs lag zwischen 0,4 und 2,8 Millimetern, im Durchschnitt bei 1,4 Millimetern.

Eine vorherige Planung oder Berechnung eines zu erzielenden Längenzuwachses war mit dieser Methode, wie auch bei vielen anderen beschriebenen alternativen Methoden, nicht möglich.²¹¹

7.9 Lumbale Sympathektomie

R. I. HARRIS und J. L. MC'DONALD, aus Toronto/Kanada, hatten 1936 an 12 Hunden linksseitige Sympathektomien durchgeführt und stellten weder Blutzirkulations- noch Wachstumszunahme der betroffenen Extremitäten fest.²¹² Ähnliche Erfahrungen hatte 1930 bis 1931 BISGARD an Albinoratten, Ziegen und Hasen gemacht.²¹³

JOSEPH SEATON BARR (1901-1964) veröffentlichte 1950 eine Studie zu diesem Thema. Er hatte festgestellt, dass bei Poliomyelitis die Blutzirkulation an der verkürzten Extremität vermindert ist und aufgrund dessen angenommen, dass ein Durchblutungsanstieg einen wachstumsstimulierenden Reiz darstellt. Eine Unterbrechung des sympathischen Nervensystems im Bereich der unteren Extremität würde somit den Blutzustrom steigern.

BARR operierte 23 Kinder, indem er die lumbalen Ganglien vom ersten bis zum dritten Segment, einschließlich ihrer Verbindungsäste, entfernte. Die Kinder waren zwischen neun Monaten und acht Jahren alt. Gleichzeitig wählte BARR eine etwa gleichaltrige Kontrollgruppe, welche nicht operiert wurde. Nur bei neun operierten Patienten konnte er eine Differenzabnahme feststellen (ebenso bei zwei Patienten der Kontrollgruppe), also bei weniger als der Hälfte der operierten Patienten. Von 23 sympathektomierten Patienten hatten nach der Be-

²¹¹Doyle 1963, 15-24

²¹²Harris, Mc Donald 1936, 35-45 und Harris 1930, 859-866

²¹³Bisgard 1931, 229

handlung noch 17 mehr als zwei Zentimeter Beinlängendifferenz (Indikation für einen operativen Ausgleich), in der Kontrollgruppe war dies in 18 Fällen zu beobachten.²¹⁴ Diese Ergebnisse waren also letztendlich unbefriedigend, so dass sich die Methode nicht durchsetzte.

²¹⁴Barr 1950, 793-802 und Barr, Ober 1932, 674-678

8 Diskussion

Bis zur zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gab es keine spezielle Methode zur Extremitätenverlängerung. Direkter Zug am Knochen wurde lediglich im Bereich der Frakturbehandlung angewandt.

Der erste Bericht über eine Extremitätenverlängerung wurde im Jahre 1869 veröffentlicht. B. VON LANGENBECK stellte seine Ergebnisse, die er mit einer Fremdmaterialimplantation in eine Versuchstierepiphysenfuge erzielt hatte, dar. Er distanzierte sich aber auf Grund schlechter Ergebnisse wieder von diesem Thema.²¹⁵

Ausgangspunkt für die moderne Verlängerungsbehandlung war das Verfahren der Distraction mit dem Fersen-Nagelzug- Gipsverband nach A. CODIVILLA von 1905. Dieses Verfahren mutet – für heutige Vorstellungen – wie eine Foltermethode an, und die Schäden der so behandelten Patienten waren meist größer als die Beeinträchtigung durch die Beinverkürzung. Dennoch war diese Methode die Basis für weitere Entwicklungen und weckte ein großes Interesse. Es fehlte CODIVILLA an einem Distraktionsgerät, mit welchem ausreichende Stabilität der Fragmente hätte hergestellt werden können. Auch die Wirkung auf den Knochen und das Weichteilgewebe war noch nicht erforscht. Das ruckartige Ziehen mit Gewichten verhinderte die Knochenneubildung.²¹⁶

In den folgenden Jahren richtete sich das Interesse zunächst auf die Entwicklung eines stabilen und gleichzeitig flexiblen Gerätes mit optimaler Steuerbarkeit. F. STEINMANN setzte 1907 zur Frakturbehandlung den Ansatzpunkt für die Zugkraft in Form eines Steinmann-Nagels direkt an den Ort, wo der Zug angreifen sollte.²¹⁷ M. KIRSCHNER wählte 1909 zwei Kraftansatzpunkte in Form von zwei Nägeln am betroffenen Knochen, je einen pro Fragment. So konnte

²¹⁵von Langenbeck 1869, 265-270

²¹⁶Codivilla 1905, 353

²¹⁷Peltier 1994, 4-9

eine bessere Kontrolle der Fragmente erreicht werden.²¹⁸

V. PUTTI konstruierte Anfang der zwanziger Jahre einen externen Fixateur, das Osteoton, zur Distraction, der zwei Pins, je einen pro Fragment, unilateral verband. Es war ein für die damalige Zeit sehr fortschrittliches Distractionsgerät. Das Teleskoprohr ermöglichte ein kontrolliertes Auseinandergleiten der transfixierenden Nägel. Weiterhin war die Verwendung einer Feder zur dosierteren Kraftübertragung, im Gegensatz zum bis dahin üblichen, weniger steuerbaren, Zug durch Gewichte, ein großer Schritt in Richtung kontinuierliche Distraction. Der Nachteil des Osteotons, der dazu führte, dass PUTTI sich davon abwandte und sich der Gewichtsextension wieder zuwandte, war die Verbiegungstendenz der Knochenfragmente. Das Osteoton bot nicht genügend Stabilität und der unilaterale Kraftangriff führte zu Achsenabweichungen der Fragmente. PUTTI vollzog zwar einen Rückschritt, als er sich wieder der Distraction mit Gewichten zuwandte, dennoch war er der Erste, der schonendere Kirschner-Drähte statt Nägel zum Angriff am Knochen bei der Verlängerungsbehandlung verwendete.²¹⁹ Zu dieser Zeit gelang es noch nicht, eine Synthese aus den Erkenntnissen PUTTIS herzustellen.

Etwa zeitgleich erforschte in Deutschland A. BIER die Bedeutung des Blutergusses für die Kallusentstehung und war der Erste, der nicht sofort distrahierete, sondern zunächst 5 Tage wartete, bis ausreichend Frakturhämatom vorhanden war. Allerdings fehlte es BIER in Deutschland an einem Gerät zur kontinuierlichen Distraction, welches es in Italien bereits gab (PUTTIS Osteoton). Er verwendete daher noch Gewichte zur Extremitätenverlängerung.²²⁰ Dies zeigt, wie unzureichend der wissenschaftliche Austausch vor dem Zweiten Weltkrieg war. Erst über zwanzig Jahre nach Beginn der Forschungen BIERs zur Biologie der Kallusentstehung, im Jahre 1929, entstand auch in Deutschland ein Ge-

²¹⁸Kirschner 1909, 563-564

²¹⁹Putti 1921, 934-935 und 1934, 318-321

²²⁰Bier 1905, 6-7 und 1923, 1-136

rät zur kontrollierten Distraction, hergestellt von R. KLAPP und W. BLOCK. KLAPP verwendete als erster Chirurg Drahtzüge zur Frakturfixierung und setzte sie später auch zur Verlängerungsbehandlung ein.²²¹ Nicht zu belegen ist, ob KLAPP wusste, dass, etwa zur gleichen Zeit, PUTTI in Italien Kirschner-Drähte zur Extremitätenverlängerung verwendete.

Einen Aufschwung erlebte die Verlängerungsbehandlung Mitte der zwanziger Jahre in Amerika. L.C. ABBOTT las die Veröffentlichung PUTTIS im „*Journal of the American Medical Association*“ und modifizierte das Osteoton, indem er „zwei Osteotone“ miteinander verband. Mit diesem ersten Rahmenfixateur zur Extremitätenverlängerung hoffte er, die Achsenabweichung, in Form einer Seitwärtsbiegung des Knochens, die bei PUTTIS Osteoton auftrat, bekämpft zu haben. Dies gelang jedoch nicht ganz, da weiterhin eine Tendenz zur Antekurvationsstellung des Knochens gegeben war.²²² Dennoch galt der Abbott-Distraktor viele Jahre als der fortschrittlichste Apparat zur Distraction. Es gab zahlreiche Versuche der Achsenabweichung, dem Hauptproblem dieser Zeit, beizukommen. Dies erfolgte, unter anderem, durch das Hinzufügen zusätzlicher Nägel, je zwei über und zwei unter der Osteotomiestelle oder das Hinzufügen exzentrischer Nägel. Der „Durchbruch“ im Bereich Stabilität der Fragmente ließ jedoch auf sich warten. Die Einführung von Kirschner-Drähten anstelle der bis dahin eingesetzten Steinmann-Nägel, sowie die Durchführung einer das Periost schonenden Osteotomie, ging in den USA weitgehend unter.

