



WHZ Westsächsische
Hochschule Zwickau
Hochschule für Mobilität



Heinrich-Braun-Klinikum
gemeinnützige GmbH

Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Leipzig
und des Universitätsklinikums Jena

Zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Engineering
(B. Eng.)

**Radiologische Bewertung der operativen Versorgung von
Sprunggelenksfrakturen bei geriatrischen Patienten mit der
IntraOS-Schraube: Differenz zwischen Markraumweite und
Implantatsdurchmesser und die optimale Implantatauswahl**

Verfasser: Wenxuan Li, Studiengang Biomedizinische Technik,
Fakultät Physikalische Technik/Informatik

Mentoren: Prof. Dr. Ralf Hinderer, Westsächsische Hochschule Zwickau
Prof. Dr. med. Bernhard Karich, Heinrich-Braun-Klinikum Zwickau

Ausgabedatum: 02.01.2024

Abgabedatum: 27.02.2024

Abstract

With the changing demographics of the population, the proportion of the elderly population is steadily increasing, leading to growing concerns about health issues in the elderly. As the proportion of elderly people increases, the incidence of ankle fractures is expected to rise. This study provides an in-depth analysis of a novel approach to the treatment of ankle fractures in the elderly.

Traditional surgical treatments may not meet the needs of older patients due to their poorer bone quality and slower recovery rates. To address this problem, a new minimally invasive surgical approach has been introduced using specially designed implants called IntraOS screws to stabilize ankle fractures.

This study analyzes postoperative complications and the recovery status of existing cases and evaluates postoperative radiographs. Based on existing data, a thorough analysis of implant selection will be conducted, and the need for new implant sizes will be discussed. The results of this study are expected to provide new insights and methods for the treatment and rehabilitation of ankle fractures in elderly patients, potentially improving success rates.

Mit dem demographischen Wandel in der Bevölkerung nimmt der Anteil älterer Menschen stetig zu, was zu wachsender Besorgnis über die Gesundheitsprobleme älterer Menschen führt. Da der Anteil älterer Menschen zunimmt, wird auch die Häufigkeit von Sprunggelenksfrakturen steigen. In diesem Forschungsprojekt wird ein neuer Ansatz zur Behandlung von Sprunggelenksfrakturen bei geriatrischen Patienten untersucht.

Herkömmliche chirurgische Behandlungen können den Bedürfnissen geriatrischer Patienten aufgrund der schlechteren Knochenqualität und der langsameren Genesung nicht gerecht werden. Um dieses Problem zu lösen, wurde ein neuer minimal-invasiver chirurgischer Ansatz eingeführt, bei dem speziell entwickelte Implantate, so genannte IntraOS-Schrauben, zur Stabilisierung von Sprunggelenksfrakturen verwendet werden.

In diesem Forschungsprojekt werden postoperative Komplikationen und der Genesungsstatus bestehender Fälle analysiert und postoperative Röntgenbilder ausgewertet. Basierend auf den vorhandenen Daten wird eine gründliche Analyse der Implantatauswahl durchgeführt und der Bedarf an neuen Implantat-größen diskutiert. Es wird erwartet, dass die Ergebnisse dieser Forschung neue Erkenntnisse und Methoden für die Behandlung und Rehabilitation von

Sprunggelenksfrakturen bei geriatrischen Patienten liefern und somit die Erfolgsraten verbessern können.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	1
Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
1. Einleitung.....	7
2. Anatomische Struktur des Sprunggelenks	8
2.1 Knochenstruktur	8
2.2 Gelenkstruktur	9
2.3 Bänder und Weichteile	9
3. Sprunggelenksfraktur bei älteren Menschen	10
4. Konventionelle Behandlungsmethoden	11
4.1 Konservative Behandlung	11
4.2 Operative Versorgung	12
5. IntraOS-Schraube	14
5.1 Grundlagen	14
5.2 OP-Methodik	15
5.3 Vor- und Nachteile	18
6. Komplikation und Rehabilitation	20
6.1 Intraoperative Komplikation	21
6.2 Implantatfehlage	22
6.3 Postoperative Komplikation	23
6.4 Postoperative Rehabilitation	23
7. Radiologische Bewertung der Implantatauswahl	27
7.1 Software	27
7.2 Datengrundlagen	27
7.3 Messung und Berechnung	28
7.3.1 Messung der Markraumweite	28
7.3.2 Berechnen der Differenz	30
7.3.3 Berechnen der optimalen Implantatauswahl	32
7.4 Ergebnisse	33
8. Weitere möglich neu Schraubengröße	38