Der 1944 von R. WITTMOSER in Innsbruck konstruierte erste Ringfixateur zur Unterschenkelverlängerung hätte, aufgrund seines Aufbaus, der dem des Ilizarov-Ringfixateurs stark ähnelte, viele mechanischen Probleme lösen können. Sein dreidimensionaler Aufbau bot ein hohes Maß an Stabilität und Flexibilität.²²³ Leider hat WITTMOSER nicht auch die Arbeiten BIERS aus dem Jahre 1905

²²¹Klapp, Block 1930, 53-55 und 260-263

²²²Abbott 1927, 128-152

²²³Wittmoser 1953, 229-231

über die Knochenneubildung bei der Distraction bei seinen Überlegungen berücksichtigt, sonst wäre seine Entwicklung ein großer Fortschritt in der Verlängerungsbehandlung gewesen.

Erst der Umstand, dass infolge des Zweiten Weltkrieges in allen betroffenen Ländern bei einer großen Zahl an Kriegsverletzten Knochenverletzungen zu versorgen waren, bei denen Frakturfixierungen und Extremitätenverlängerungen notwendig waren, hat den Erfahrungsaustausch der Forscher in aller Welt in Gang gebracht.

F. G. ALLAN modifizierte Anfang der fünfziger Jahre in den USA den Rahmen-distraktor ABBOTTS und verwendete die weniger traumatisierenden Kirschner-Drähte. Er platzierte je zwei Drähte pro Fragment, um mehr Stabilität zu erreichen. ALLAN führte die Schraubendistraktion ein, die, im Gegensatz zur Kraftübertragung mit einer Feder, die Distraction feiner kontrollieren und regulieren ließ. Dennoch blieb aufgrund der Planarität des Rahmenfixateurs die Achsenproblematik bestehen.²²⁴

Den Versuch, die Biegungstendenz zu verhindern, machten F. C. BOST und L. J. LARSEN 1956, indem sie, unter Verwendung des Abbott-Distraktors, über einen intramedullären Kraftträger distrahierten. Dies erbrachte zwar Biegestabilität, aber die Überbrückung des Knochendefektes war unzureichend, so dass dieses Verfahren sich nicht weiterentwickelte. Sie erklärten dies mit der Zerstörung der intramedullären Gefäße.²²⁵

Zu dieser Zeit waren die nötigen Kenntnisse über die Distractionsosteogenese noch nicht vorhanden. Erst Jahre später zeigten Wissenschaftler, dass ein weitgehend intaktes Periost in der Lage ist, trotz eines intramedullären Nagels, ausreichend Kallus zu bilden.²²⁶

²²⁴Allan 1951, 218-22

²²⁵Bost, Larsen 1956, 567-584

²²⁶Brunner, Kessler, Cordey, Rahn, Schweiberer, Perren 1990, 244-250

Der monolaterale Distraktionsapparat H. WAGNERS und die Wagner-Methode waren seit Anfang der sechziger Jahre, viele Jahre lang, sowohl in Europa als auch in Nordamerika der Standard in der Extremitätenverlängerung. Der Wagner-Distraktor war jedoch, aufgrund der Monolateralität und der damit verbundenen Neigung der Fragmente zu Achsenabweichung, ein rigides System, was der Kallusbildung nach den Forschungsergebnissen BIERS von 1905 und später ILIZAROVs, nicht zuträglich war. Auch die von WAGNER durchgeführte transperiostale und transmedulläre quere Osteotomie in Schaftmitte und die tägliche Distraction von 1,5 bis zwei Millimeter begünstigten die Knochenneubildung nicht. Die knöcherne Defektüberbrückung war unzureichend, so dass mehrere Operationen (Plattenosteosynthese, autogene Knochentransplantate) notwendig waren. Ein großer Fortschritt waren die unkompliziertere Operation, der größere Patientenkomfort und der geringere Pflegeaufwand aufgrund der Monolateralität des Distraktionsapparats. Der Patient war bald nach der Operation mobil und hatte weniger narbige Weichteilveränderungen.²²⁷ Zu diesem Zeitpunkt, als zwar Geräte mit ausreichend Stabilität und Flexibilität sowie der Möglichkeit zur langsamen, kontrollierten Distraction vorhanden waren, fehlte es noch an umfassenden Kenntnissen in Bezug auf die Entstehung von Knochenkallus.

Erst Anfang der siebziger Jahre, aufgrund der Öffnung des Ostens, wurde dieses Wissen in Form der Forschungsergebnisse G.A. ILIZAROVs in die westliche Welt eingeführt. Man kann ILIZAROV nicht eigentlich als „den“ Pionier der Extremitätenverlängerung bezeichnen, denn die Kenntnisse über die Biologie der Extremitätenverlängerung sind nicht alleine ILIZAROV zuzuschreiben. Wie bereits beschrieben, beschäftigte sich A. BIER schon zuvor mit diesem Thema. Auch J. WOLFF hatte 1892 die Knochenneubildung unter der Einwirkung von

²²⁷Wagner 1971, 173 und 1972, 59-74

Druck- und Zugkraft beschrieben.²²⁸

ILIZAROV führte die Anwendung der Kortikotomie zur schonenden Knochendurchtrennung ein und führte das Verfahren der Kallusdistraktion zur klinischen Reife.

Auch ILIZAROVs Ringfixateur stellt keine wirkliche Neuentwicklung dar, denn G. MONTICELLI und R. SPINELLI, I. WASSERSTEIN und ILIZAROVs Landsmann OVANES VARDANOVICH OGANESIAN²²⁹ bauten etwa zur gleichen Zeit ebenfalls Ringfixateure. Der seit 1944 von WITTMOSER eingesetzte Fixateur ist mit dem Ringfixateur ILIZAROVs fast identisch.

Dennoch gelang es ILIZAROV, „Einzelportionen“ an Wissen zu einem Gesamtbild zusammenzufügen, und um wichtige eigene Erkenntnisse zu bereichern. ILIZAROVs große Leistung lag darin, dass er mit seinem Lebenswerk mehr Klarheit, Planbarkeit und daher bessere Ergebnisse bei der Extremitätenverlängerung ermöglichte. Alle späteren Verfahren bauen auf ILIZAROVs Prinzipien auf. Den Nachteil des dreidimensionalen Fixateurs, sein großes Volumen, welches vor allem im Oberschenkelbereich und in Gelenknähe von Patienten als unkomfortabel empfunden wird, hat man dabei in Kauf genommen. Auch das hohe Infektionsrisiko durch die perforierenden Drähte und die schmerzhaften und zu Narben führenden Weichteilverziehungen sind ungünstig.

Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse von ILIZAROV konstruierten daher G. DE BASTIANI und seine Mitarbeiter in den siebziger Jahren in Italien einen monolateralen Fixateur, ähnlich dem WAGNERS, allerdings dynamisierbar, flexibler und mit der Möglichkeit von Achsenkorrekturen. Im Gegensatz zu ILIZAROV begann DE BASTIANI jedoch erst 14 Tage nach der Kortikotomie mit der Kallusdistraktion (hierfür schuf er den Begriff Kallotasis).²³⁰ Er führte die langsame Epiphysenfugendistraktion (Chondrodiatasis) ein. Auch ILIZAROV hatte die Epiphysenfugendistraktion erforscht, empfahl sie aber, aufgrund der Zer-

²²⁸Wolff 1892

²²⁹Oganesian, Istomina 1991, 42-50

²³⁰De Bastiani, Aldegheri, Renzi-Brivio, Trivella 1989, 235-272

störung der Wachstumsfuge, erst kurz vor Abschluss der Wachstumsperiode anzuwenden. DE BASTIANI verlangsamt bei der Chondrodiatasis die Distractionsgeschwindigkeit mit dem Ziel, die Wachstumsfuge nicht zu beeinträchtigen.

DE BASTIANI wollte den Tragekomfort eines monolateralen Fixateurs mit den bewährten mechanischen Eigenschaften eines Ringfixateurs kombinieren. Der monolaterale Fixateur DE BASTIANIS ist dynamisierbar gestaltet, um axiale Mikrobewegungen zuzulassen, welche die Kallusbildung fördern. Nachteil der monolateralen Verlängerungsapparate ist, dass komplexe Achsenabweichungen während der Distraction häufig nicht ausgeglichen werden können.²³¹

Das kombinierte Verfahren, die Verlängerung über einen intramedullären Kraftträger mit einem externen Distractionsmittel, wie sie 1956 von F.C. BOST und L.J. LARSEN²³² und später von I. WASSERSTEIN²³³ durchgeführt wurde, gewann zunehmend an Bedeutung. Diese Methode sichert, aufgrund der zentralen Lage des Nagels, die Position der Fragmente. Auch ist es möglich, nach der Distraction den unkomfortablen externen Fixateur, nach statischer Verriegelung des Marknagels, zu entfernen. Aufgrund des dann stabilen Markraumimplantats kann die Belastung wesentlich früher erfolgen. Der Patient kann dann ohne den externen Fixateur mobilisiert werden. Dies führt, durch die kürzere externe Fixationsphase, zu mehr Zufriedenheit und Compliance bei den Patienten und zu einem reduzierten Infektionsrisiko, welches mit der Dauer der Tragezeit des externen Fixateurs ansteigt.

PALEY wies nach, dass der Bewegungsumfang der Gelenke sich schneller nach dem operativen Eingriff verbessert, wenn der Vorteil der kürzeren externen Fixationsphase bei der Distraction über einen Marknagel genutzt wird.²³⁴

In verschiedenen Forschungsarbeiten wurde festgestellt, dass, bei Schonung

²³¹Pfeil 1998, 60

²³²Bost, Larsen 1956, 567-584

²³³Wasserstein 1990, 150-153

²³⁴Paley 1993, 398

des Periostes, und soweit möglich, auch Schonung der Markraumgefäße, der intramedulläre Kraftträger die Distraktionsosteogenese nicht beeinträchtigt.²³⁵ Allerdings dauert bei der Anwendung des kombinierten Verfahrens die Operation länger und ist technisch anspruchsvoller, da die Schrauben und Drähte des externen Fixateurs, aufgrund der Gefahr der Entstehung einer Markrauminfektion, keinen Kontakt mit dem Markraum haben dürfen.

Seit den siebziger Jahren ging die Entwicklung zusätzlich in Richtung interner Kraftträger. Vorteil dieser Methode ist die Ausnutzung des zentralen Kraftansatzpunktes, der unter energieökonomischen Gesichtspunkten günstiger als die externe Krafteinleitung ist, da keine Biegemomente auftreten. Lösungsansätze wurden in den siebziger Jahren von J. GÖTZ und W. D. SCHELLMANN²³⁶ sowie F. BAUMANN und J. HARMS²³⁷ entwickelt. Die Systeme bedurften jedoch noch einer Verbindung nach außen, was ein hohes Infektionsrisiko mit sich brachte. Auch D. SCHÖLLNER setzte einen internen Distraktor mit Verbindung nach außen ein.

Ein erster, vollständig implantierbarer, motorisierter Distraktor, der an der Knochenoberfläche befestigt wurde, wurde ebenfalls in den siebziger Jahren, von A. N. WITT und M. JÄGER²³⁸ in München entwickelt. Die großen Abmessungen des Implantates ließen jedoch von einem weiteren Einsatz absehen.

Diese Entwicklungen auf dem Gebiet interner Verfahren waren Vorläufer der heute gebräuchlichen Systeme. Ende der achtziger Jahre wurden erstmals vollständig implantierbare Marknagelsysteme hergestellt, die einen hohen Grad an Patientenkomfort aufweisen, da kein unbequemes Metallgestell getragen wer-

²³⁵Baumann, Harms 1977, 139-146 und Brunner, Kessler, Cordey, Rahn, Schweiberer, Perren 1990, 244-250

²³⁶Götz, Schellmann 1975, 305-310

²³⁷Baumann, Harms 1977, 139-146

²³⁸Witt, Jäger 1978, 291-296

den muss und der Patient sich dadurch freier bewegen kann. Es besteht, da keine Draht- oder Pineintrittsstellen vorhanden sind, keine Verbindung vom Markraumimplantat nach außen, so dass das Infektionsrisiko deutlich reduziert ist.

Der Albizzia-Nagel von J. M. GUICHET ist einfach zu handhaben. Er hat allerdings den Nachteil, dass die Distraction durch Betätigung eines Ratschenmechanismus, die der Patient oder ein Helfer durchführt, schmerzhaft ist und mehrmals am Tag erfolgen muss.²³⁹

Ein ähnliches, vollständig implantierbares System mit Ratschenmechanismus, wurde Anfang der achtziger Jahre von A.I. BLISKUNOV in der Ukraine entwickelt. Auch dieses weist konstruktionsbedingt den Nachteil auf, dass die Distraction Schmerzen verursacht.²⁴⁰

Im Gegensatz zu dem mechanischen Antrieb basiert der moderne, voll implantierbare Distractionmarknagel von R. BAUMGART und A. BETZ²⁴¹ auf einem elektronisch gesteuerten Antrieb. Dies bietet den Vorteil, dass die Distraction nachts im Schlaf, bei relaxierter Muskulatur, erfolgen kann und daher kaum Beschwerden bereitet. Das Implantat ändert nicht seine Länge, sondern die Lage im Knochen. Dies hat den Vorteil, dass die Steifigkeit unverändert bleibt. Günstig ist auch die Programmierbarkeit des Senders. So kann eine beinahe kontinuierliche Verlängerung erreicht werden, was sich nach den Versuchen ILIZAROVs günstig auf die Knochenneubildung auswirkt.²⁴² Das Infektionsrisiko ist minimal, vergleichbar mit dem der geschlossenen Marknagelung bei Frakturen mit fehlendem Weichteilschaden. Bei der Nagelimplantation können simul-

²³⁹Guichet, Casar 1997, 281-290

²⁴⁰Bliskunov 1983, 59-62

²⁴¹Betz, Baumgart, Schweiberer 1990, 605-609 und Baumgart, Zeiler, Kettler, Weiss, Schweiberer 1999, 1058-1065

²⁴²Ilizarov 1992

tan Achsenkorrekturen durchgeführt werden. Der Patient hat weniger Schmerzen, da die Weichteildurchschneidung externer Distractionssysteme entfällt. Es entstehen keine unschönen Narben durch Zug von Drähten oder Nägeln an den Weichteilen. Durch die Möglichkeit einer minimal invasiven Operation bleiben lediglich kleine Narben zurück. Das Bein ist frühzeitig teilbelastbar, Physiotherapie kann durchgeführt werden und der Pflegeaufwand ist gering, da keine externen Bauteile vorhanden sind.²⁴³ Der Patient kann normale Kleidung tragen.

Der elektronische Distractionsmarknagel ist einsetzbar, wenn der Querschnitt des Knochens die Implantation zulässt und keine Osteomyelitis vorliegt. Die Komplexität des elektronischen Distractionsmarknagels bringt ein höheres Risiko technischer Probleme mit sich. Dennoch überwiegen die Vorteile des Systems. Die hohen Kosten für das Implantat werden durch die geringere Komplikationsrate und die verminderte Zahl der operativen Eingriffe kompensiert. Die stationäre Verweildauer ist kurz, was sowohl psychosozial als auch ökonomisch vorteilhaft ist. Implantatwechsel – nicht zuletzt auf Drängen der Patienten aufgrund des Misskomforts – sind nicht nötig. Die voll implantierten Systeme verbleiben nach der Distraction zur Stabilisierung bis zur vollständigen knöchernen Durchbauung des Regenerates .

Die 1997 veröffentlichte technische Weiterentwicklung des Distractionsmarknagels von A. BETZ und M. BUTSCH erfolgte mit dem Ziel der Miniaturisierung und der Verbesserung des Wirkungsgrades der zentralen Distractionseinheit. So können, bei sehr kompakter Form, große Axialkräfte erreicht werden. Der sogenannte „Teleskop-Aktuator“ lässt sich minimal invasiv implantieren.²⁴⁴

Neben den Verfahren mit externen und internen Distractionsmitteln wurden auch immer wieder alternative Behandlungsmethoden zum Beinlängenausgleich eingesetzt. Viele dieser Methoden, wie zum Beispiel periostales Stripping, Kurz-

²⁴³Baumgart 2000, 169-175

²⁴⁴Betz 1998, 71-78

wellen-Diathermie oder Fremdmaterialimplantation, erbrachten jedoch, nicht zuletzt wegen der unzureichenden Steuerbarkeit, keine befriedigenden Ergebnisse.

Der Differenzausgleich durch Verkürzung des längeren Beines hat zur Voraussetzung eine bestimmte Gesamtkörpergröße, um nicht eine Störung der Körperproportionen mit ästhetischen Problemen herbeizuführen. Die Behandlungszeit ist relativ gut vorauszusehen, und, im Vergleich zu den Distraktionsverfahren, in der Regel kürzer.²⁴⁵

Eine weitere Alternative zur Verlängerungsbehandlung, die Epiphyseodese, kann nur im Wachstumsalter eingesetzt werden. Sie hat den Nachteil der Gefahr von Über- oder Unterkorrekturen sowie der Ausbildung von Achsenfehlstellungen. Bei der temporären Epiphyseodese nach BLOUNT ist ein zweiter Eingriff zur Metallentfernung nötig. Vorteile dieser Methode sind der vergleichsweise geringere operative Aufwand, die rasche postoperative Belastbarkeit und die kurze Hospitalisierung.²⁴⁶

Einzeitige Verlängerungsoperationen sind, durch den Widerstand des Weichteilgewebes, nur bis zu einer Verlängerungsstrecke von etwa vier Zentimetern anwendbar. Es besteht bei dieser Methode die Gefahr von Gefäß- und Nervenläsionen sowie einer Einschränkung der Gelenkbeweglichkeit durch den starken Weichteilzug.²⁴⁷

Über verschiedene Umwege gelangte man zu der Erkenntnis, dass neben verkürzenden Osteotomien der längeren Extremität die kontrollierte Distraction mittels eines mechanischen Hilfsmittels brauchbare Ergebnisse bringen kann. Dazu musste ein Distraktionsgerät mit ausreichender Stabilität und Flexibilität sowie der Möglichkeit zur langsamen, kontrollierten Distraction entwickelt werden. Neben den Erkenntnissen über die Wirkung auf die Weichteilgewebe unter Dehnung waren hierfür auch Kenntnisse über die Entstehung von Kno-

²⁴⁵Müller, Allgöwer, Willenegger 1969, 188

²⁴⁶Canale, Russell, Holcomb 1986, 150

²⁴⁷Kempf, Grosse, Abalo 1986, 165-173

chen aus Kallus notwendige Voraussetzungen.