9. Diskussion	40
10. Zusammenfassung	42
Literatur- und Quellenverzeichnis	43
Anhang.....	44
Anhang 1: Berechnung der Markraumweite	44
Anhang 2: Optimale Implantatasuwahl und tatsächliche Situation	46
Ehrenwörtliche Erklärung.....	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomie des Sprunggelenks	8
Abbildung 2: Größe der Schraube	15
Abbildung 3: Aufbohren der Kortikalis.....	16
Abbildung 4: Einbringen des Führungsdrahtes	16
Abbildung 5: Bohren des Kerndurchmessers	16
Abbildung 6: Eindrehen der Schraube.....	17
Abbildung 7: Lagekontrolle	17
Abbildung 8: IntraOS-Schraube am Sprunggelenk	17
Abbildung 9: Intra OP Komplikation	21
Abbildung 10: Implantatfehlage.....	22
Abbildung 11: Mobilität	24
Abbildung 12: Vergleich der Mobilität vor der Aufnahme und bei der Entlassung	25
Abbildung 13: Vergleich der Mobilität bei Entlassung und nach 120 Tagen	25
Abbildung 14: Schraubenspitze in den Röntgenbildern	28
Abbildung 15: Markraumweite an der Schraubenspitze	29
Abbildung 16: Markraumweite nach Schraubengröße	29
Abbildung 17: Differenz zwischen Markraumweite und Gewindedurchmesser der Schraube	31
Abbildung 18: Differenz nach Schraubengröße	31
Abbildung 19: Implantatauswahl.....	35
Abbildung 20: Tatsächliche Auswahl.....	36
Abbildung 21: Verteilung des optimalen Implantats.....	37
Abbildung 22: Anzahl der Markraumweite	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: IntraOS-Schraube	15
Tabelle 2: Postoperative Komplikationen	23
Tabelle 3: Verwendete Schraubengröße.....	28
Tabelle 4: Markraumweite und die optimale Implantatgröße	33

1. Einleitung

Aufgrund der Veränderungen in der Bevölkerungsstruktur sollten den Gesundheitsproblemen älterer Menschen mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden. Im Jahr 2022 beträgt der Anteil der 60-Jährigen und Älteren an der Gesamtbevölkerung in Deutschland bereits 29,4 % [3]. Vor diesem Hintergrund ist mit einer deutlichen Zunahme von Sprunggelenksfrakturen bei geriatrischen Patienten zu rechnen.

Im Vergleich zu gewöhnlichen Patienten weisen geriatrischen Patienten einerseits eine geringere Knochenqualität auf [2], was eine konventionelle Operation zur Repositionierung möglicherweise unmöglich macht. Andererseits ist aufgrund des fortgeschrittenen Alters bei geriatrischen Patienten eine langsamere Genesung zu erwarten, wobei das Risiko von Komplikationen erhöht ist [1].

Ziel der Behandlung ist es, dem Patienten ein Höchstmaß an Selbständigkeit und Lebensqualität zu sichern, und dafür ist es wichtig, Komplikationen und andere mögliche Einschränkungen zu minimieren [4].

Zur Behandlung von Sprunggelenksfrakturen bei geriatrischen Patienten wird derzeit eine neue Operationsmethode eingesetzt. Bei diesem minimalinvasiven Eingriff wird ein speziell entwickeltes Implantat, die IntraOS-Schraube, in den Markraum eingebracht. Diese Versorgung ist auch für Patienten mit Osteoporose geeignet und kann die Fraktur ausreichend stabilisieren [1].