In der frühen Phase der Entwicklung von Methoden zur Extremitätenverlängerung verhinderte der geringe Erfahrungsaustausch der Chirurgen eine suffiziente Entwicklung des Verfahrens. So waren eigentlich alle wirksamen Prinzipien bereits in den dreißiger Jahren des 20. Jahrhunderts bekannt, das Wissen war jedoch über die Zentren in Amerika, Deutschland, Italien und Frankreich verstreut. Erst in den fünfziger Jahren, als Handlungsbedarf durch die zahlreichen Invaliden des Zweiten Weltkriegs gegeben war, gelang eine Gesamtschau.

Es kostete weitere zwanzig Jahre, bis die vorhandenen Erkenntnisse, nach der Öffnung des Ostens, unter anderem um die Erkenntnisse ILIZAROVs ergänzt wurden.

Die Extremitätenverlängerung entwickelte sich von einem ursprünglich gefährlichen Unterfangen aufgrund zahlreicher wissenschaftlicher Ideen zu einem wertvollen und mittlerweile standardisierten Behandlungskonzept. Auch heute noch sind Extremitätenverlängerungen aufwendig und nicht immer ohne Risiko. Daher ist die Verlängerungsbehandlung noch immer das Mittel der letzten Wahl, wenn Methoden mit geringerer Morbidität nicht suffizient sind.

Die Entwicklung in Richtung elektronisch gesteuerter Systeme gibt einen Ausblick in die Möglichkeiten technischer Fortschritte. Der Einsatz moderner Werkstoffe und elektronischer Hilfsmittel eröffnet weitere Möglichkeiten, das biologische Potential der Methode komfortabler und sicherer für den Patienten zu nutzen, als dies in der Vergangenheit möglich war. Verbesserungen und Neuerungen werden zweifellos in Zukunft die Extremitätenverlängerung noch weiter vereinfachen, und zu einer komplikationsarmen und effektiven Standardmethode weltweit ausreifen lassen.

9 Kalendarische Zusammenfassung

Nachfolgend werden die wichtigsten Entwicklungen der Extremitätenverlängerung kalendarisch dargestellt:

1869: B. VON LANGENBECK hatte, nach dem missglückten Versuch, mit einer Fremdmaterialimplantation in die Epiphysenfuge kontrolliertes Längenwachstum des Knochens zu erreichen, als erster Wissenschaftler die Idee, dass „ein Längenwachstum von Knochen durch Dehnung“ möglich sei.

1905: A. CODIVILLA veröffentlichte einen Bericht über die erste, unkontrollierte Beinverlängerung unter ruckartiger Gewichtsextension mit einem Fersen-Nagelzug-Gipsverband. Diese Methode führte zu schweren Komplikationen wie Schocksyndromen.

1905: A. BIER veröffentlichte seine Forschungsergebnisse über die Potenz des Frakturhämatoms zur Knochenneubildung.

1907: F. STEINMANN bohrte einen Nagel, den sogenannten Steinmann-Nagel, zur Frakturbehandlung in das untere Fragment des frakturierten Knochens.

1909: M. KIRSCHNER wandte die Nagelextension bei Frakturen mit Dislokation an. Wegen einer seitlichen Dislokation bei der Distraction platzierte er sowohl im proximalen, wie auch im distalen Fragment Stahlstifte und verband sie durch einen Längsträger miteinander.

1912: R. KLAPP verwendete im Balkankrieg erstmals Drähte bei der Knochenbruchbehandlung (Drahtextension).

1913: P.B. MAGNUSON distrahierte, ähnlich wie CODIVILLA, einmalig intraoperativ mit Gewichten. Der Defekt wurde mit Knochenspänen aufgefüllt.

1921: V. PUTTI stellte mit seinem unilateralen Osteoton erstmals ein Mittel zur graduellen Fragmentdistraktion vor. Wegen der Achsenabweichung der Fragmente und schlechter Konsolidierung des Knochens erfolgte kein weiterer Einsatz des Osteotons.

1923: A. BIER berichtete über die Anwendung seiner seit 1905 erworbenen Erkenntnisse über die Knochenneubildung aus dem Frakturhämatom. Es handelte sich um die erste Kallusdistraktion. Mangels eines Distraktionsgerätes zur kontinuierlichen Distraktion erfolgte eine Verlängerung mit Gewichten. Anfang der dreißiger Jahre setzte BIER den KLAPP'schen Distraktor zur kontinuierlichen Fragmentdistraktion ein.

1927: L.C. ABBOTT modifizierte das Osteoton PUTTIS zum Rahmenfixateur. Der Distraktor ermöglichte eine kontinuierliche Fragmentdistraktion. Es kam häufig zu Achsenabweichungen der Fragmente und Konsolidierungsstörungen.

1929: R. KLAPP und W. BLOCK führten transfixierende Drahtextensionsmittel zunächst zur Knochenbruchbehandlung, später auch zur graduellen, kontinuierlichen Distraktion, in Deutschland ein. Über Zahnräder konnte schrittweise eine Vorwärts- und Rückwärtsbewegung des distalen Fragments erreicht werden.

1934: V. PUTTI wandte sich der Distraktion mit Gewichten zu und verwendete Kirschner-Drähte bei der Extremitätenverlängerung.

1944: R. WITTMOSER stellte den ersten Ringfixateur (ähnlich dem Ilizarov-Ringfixateur) zur Frakturbehandlung und Extremitätenverlängerung vor. Die Fortschrittlichkeit dieses Fixateurs wurde jedoch nicht erkannt.

1948: F.G. ALLAN modifizierte den Abbott-Distraktor und verwendete Steigbügel und Kirschner-Drähte. Er osteotomierte unter Schonung des Periostes und führte die besser kontrollierbare Schraubendistraktion ein.

1951: P. BERTRAND führte die erste Distraction über einen intramedullären Nagel, zur Vermeidung einer Dislokation der Fragmente, durch.

1952: W.V. ANDERSON verwendete einen modifizierten Abbott-Distraktor zur Schraubendistraction und stellte eine tibiofibuläre Synostose her, um eine Veränderung der Malleolengabel bei der Distraction zu verhindern.

1956: F.C. BOST und L.J. LARSEN distrahierten Femora mit dem Abbott-Fixateur und verwendeten zur internen Stabilisierung einen intramedullären Nagel.

1957: T. HIERTONN stellte Anastomosen zwischen der Arteria und Vena femoralis her, um über eine Durchblutungsvermehrung eine Beinverlängerung zu erreichen.

1963: H. WAGNER führte einen unilateralen Distractionsapparat zur graduellen Fragmentdistraction ein. Erstmals war die Mobilität des Patienten in der Distractionphase möglich. Das Wagner-Verfahren war in den sechziger und siebziger Jahren in der westlichen Hemisphäre das gängigste Verfahren.

1964: W. BICKEL berichtete über die Verwendung einer Nagelfixateureinheit. Es handelte sich um eine aufwendige Montage.

1965: I. WASSERSTEIN verwendete einen Ringfixateur, dessen Längsträger aus Plastik waren und überbrückte die graduell über einen intramedullären Draht distrahierte Strecke mit einem zylindrischen kortikalen Allograft.

1971: G.A. ILIZAROVs Erkenntnisse standen erstmals auch Forschern der westlichen Hemisphäre zur Verfügung. Er führte den Ilizarov-Ringfixateur ein und popularisierte die moderne Kallusdistraction. Er setzte den Ringfixateur auch zur Epiphysenfugendistraction ein.

1972: Beginn der Entwicklung von internen Distractionssystemen und Distractionsmarknägeln. Der Schöllner-Distraktor wurde auf den Knochen geschraubt und war mit einem Teleskopmechanismus versehen. Er bedurfte noch einer Verbindung nach außen.

1975: Ein Marknageldistraktor mit einem hydraulisch betriebenen Druckzylinder wurde von J. GÖTZ und W.D. SCHELLMANN vorgestellt. Auch dieser Distraktor bedurfte noch einer Verbindung nach außen.

1977: A.N. WITT und M. JÄGER berichteten über ein vollständig implantiertes System, basierend auf einer seitlich am Knochen angebrachten Platte mit einer elektronisch programmierbaren Distractionseinheit.

1977: F. BAUMANN und J. HARMS stellten einen Verlängerungsmarknagel mit transkutan nach proximal ausgeleitetem Spindeltrieb vor.

1979: G. DE BASTIANI kombinierte Ilizarov-Prinzipien der Kallusdistraction (Kallotaxis) mit den Vorteilen eines monolateralen, dynamisierbaren Fixateurs (Orthofix). Er beschrieb die langsame Epiphysenfugendistraction (Chondrodiastasis) mit dem Ziel, die Wachstumsfuge intakt zu erhalten.

1983: A.I. BLISKUNOV stellte einen Verlängerungsmarknagel zur Femurverlängerung mit Ratschenmechanismus vor.

1987: Intramedulläre Distractionsmarknägeln gewannen zunehmend an Bedeutung. Der Albizzia-Nagel von J.M. GUICHET funktioniert mechanisch, auf der Basis eines Ratschenmechanismus.

1989: Der voll implantierbare, motorisierte und programmierbare Distractionsmarknagel von R. BAUMGART und A. BETZ wurde erstmals klinisch eingesetzt und 1997 von A. BETZ und M. BUTSCH technisch weiterentwickelt.

2002: Es existieren heute zahlreiche unilaterale (Monofixateure) und transfixierende Systeme (Rahmen- und Ringfixateure) sowie Kombinationen

aus beiden, sogenannte Hybridfixateure. Zu den monolateralen Fixateuren zählen unter anderem der Wagner-Apparat, der Orthofix und der Heidelberg-Fixateur. Der Ringfixateur ILIZAROVs ist der Hauptvertreter der transfixierenden Systeme. Es existieren aber auch andere Varianten von Ringfixateuren und verschiedene Rahmenfixateure. Außerdem werden Systeme mit externem Distraktionsapparat (Ringfixateur oder monolateraler Fixateur) kombiniert mit einem internem Stabilisator (z.B. Marknagel) sowie rein interne Systeme (elektromotorisch oder mechanisch) eingesetzt.

10 Literaturverzeichnis

Abbott L (1927).

The operative lengthening of the tibia and fibula.

J. Bone Joint Surg. 25 (1927) 128

Abrashanow A (1925)

Eine neue Operationsmethode zur Verlängerung der unteren Extremität.

Zentralbl. für Chir. 52 (1925) 462-464

Adler C-P: Knochenkrankheiten.

Berlin 1997

Aldegheri R, Renzi-Brivio L, Agostini S (1989)

The Callotasis Method of Limb Lengthening.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 241 (1989) 137-146

Aldegheri R, Trivella G, Lavini F (1989)

Epiphyseal Distraction: Hemichondrodiatasis.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 241 (1989) 128-157

Aldegheri R, Trivella G, Lavini F (1989)

Epiphyseal Distraction: Chondrodiatasis.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 241 (1989) 117-128

Allan FG (1948)

Bone Lengthening.

J. Bone Joint Surg. 30 (1948) 491-505

Allan FG (1951)

Leg Lengthening.

Br. Med. J. 1 (1951) 218-222

Anderson WV (1952)

Leg Lengthening.

J. Bone Joint Surg. 34 B (1952) 150

Anderson M, Messner MB, Green WT (1963)

Growth and prediction of growth in the lower extremities.

J. Bone Joint Surg. 45 A (1963) 1-14

Atar D (1991)

Treatment of Complex Limb Deformities in Children with the Ilizarov
Technique.

Orthopaedics 14 (1991) 961-967

Bardenheuer B: Die Behandlung der intra- und juxtaarticulären Fracturen
mittelst Extension und orthopädische Massnahmen während der eigentlichen
Fracturheilung.

In: Zweiter orthopädischer Kongress. Verhandlungen der deutschen
Gesellschaft für orthopädische Chirurgie. Stuttgart 1903, S. 107-158

Barr JS, Ober FR (1932)

Leg Lengthening in Adults.

J. Bone Joint Surg. 30 (1932) 674-678

Barr JS (1950)

Sympathetic Ganglionectomy and Limb Length in Poliomyelitis.

J. Bone Joint Surg. 32-A (1950) 793-802

Bauer R, Kerschbaumer F, Poisel S: Orthopädische Operationslehre. Band II/1.
Stuttgart 1994

Baumann F, Harms J (1977)

Der Verlängerungsnagel.

Arch. orthop. Unfall-Chir. 90 (1977) 139-146

Baumgart R, Betz A, Zeiler C, Kettler M, Schweiberer L (1996)

Marknagelung im Rahmen der Kallusdistraktion.

Orthopäde 25 (1996) 259-265

Baumgart R, Betz A, Schweiberer L (1997)

A Fully Implantable Motorized Intramedullary Nail for Limb Lengthening and
Bone Transport.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 343 (1997) 135-143

Baumgart R, Zeiler C, Kettler M, Weiss S, Schweiberer L (1999)

Der voll implantierbare Distraktionsmarknagel bei Verkürzungen,
Deformitäten und Knochendefekten.

Orthopäde 28 (1999) 1058-1065

Baumgart R, Kettler M, Zeiler C, Mutschler W (2000)

Simultane Ober- und Unterschenkelverlängerung mit voll implantierbaren,
programmierbaren Marknagelsystemen.

Hefte zur Zeitschrift Der Unfallchirurg 282 (2000) 302-303

Baumgart R (2000)

Extremitätenverlängerung im Schlaf.

CHAZ 5 (2000), 169-175

Baumgartner R: Die Osteosynthesen von Lambotte zwischen 1895 und 1907.
In: Geschichte operativer Verfahren an den Bewegungsorganen. Bd. 3
Hrsg. v. Zichner L. Darmstadt 2000, S. 21-29

Bertrand P (1951)
Technique d'allongement du fémur dans les grands Raccourcissements.
Rev. Chir. Orthop. 37 (1951) 530-533

Betz A, Baumgart R, Schweiberer L (1990)
Erstes voll implantierbares intramedulläres System zur Callusdistraction –
Marknagel mit programmierbarem Antrieb zur Beinverlängerung und
Segmentverschiebung.
Chirurg 61 (1990) 605-609

Betz A : Voll implantierbarer aktiver Marknagel.
In: Kallusdistraction.
Hrsg. von Rüter A, Kohn D, Correll J, Brutscher R. München 1998, S. 71-78

Bier A (1905)
Die Bedeutung des Blutergusses für die Heilung des Knochenbruches. Heilung
von Pseudarthrosen und von verspäteter Callusbildung durch
Bluteinspritzung.
Med. Klinik (1905) 6-7

Bier A (1923)
Über Knochenregeneration, über Pseudarthrosen und über
Knochentransplantate.
Archiv für Klin. Chir 127 (1923) 1-136

Bisgard JD (1931)

Effect of Sympathetic Gangliectomy upon Bone Growth.
Proc. Soc. Exp. Biol. 29 (1931) 229

Bliskunov AI (1983)

Intramedullary distraction of the femur (russ.).
Ortop Traumatol Protez 10 (1983) 59-62

Blount WP (1949)

Control of Bone Growth by Epiphyseal Stapling.
J. Bone Joint Surg. 31-A (1949) 464-477

Bohlmann HR (1929)

Experiments with Foreign Materials in the Region of the Epiphyseal Cartilage Plate of Growing Bones to Increase their Longitudinal Growth.
J. Bone Joint Surg. 27 (1929) 365-384

Bost FC, Larsen LJ (1956)

Experiments with Lengthening of the Femur over an Intramedullary Rod.
J. Bone Joint Surg. 38 A (1956) 567-584

Bosworth DM (1938)

Skeletal Distraction of the Tibia.
Surg. Gynecol. Obstet. 66 (1938) 912

Brockway A, Fowler SB (1942)

Experiences with 105 leg lengthening operations.
Surg. Gynecol. Obstet. 72 (1942) 252

Brothwell D R, Sandison AT: A Survey of Early Populations.

In: Diseases in Antiquity.

Hrsg. von Brothwell D R. Springfield 1972, S. 599-605

Brug E : August Bier – ein Pionier der Kallusdistraction.

In: Die Plattenosteosynthese und ihre Konkurrenzverfahren.

Hrsg. von Wolter D, Zimmer W. Berlin 1991, S. 47-52

Brunner U, Kessler S, Cordey J, Rahn B, Schweiberer L, Perren SM (1990)

Defektbehandlung langer Röhrenknochen durch Distractionsosteogenese (Ilizarov) und Marknagelung.

Unfallchirurg 93 (1990) 244-250

Butsch M (2000)

Elektromechanischer Teleskopaktuator TA.

Forum Fachhochschule Konstanz 11 (2000), 90-94

Cañadell J (1986)

Sobre el aumento de versatilidad y ampliacion de las posibilidades de un fijador externo unilateral en traumatologia y ortopedia.