In diesem Artikel werden die postoperativen Komplikationen und der Rehabilitationszustand bestehender Fälle ausgewertet, um die Vorteile im Vergleich zu konventionellen chirurgischen Verfahren aufzuzeigen.

Zusätzlich wurde die postoperative radiologische Diagnostik der vorhandenen Fälle ausgewertet, um der Differenz zwischen Implantat und Markraumweite zu berechnen. Aufgrund dieser Differenz wurde die Möglichkeit diskutiert, ein größeres Implantat einzusetzen, um eine höhere Gewichtsbelastung zu ermöglichen.

Basierend auf den vorhandenen Daten wird untersucht, ob neue Implantatgrößen erforderlich sind.

2. Anatomische Struktur des Sprunggelenks

Das Sprunggelenk ist ein wichtiges Gelenk, das das untere Ende des Unterschenkels mit dem Fuß verbindet. Es besteht aus mehreren Knochen, Bändern und Weichteilen. Das Sprunggelenk besteht hauptsächlich aus dem Talus, der Tibia, der Fibula und den umgebenden Bändern, Muskeln und Blutgefäßen.

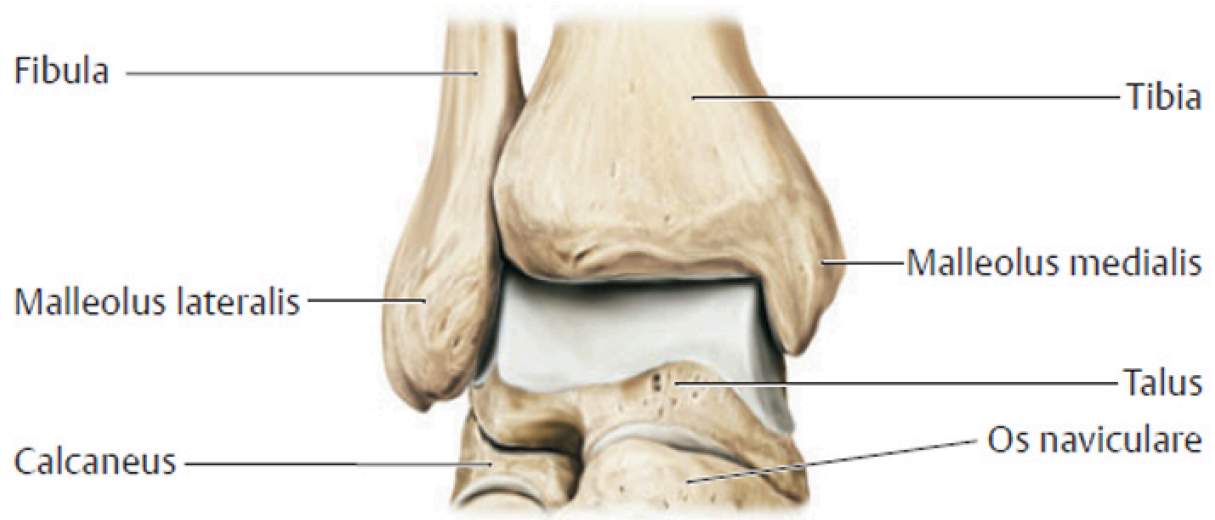


Abbildung 1: Anatomie des Sprunggelenks [13]

2.1 Knochenstruktur

- Talus (Sprungbein): Der Talus ist der zentrale Knochen des Sprunggelenks und trägt wesentlich zur Stabilität und Lastübertragung bei. Er verbindet das Schienbein und das Fersenbein.
- Schienbein (Tibia): Die Tibia befindet sich auf der Innenseite des Sprunggelenks und bildet gemeinsam mit dem Talus den inneren Teil der Gelenkstruktur.
- Fibula (Wadenbein): Die Fibula befindet sich auf der Außenseite des Sprunggelenks und bildet zusammen mit dem Talus und der Tibia die äußere Stützstruktur des Sprunggelenks.