Rev. Orthop. Traum. 30 (1986) 477-480

Canale ST, Russell TA, Holcomb RL (1986)

Percutaneous Epiphysiodesis; Experimental Study and Preliminary Clinical Results.

J. Pediatr. Orthop. 6 (1986) 150

Carpenter EB, Dalton JB (1956)

A Critical Evaluation of a Method of Epiphyseal Stimulation.

J. Bone Joint Surg. 38-A (1956) 1084-1094

Carrell WB (1929)

Leg Lengthening.

South Med. J. 22 (1929) 216

Carroll HR (1950)

Trials and Tribulation in Attempted Femoral Lengthening.

J. Bone Joint Surg. 32 (1950) 132-142

Cauchoix J (1972)

One Stage Femoral Lengthening.

J. Bone Joint Surg. 54-A (1972) 1802-1803

Cauchoix J, Morel G (1978)

One Stage Femoral Lengthening.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 136 (1978) 66-73

Chan KP, Hodgson AR (1970)

Physiologic Leg Lengthening.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 68 (1970) 55-62

Codivilla A (1905)

On the Means of Lengthening in the Lower Limbs, the Muscles and the Tissues which are Shortened through Deformity.

Amer. J. Orthop. Surg. 2 (1905) 353

Codivilla A (1910)

Über Nagelextension.

Zentralbl. f. Chir. 37 (1910) 404-418

Compere EL (1936)

Indications for and against the Leg Lengthening operation. Use of the Tibial Bone Graft as a Factor in preventing delayed Union, Nonunion, or late Fracture.

J. Bone Joint Surg. 34 (1936) 693

Correll J: Korrektur von Fehlstellungen und Kallusdistraktion in der Kinderorthopädie.

In: Kallusdistraktion.

Hrsg. von Rüter A, Kohn D, Correll J, Brutscher R. München 1998, S. 123-173

De Bastiani G, Aldegheri R, Renzi-Brivio L, Trivella G (1989)

Dynamic Axial External Fixation.

Automedica 10 (1989) 235-272

De Bastiani G, Lavini F: The Philosophy of Dynamic Axial Fixation.

In: Die Plattenosteosynthese und ihre Konkurrenzverfahren.

Hrsg. von Wolter D, Zimmer W. Berlin 1991, S. 57-60

Delloye C (1990)

Bone Regenerate Formation in Cortical Bone During Distraction Lengthening.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 250 (1990) 34-41

Dickson FD, Diveley RL (1932)

A New Apparatus For The Lengthening of Legs.

J. Bone Joint Surg. 14 (1932) 194-196

Doyle JR (1963)

Stimulation of Bone Growth by Short-Wave Diathermy.

J. Bone Joint Surg. 45-A (1963) 15-24

Eldridge JC, Bell D (1991)

Problems with Substantial Limb Lengthening.

Orthop. Clinics of North America 22 (1991) 625-631

Fischer J, Dufek P, Stachel P (1992)

Gliedmaßenverlängerung durch Epiphysen- und Kallusdistraction mit dem Wiesbadener Ringfixateur.

Orthopäde 21 (1992) 210-220

Fischer S (1972)

Operative Beinverkürzung und Beinverlängerung nach dem Verfahren von Küntscher.

Orthopäde 1 (1972) 50-56

Franke J, Hein G, Simon M, Hauch S: Korrektur von Wachstumsstörungen durch Distraction, Epiphyseolyse oder Kortokotomie nach Ilizarov.

In: Neuere Ergebnisse in der Osteologie.

Hrsg. von Willert H-G, Heuck F H W. Heidelberg 1989, S. 138-145

Franke J (1992)

Ilizarov-Techniken zur Beinverlängerung.

Orthopäde 21 (1992) 197-209

Frisch von O (1918)

Oberschenkelverlängerung.

Sitzungsbericht der k.k. Gesellschaft der Ärzte in Wien.

Wiener klin. Wochenschrift 31 (1918) 739

Frisch von O (1918)

Blutige Operationen.

Zentralblatt für Chirurgie 1 (1918) 501-502

Fuchs R: Hippokrates. Sämtliche Werke. Bd. 3.

München 1900, S. 211-213

Gersdorf H. von: Feldtbuch der Wundarzney.

Nachdruck der Erstausgabe Straßburg 1517.

Darmstadt 1967, S. 1

Götz J, Schellmann WD (1975)

Kontinuierliche Verlängerung des Femur bei intramedullärer Stabilisierung.

Arch. orthop. Unfall. Chir. 82 (1975) 305-310

Golykhovsky V (1992)

Einleitung zu G.A. Ilizarov: The Replacement of Long Tubular Bone Defects by Lengthening Distraction Osteotomy of One of the Fragments.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 280 (1992) 7-8

Green SA (1990)

The Use of Wires and Pins.

Techniques Orthop. 5 (1990) 19-25

Green SA (1990)

Components of the Ilizarov System.

Techniques Orthop. 5 (1990) 1-11

Green SA: History of external fixation.

In: External fixation and functional bracing.

Hrsg. von Coombs R. London 1989, S. 59-63

Grill F (1989)

Corrections of Complicated Extremity Deformities by External Fixation.

Clin Orthop. and Rel. Res. 241 (1989) 166-175

Grill F, Chochole M, Schulz A (1990)

Beckenschiefstand und Beinlängendifferenz.

Orthopäde 19 (1990) 244-262

Guarniero R, Tarcisio EP, Barros JR (1990)

Femoral lengthening by the Wagner method.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 250 (1990) 254-259

Guichet JM, Grammont PM, Trouilloud P (1992)

Clou d'allongement progressif.

Chirurgie 118 (1992) 405-410

Guichet JM, Casar RS (1997)

Mechanical Characterization of a Totally Intramedullary Gradual Elongation Nail.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 337 (1997) 281-290

Guichet JM: Intramedullärer Verlängerungsnagel (Albizzia). Technik, Anwendung und Ergebnisse nach kontinuierlichen Verlängerungen von Femur und Tibia.

In: Posttraumatische Beindeformitäten. Analyse und Korrektur.

Hrsg. von Strecker W, Keppler P, Kinzl L. Berlin 1997, S. 251-264

Guichet JM, Braillon P, Bodenreider O, Lascombes P (1998)

Periosteum and bone marrow in bone lengthening.

Acta Orthop. Scand. 69 (5) (1998) 527-531

Guichet JM (1999)

Beinverlängerung und Deformitätenkorrektur mit dem Femur-Albizzia Nagel.

Orthopäde 28 (1999) 1066-1077

Haboush EJ, Finkelstein H (1932)

Leg Lengthening with new stabilizing Apparatus.

J. Bone Joint Surg. 14 (1932) 807-821

Harris JE, Wente EF: An X-Ray Atlas of the Royal Mummies.

Chicago 1980

Harris RI (1930)

The Effect of Lumbar Sympathectomy on the Growth of Legs Shortened from Anterior Poliomyelitis. A Preliminary Report.

J. Bone Joint Surg. 28 (1930) 859-866

Harris RI, Mc Donald JL (1936)

The Effect of Lumbar Sympathectomy upon the Growth of Legs Paralyzed by Anterior Poliomyelitis.

J. Bone Joint Surg. 18 (1936) 35-45

Hartnack U: Joseph Anton Mayer. Ein Chirurg und Orthopäde in Würzburg.

Diss. med. Würzburg 1975

Herzog R, Hefti F (1992)

Problematik und Komplikationen der Beinverlängerungen mit dem Wagner-Apparat.

Orthopäde 21 (1992) 221-229

Herzenberg JE, Waanders NA (1991)

Calculating Rate and Duration of the Distraction for Deformity Correction with the Ilizarov Technique.

Orthop. Clinics of North America 22 (1991) 601-611

Hiertonn T (1957)

Arteriovenous Anastomoses and Acceleration of Bone Growth.

Acta Orthop. Scand. 26 (1956/1957) 322

Hoffmann R (1938)

Rotules à os pour la réduction dirigée non sanglante des fractures (ostéotaxis).

Helv med acta 5 (1938) 844-880

Holst A, Thomas W (1989)

Die Beinlängen- und Beinlängendifferenzmessung mit der Methode der Real-Time-Sonographie.

Orthop. Praxis 9 (1989) 547-551

Ilizarov GA, Deviatov AA (1971)

Operative elongation of the leg (russ.).

Ortop. Travmatol. Protezirov. 32 (1971) 20-25

Ilizarov GA, Trohova VG (1973)

Operative elongation of the femur (russ.).

Ortop. Travmatol. Protezirov. 34 (1973) 51-55

Ilizarov GA (1988)

The Principles of the Ilizarov Method.

Bull-Hosp-Jt-Dis 56 (1988) 49-53

Ilizarov GA (1990)

Clinical Application of the Tension-Stress Effect for Limb Lengthening.

Clin. Orthop. an Rel. Res. 250 (1990) 8-26

Ilizarov GA: Transosseous Osteosynthesis.

Heidelberg 1992

Janes JM, Musgrove JE (1949)

Effect of Arteriovenous Fistula on Growth of Bone. Preliminary Report.