Der Talus fungiert als entscheidender Bestandteil des oberen Sprunggelenks, indem er die Malleolengabel umschließt. Am unteren Ende ist der Talus über das untere Sprunggelenk mit dem Calcaneus verbunden, wodurch eine stabile Verbindung zwischen dem Sprungbein und dem Fersenbein geschaffen wird. Darüber hinaus bildet der Talus vorne Gelenke mit den Knochen der Fußwurzel, was zu einer komplexen Struktur führt. Diese Gelenke sind

überwiegend mit Gelenkknorpel bedeckt, der etwa 60 Prozent der Oberfläche des Talus einnimmt [14].

2.2 Gelenkstruktur

Das obere Sprunggelenk, auch bekannt als Fibulotibiales Gelenk, befindet sich am proximalen Ende der Fibula und Tibia. Es spielt eine wichtige Rolle bei der Innen- und Außenrotation des Fußes.

Das untere Sprunggelenk, auch bekannt als Talokalkaneares Gelenk, liegt zwischen dem Talus und dem Fersenbein und ist ein integraler Bestandteil des komplexen Fußgelenks. Es ist hauptsächlich für die Drehbewegung des Fußes verantwortlich.

2.3 Bänder und Weichteile

Die Tibiotalaren Bänder verbinden den Talus mit der Tibia und umfassen das Tibiotalarband (Ligamentum tibio-talare) sowie das Inferiortibiale Band (Ligamentum talo-fibulare).

Die Talokalkanearen Bänder verbinden den Talus mit dem Fersenbein und umfassen das Talokalkaneare Band (Ligamentum talo-calcaneum).

Insgesamt stellt das Sprunggelenk eine komplexe Struktur dar, die aus verschiedenen Knochen, Bändern und Weichteilen besteht. Der Talus spielt eine entscheidende Rolle für die Stabilität und Funktion des Gelenks, indem er das obere und untere Sprunggelenk verbindet und eine Verbindung zwischen Fuß und Unterschenkel herstellt. Auch die Bänder, wie die Tibiotalaren und Talokalkanearen Bänder, tragen zur Stabilität des Sprunggelenks bei und ermöglichen Bewegungen wie Innen- und Außenrotation sowie Drehbewegungen des Fußes.

Trotz seiner Robustheit ist das Sprunggelenk anfällig für Verletzungen, insbesondere für Frakturen des Talus und anderer Knochen, die das Gelenk bilden. Eine häufige Verletzung ist die Fraktur des Sprunggelenks, die oft durch Trauma verursacht wird [2] und eine sorgfältige Behandlung erfordert, um langfristige Komplikationen zu vermeiden.

3. Sprunggelenksfraktur bei älteren Menschen

Frakturen des Sprunggelenks sind bei älteren Menschen häufig. Im Vergleich zu jüngeren Patienten gibt es bei geriatrischen Patienten aufgrund des Alterungsprozesses Unterschiede im Traumamechanismus, der Frakturmustern, der Knochenqualität und der Begleiterkrankungen [2]. Im Gegensatz zu jüngeren Menschen, die sich Sprunggelenksfrakturen durch Autounfälle und ähnliche starke Gewalteinwirkungen zuziehen, sind es bei älteren Menschen häufiger aufgrund von geringen Verletzungen, wie z.B. Stürzen zu Hause [6].

Andererseits führt das Altern der Knochen zu einer erhöhten Knochenbrüchigkeit, wodurch ältere Menschen anfälliger für pathologische Frakturen sind als jüngere. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass Sprunggelenksfrakturen nicht typischerweise auf Osteoporose zurückzuführen sind. In den meisten Fällen ist die Hauptursache für Sprunggelenksverletzungen bei älteren Menschen die altersbedingte Veränderung der umgebenden Nerven und Blutgefäße. Insbesondere Nervenschäden werden meist durch endokrine Erkrankungen wie Diabetes verursacht [2].

Bei Patienten mit Diabetes erhöht z. B. eine verminderte Schmerzwahrnehmung aufgrund von Nervenschädigungen das Risiko von Frakturen aufgrund mangelnder Sensibilität [6]. Diabetes kann auch zu einer verminderten Immunität führen, die das Risiko von Weichteilinfektionen erhöht, und er kann zu vaskulären Komplikationen führen, die zu einer verminderten peripheren Durchblutung führen können.

Darüber hinaus können bei geriatrischen Patienten arterielle oder venöse Perfusionsstörungen auftreten, die zu langfristigen Weichteilschwellungen führen. Dies erschwert die operative Versorgung und konservative Behandlung und beeinträchtigt die Wundheilung und Frakturheilung.

Ein weiteres Merkmal der älteren Bevölkerung sind degenerative Erkrankungen und Gelenkfehlstellungen. Altersbedingte Gehschwierigkeiten und Gelenkfehlstellungen erhöhen das Verletzungsrisiko. Zudem wird es schwieriger, die anatomischen Strukturen eines geschädigten Gelenks wiederherzustellen [2]. Dies erschwert die Behandlung und Heilung und verlängert die Behandlungsdauer.

Insgesamt leiden die meisten älteren Patienten zum Zeitpunkt des Unfalls bereits an einer oder mehreren Grunderkrankungen. Dies erschwert die anschließende Behandlung und Genesung erheblich.

4. Konventionelle Behandlungsmethoden

Obwohl Sprunggelenksfrakturen bei älteren Menschen häufig sind, werden geriatrische Patienten aufgrund ihres Alters oft nur eingeschränkt behandelt.

Im Vergleich zu jüngeren Patienten verläuft die Rehabilitation bei geriatrischen Patienten langsamer und es treten häufiger Komplikationen auf, die den Krankheitsverlauf verschlechtern, die Bettlägerigkeit verlängern und damit die Lebensqualität beeinträchtigen. Zum anderen können geriatrische Patienten in der Regel nicht wie jüngere Patienten eine Teilbelastung aufrechterhalten, was nach einer Fraktur zu erheblichen funktionellen Beeinträchtigungen führen kann [1, 2].

Der Behandlungsprozess sollte daher vorrangig auf die frühzeitige Wiederherstellung der Selbstpflegefähigkeiten geriatrischer Patienten ausgerichtet sein. Hauptziel der Behandlung sollte es auch sein, das Leben und die Lebensqualität der Patienten zu erhalten und die Komplikationen und Einschränkungen nach einer Sprunggelenksfraktur so gering wie möglich zu halten.

4.1 Konservative Behandlung

Die konservative Behandlung ist sowohl mit Vorteilen als auch mit Risiken verbunden.

Aufgrund des erhöhten Komplikationsrisikos nach operativer Versorgung wird die konservative Behandlung bei geriatrischen Patienten mit Sprunggelenksfrakturen tendenziell bevorzugt [2]. Die konventionelle Behandlungsmethode ist die Gipsbehandlung.

Sind die Knochen nur gespalten, ohne Dislokation oder mit geringer Dislokation, kann eine Gipsfixierung angewendet werden, um den gewünschten therapeutischen Effekt zu erzielen. Dabei ist jedoch auf die korrekte Stellung der Knochen zu achten. Bereits geringe Verschiebungen zwischen Schien- und Sprungbein (1 mm) können zu einer um 40 % erhöhten Druckbelastung des Knorpels führen, was wiederum eine Arthrose auslösen kann [7, 8].

Die Gipsfixierung ist eine einfache Behandlungsmethode, die keine komplexen chirurgischen Eingriffe erfordert und somit chirurgische Risiken vermeidet. Sie kann eine bevorzugte Option für körperlich schwache geriatrische Patienten sein. Die Gipsfixierung bietet einen stabilen Halt und trägt dazu bei, Verletzungen während der Rehabilitationsphase zu vermeiden.

Da der Gips jedoch statisch fixiert ist, müssen geriatrische Patienten während der gesamten Tragezeit in einer festen Position gehalten werden. Dies kann zu Muskelatrophie und Gelenkversteifung führen und stellt eine Herausforderung für die Rehabilitation älterer Patienten dar.