Proc. Mayo Clin. 24 (1949) 405

Janes JM, Musgrove JE (1950)

Effect of Arteriovenous Fistula on Growth of Bone.

Surg. Clin. N. Amer. 30 (1950) 1191

Jani L, Dolanc B, Morscher E (1975)

Die Verlängerungsosteotomie am Ober- und Unterschenkel mit dem
Distractionsapparat von Wagner.

Achiv. orthop. Unfall-Chir. 82 (1975) 39-52

Jenkins HR, Cheng DHF, Hodgson AR (1975)

Stimulation of Bone Growth by Periosteal Stripping.

J. Bone Joint Surg. 57-B (1975) 482-484

Jones DC, Moseley CF (1985)

Subluxation of the knee as a complication of femoral lengthening by the Wagner technique.

J. Bone Joint Surg. 67-B (1985) 33-35

Kauth M: Die Entwicklung des Osteotoms durch Bernhard Heine und die Bedeutung des Instruments für die Knochenchirurgie. Diss. med.

Würzburg 1984

Kempf I, Grosse A, Abalo C (1986)

Locked Intramedullary Nailing.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 212 (1986) 165-173

Kenwright J (1990)

Response of the Growth Plate to Distraction Close to Skeletal Maturity.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 250 (1990) 61-72

Kirschner M (1909)

Über Nagelextension.

Zeitschrift für orthop. Chir. 24 (1909) 563-564

Klapp R, Block W: Die Knochenbruchbehandlung mit Drahtzügen.

Berlin 1930

Köhler A, Zimmer EA: Grenzen des Normalen und Anfänge des Pathologischen im Röntgenbild des Skeletts.

Stuttgart 1989

Kolta KS, Schwarzmann-Schafhans D: Die Heilkunde im alten Ägypten.

In: Sudhoffs Archiv 42.

Stuttgart 2000

Küntscher G: Praxis der Marknagelung.

Stuttgart 1962

Lambotte A: L'intervention opératoire dans les fractures récentes et actuelles.

Paris 1907

Lambret MO (1911)

L'embrochage des os dans les fractures du membre inférieur.

La presse médicale 52 (1911) 545-551

Langenbeck B von (1869)

Über krankhaftes Längenwachstum der Röhrenknochen und seine Verwertung für die chirurgische Praxis.

Berliner Klin. Wochenschrift 6 (1869) 265-270

Le Coeur P (1962)

Égalisation des membres inférieurs par allongement avec fixation immédiate.

Rev. Chir. Orthop 48 (1962) 500-502

Lewis KM, Breidenbach L, Stader O (1993)

The Stader Reduction Splint for Treating Fractures of the Shafts of the Long Bones.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 293 (1993) 3-7

Magnuson PB (1913)

Lengthening shorted bones of the leg by operation. Ivory screws with removable heads as a means of holding the two bone fragments.

Surg. Gynecol. Obstet. 17 (1913) 63-71

Mc Carroll HR (1950)

Trials and Tribulations in Attempted Femoral Lengthening.

J. Bone Joint Surg. 32-A (1950) 132-142

Merle D'Aubigné R, Dubousset J (1971)

Surgical correction of large length discrepancies in the lower extremities of children and adults.

J. Bone Joint Surg. 53-A (1971) 411-430

Millis MB, Ahear MC, Hall JE (1990)

Die transiliakale Verlängerung. Erfahrungen mit einer modifizierten Salter-Osteotomie.

Orthopäde 19 (1990) 283-291

Monticelli G, Spinelli R, Bonucci E (1981)

Distraction epiphyseolysis as a method of limb lengthening.

Morphologic investigations.

Clin. Orthop. And Rel. Res. 154 (1981) 262-274

Monticelli G, Spinelli R (1981)

Distraction epiphyseolysis as a method of limb lengthening. Clinical applications.

Clin. Orthop. And Rel. Res. 154 (1981) 275-285

Morscher E (1972)

Ätiologie und Klinik der Beinlängenunterschiede.

Orthopäde 1 (1972) 1-8

Morscher E, Figner G (1972)

Die Messung der Beinlängen.

Orthopäde 1 (1972) 9-13

Morscher E: Beinlängenunterschiede.

In: Die orthopädische Versorgung des Fußes.

Stuttgart 1972, S. 119-120

Morscher E (1973)

Ätiologie und klinische Bedeutung der Beinlängendifferenz.

Orthopädische Praxis 5 (1973) 187-191

Moseley CF (1978)

A Straight Line Graph for Leg Length Discrepancies.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 136 (1978) 33-40

Moseley CF (1990)

Leg Lengthening: The Historical Perspective.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 250 (1990) 4-7

Müller ME, Allgöwer M, Willenegger H: Manual der Osteosynthese.

AO-Technik.

Berlin 1969

Neuburger M, Pagel J: Handbuch der Geschichte der Medizin. Bd. 1.

Jena 1902

Oest O, Sieberg HJ (1971)

Die Röntgenganzaufnahme der unteren Extremitäten.

Z. Orthop. 109 (1971) 54-72

Oganesian OV, Istomina IS (1991)

Talipes Equinovarus Deformities Corrected With the Aid of a Hinged-Distracton Apparatus.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 266 (1991) 42-50

Ombredanne L (1913)

Allongement d'un fémur sur un membre trop court.

Bull. Mem. Soc. Chir. 39 (1913) 1177

Paley D (1988)

Current Techniques of Limb Lengthening.

J. Pediatric Orthop. 8 (1988) 73-92

Paley D (1989)

The principles of deformity Correction by the Ilizarov Technique: Technical Aspects.

Techniques in Orthopaedics 4 (1989) 15-29

Paley D (1990)

The Ilizarov Corticotomy.

Techniques Orthop. 5 (1990) 41-52

Paley D, Tetsworth K (1991)

Percutaneous Osteotomies.

Orthop. Clinics of North America 22 (1991) 569-579

Paley D (1993)

Femoral lengthening by simultaneous External Fixation and Intramedullary Rodding.

Orthop. Transactions 17 (1993) 398

Paterson D (1990)

Leg-Lengthening Procedures; A Historical Review.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 250 (1990) 27-33

Pease CN (1952)

Local Stimulation of Growth of Long Bones.

J. Bone Joint Surg. 34-A (1952) 1

Peltier LF (1989)

Hippocrates: The Classic. An Abridged Report on External Skeletal Fixation.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 241 (1989) 3-4

Peltier LF: Fractures. A history and iconography of their treatment.

San Francisco 1990

Peltier LF (1994)

Codivilla A: The Classic. On the Means of Lengthening in the Lower Limbs, the Muscles and Tissues Which Are Shortened Through Deformity.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 301 (1994) 4-9

Pennig D (1987)

Extremitätenverlängerung und Achsenkorrektur.

Chir. Praxis 37 (1987) 667-673

Peterson HA (1992)

Femoral Lengthening by Intramedullary Devices.
Advances in Orthop. Surg. 16 (1992) 175-190

Petty W (1974)

Arteriovenous Fistula for Treatment of Discrepancy in Leg Length.
J. Bone Joint Surg. 56-A (1974) 581-586

Pfeil J, Niethard FU (1990)

Unterschenkelverlängerung mit dem Ilizarov-System.
Orthopäde 19 (1990) 263-272

Pfeil J, Pauschert R (1993)

Achskorrigierende Verlängerungen in unilateraler Technik.
Orthop. Praxis 11 (1993) 737-742

Pfeil J, Pauschert R (1993)

External-Fixation-System – Vorstellung und erste klinische Ergebnisse.
Orthop. Praxis 11 (1993) 731-736

Pfeil J, Grill F, Graf R: Extremitätenverlängerung, Deformitätenkorrektur,
Pseudarthrosenbehandlung.

Berlin 1996

Pfeil J: Analyse der Fehlstellung.

In: Posttraumatische Beindeformitäten. Analyse und Korrektur.

Hrsg. von Strecker W, Keppler P, Kinzl L. Berlin 1997, S. 123-131

Pfeil J : Heidelberg-External-Fixation-System.

In: Kallusdistraktion.

Hrsg. von Rüter A, Kohn D, Correll J, Brutscher R. München 1998, S. 60

Pflüger W (1972)

Erfahrungen mit der operativen Unterschenkelverlängerung nach Anderson.

Orthopäde 1 (1972) 57-58

Phemister DB (1933)

Operative arrestment of longitudinal growth of bones in the treatment of deformities.

J. Bone Joint Surg. 31 (1933) 1-15

Podolsky A, Chao E (1993)

Mechanical Performance of Ilizarov Circular External Fixator in Comparison with other External Fixators.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 293 (1993) 61-70

Price CT (1989)

Limb Lengthening for Achondroplasia. Early Experience.

J. Pediatric Orthop. 3 (1989) 512-514

Price C, Cole JD (1990)

Limb Lengthening by Callotasis for Children and Adolescents.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 250 (1990) 105-111

Putti V (1921)

The operative lengthening of the femur.

JAMA 77 (1921) 934-935

Putti V (1934)

Operative lengthening of the femur.

Gynecol Obstet 58 (1934) 318-321

Putz R, Müller-Gerbl M (1990)

Beckenfehlbildungen mit Auswirkungen auf die Statik der Wirbelsäule.

Orthopäde 19 (1990) 278-282

Reichelt A , Mohtashami M (1972)

Erfahrungen mit der temporären Epiphyseodese nach Blount.

Orthopäde 1 (1972) 40-45

Renzi-Brivio L, Lavini I, De Bastiani G (1990)

Lengthening in Congenital Short Femur.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 250 (1990) 112-116

Richards V, Stofer R (1959)

The Stimulation of Bone Growth by Internal Heating.

Surgery 46 (1959) 84

Ring PA (1958)

Experiment of bone lengthening by epiphyseal distraction.

Br. J. Surg. 46 (1958/1959) 169

Schilch T: Osteosynthese. Geschichte einer schwierigen Therapiemethode.

In: Geschichte operativer Verfahren an den Bewegungsorganen,

Jahrbuch Bd. 2.

Hrsg. von Zichner L. Darmstadt 2000, S. 55-71

Schöllner D (1972)

Neue Möglichkeiten der operativen Verlängerung des Oberschenkels.
Zeitschrift für Orthopädie und ihre Grenzgebiete 110 (1972) 971-974

Sisk TD (1983)

External Fixation. Historic Review, Advantages, Disadvantages, Complications
and Indications.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 180 (1983) 15-22

Smith ES, Cunningham JB (1957)

The effect of alternating distraction forces on the epiphyseal plates of calves.
Clin. Orthop. 10 (1957) 125

Sournia JC, Poulet J, Martiny M: Illustrierte Geschichte der Medizin. Bd. 5.
Paris 1978

Spink MS, Lewis GL: Abulcasis. On surgery and instruments.

In: The Wellcome Institute of the History of Medicine.

London 1973, S. 688

Stader OA (1937)

A preliminary announcement of a new method of treating fractures.

North Am. Vet. 18 (1937) 37

Strecker W, Keppler L, Kinzl L: Posttraumaumatische Beindeformitäten.

Analyse und Korrektur.

Berlin 1997

Sudhoff K: Chirurgie im Mittelalter. Bd. 2.

Leipzig 1918, S. 64-67

Valentin B: Geschichte der Orthopädie.

Stuttgart 1961, S. 12-15

Vidal J (1983)

External Fixation.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 180 (1983) 7-14

Wagner H (1971)

Gliedmaßenverlängerung.

Orthopäde 21 (1971) 173

Wagner H (1971)

Operative Beinverlängerung.

Chirurg 42 (1971) 260-266

Wagner H (1972)

Technik und Indikation der operativen Verkürzung und Verlängerung von
Ober- und Unterschenkel.

Orthopäde 1 (1972) 59-74

Wagner H, Zeiler G (1983)

Funktionelle Frakturbehandlung mit dem Verlängerungsapparat.

Orthopäde 12 (1983) 163-180

Wasserstein I, Correll J, Niethard FU (1986)

Die geschlossene Distractionsepiphyseolyse zur Beinverlängerung bei
Kindern.

Z. Orthop. 124 (1986) 743-750

Wasserstein I (1990)

Twenty-Five Years Experience with Lengthening of Shortened Lower
Extremities Using Cylindrical Allografts.

Clin. Orthop. and Rel. Res. 250 (1990) 150-153

Westin W (1967)

Femoral Lengthening Using a Periosteal Sleeve.

J. Bone Joint Surg. 49-A (1967) 836-854

White SH, Kenwright J (1991)

The Importance of Delay in Distraction of Osteotomies.

Orthop. Clinics of North America 22 (1991) 613-624

Witt AN (1963)

Die operative Beseitigung größerer Beinlängendiskrepanzen.

M Schr. Unfallheilkunde 66 (1963) 438-444

Witt AN , Jäger M (1977)

Tierexperimentelle Ergebnisse mit einem voll implantierbaren

Distractionsgerät zur operativen Beinverlängerung.

Arch. Orthop. Unfall-Chir. 88 (1977) 273-279

Witt AN, Jäger M (1978)

Die operative Oberschenkelverlängerung mit einem voll implantierbaren

Distractionsgerät.

Arch. Orthop. Traumat. Surg. 92 (1978) 291-296

Wittmoser R (1953)

Zur Druckosteosynthese.

Langenbecks Archiv für klin. Chirurgie 276 (1953) 229-231

Wolff J: Das Gesetz der Transformation der Knochen.

Berlin 1892

Zazijalov PV, Plaskin JT (1968)

Distractionepiphyseolysis in lengthening of the lower extremity in children.

Khirurgiia (Mosk.) 44 (1968) 121

Zichner L: R. Klapp: Historische Aspekte von Fixateursystemen.

In: Geschichte operativer Verfahren an den Bewegungsorganen. Bd. 2.

Hrsg. von Zichner L. Darmstadt 2000, S. 31-36

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:

Jürgens C, Kortmann H-R, Fink B, Gusic L (1992)

Die Behandlung der posttraumatischen Extremitätenverkürzung.

Unfallchir. 95 (1992) 552

Abbildung 2:

Peltier LF (1989)

Hippocrates: The Classic. An Abridged Report on External Skeletal Fixation.

Clin. orthop. and Rel. Res. 241 (1989) 4

Abbildung 3:

Jürgens C, Kortmann H-R, Fink B, Gusic L (1992)

Die Behandlung der posttraumatischen Extremitätenverkürzung.

Unfallchir. 95 (1992) 552

Abbildung 4:

Green SA: History of external fixation.

In: External fixation and functional bracing.

Hrsg. von Coombs R. London 1989, S. 59

Abbildung 5:

Green SA: History of external fixation.

In: External fixation and functional bracing.

Hrsg. von Coombs R. London 1989, S. 59

Abbildung 6:

Green SA: History of external fixation.
In: External fixation and functional bracing.
Hrsg. von Coombs R. London 1989, S. 60

Abbildung 7:

Codivilla A (1910)
Über Nagelextension.
Zentralbl. f. Chir. 37 (1910) 412

Abbildung 8:

Paterson D (1990)
Leg-Lengthening Procedures; A Historical Review.
Clin. Orthop. and Rel. Res. 250 (1990) 28

Abbildung 9:

Paterson D (1990)
Leg-Lengthening Procedures; A Historical Review.
Clin. Orthop. and Rel. Res. 250 (1990) 29

Abbildung 10:

Paterson D (1990)
Leg-Lengthening Procedures; A Historical Review.
Clin. Orthop. and Rel. Res. 250 (1990) 30

Abbildung 11:

Wittmoser R (1953)
Zur Druckosteosynthese.
Langenbecks Archiv für klin. Chirurgie 276 (1953) 231

Abbildung 12:

Bauer R, Kerschbaumer F, Poisel S: Orthopädische Operationslehre. Band II/1.
Stuttgart 1994, S. 415

Abbildung 13:

Green SA: History of external fixation.
In: External fixation and functional bracing.
Hrsg. von Coombs R. London 1989, S. 62

Abbildung 14:

Bauer R, Kerschbaumer F, Poisel S: Orthopädische Operationslehre. Band II/1.
Stuttgart 1994, S. 420

Abbildung 15:

Bauer R, Kerschbaumer F, Poisel S: Orthopädische Operationslehre. Band II/1.
Stuttgart 1994, S. 412

Mein besonderer Dank gilt:
Herrn Prof. Dr. W. G. Locher, M. A.
für die Unterstützung bei der Abfassung der Arbeit

Außerdem bedanke ich mich besonders bei
meinen Eltern und meinem Freund Peter
für die Unterstützung und bei
Frau Dipl.-Bibl. C. Willner-Wagner
für die Hilfe bei der Nutzung der Bibliothek

Lebenslauf

Name	Toren
Vorname	Veronica
Geburtsdatum	23. Oktober 1969
Geburtsort	Frankfurt/Main
Staatsangehörigkeit	deutsch
Familienstand	ledig
Schulbildung	
1976 bis 1980	Grundschule Mülheim/Ruhr
1980 bis 1987	Karl-Ziegler-Gymnasium Mülheim/Ruhr
1987 bis 1989	Luisengymnasium Mülheim/Ruhr
Berufsausbildung	
1989-1991	Medizinstudium (Vorklinik) an der Freien Universität Berlin
1991-1996	Klinischer Teil des Medizinstudiums an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, 3. Staatsexamen 1996
16.01.1998	Erteilung der Approbation
Berufstätigkeit	
1996 bis 1998	Ärztin im Praktikum in der neurologischen Abteilung des Klinikums Landshut
1998 bis 2000	Assistenzärztin im Bezirkskrankenhaus Kaufbeuren
Ab Oktober 2000	Assistenzärztin in der Psychosomatischen Klinik Windach