Andererseits ist die Haut älterer Menschen instabil. Außerdem besteht die Gefahr von Schwellungen und Hämatom an den verletzten und empfindlichen Weichteilen. Dies und mögliche alters- oder krankheitsbedingte Wundheilungsstörungen sowie ein erhöhtes Infektionsrisiko erschweren die Gipsbehandlung und machen sie in manchen Fällen sogar unmöglich [4].

Die konservative Therapie stößt daher bei geriatrischen Patienten immer wieder an ihre Grenzen. Dies gilt selbst dann, wenn es sich nur um eine geringfügige Dislokation handelt.

4.2 Operative Versorgung

Im Vergleich zu jüngeren Patienten erfordert die operative Versorgung von Sprunggelenksfrakturen bei geriatrischen Patienten eine sorgfältigere Abwägung möglicher Risiken.

Das primäre Ziel der operativen Versorgung ist die Wiederherstellung der Anatomie des Sprunggelenks und der Gelenkfläche, die Wiederherstellung der Länge und Rotation der Fibula sowie die korrekte Positionierung der Fibula in der Inzisur der Tibia mit abschließender stabiler Fixation [2].

Die traditionelle Operationsmethode ist die Neutralisationsplattenosteosynthese, bei der Schrauben und Platten verwendet werden, um Knochenbrüche zu richten und zu fixieren. Diese Behandlungsmethode ist jedoch aufgrund der Osteoporose bei geriatrischen Patienten mit gewissen Einschränkungen verbunden. Um ausreichende Reibungskräfte zwischen Knochen und Platte zu erzeugen und damit eine stabile Fixation zu gewährleisten, ist ein Anzugsmoment der Schrauben von mindestens 5 Nm erforderlich. Bei Patienten mit Osteoporose können jedoch nur maximal 3 Nm erzeugt werden [9].

Zusätzlich können zwei Platten (eine dorsale und eine laterale) kombiniert werden, um die Stabilität bei Mehrfragmentfrakturen zu erhöhen. Die Verwendung einer längeren Platte kann auch dazu beitragen, die Belastung über eine größere Distanz zu verteilen und ausreichende Reibungskräfte zu erzeugen [10]. Allerdings sind die Weichteile und die Haut älterer Menschen anfälliger für Verletzungen und tolerieren die Verwendung von Platten nicht immer problemlos, weshalb auch die Form der Platte berücksichtigt werden sollte [2]. Längere oder dickere Platten

können das Risiko von Weichteilverletzungen erhöhen, die zu Weichteilinfektionen oder Weichteilnekrosen führen und sogar das Implantat freilegen können. Dies kann die Rehabilitationszeit erheblich verlängern.

Die Behandlung mit herkömmlichen Operationsmethoden bietet zwar eine optimale Rekonstruktion des Sprunggelenks, hat jedoch bei geriatrischen Patienten Einschränkungen gilt und kann zu Weichteil- und Implantatkomplikationen führen, die eine langwierige Behandlung und schwere Funktionseinschränkungen zur Folge haben, die die Lebensqualität und Lebenserwartung beeinträchtigen können.

5. IntraOS-Schraube

5.1 Grundlagen

Die konventionelle chirurgische Behandlung von Sprunggelenksfrakturen bei geriatrischen Patienten ist anfällig für Weichteil- und Implantatkomplikationen. Diese Komplikationen können zu einem langwierigen Heilungsprozess und damit verbundenen Funktionseinschränkungen führen, die die Lebensqualität und Lebenserwartung des Patienten erheblich beeinträchtigen können. So können Standardbehandlungen und Implantate, die üblicherweise bei jüngeren Patienten eingesetzt werden, bei geriatrischen Patienten an ihre mechanischen und biologischen Grenzen stoßen. In solchen Fällen müssen therapeutische Strategien neu bewertet und angepasst werden, um der besonderen Situation geriatrischer Patienten besser gerecht zu werden.

Für die Behandlung von Sprunggelenksfrakturen bei geriatrischen Patienten steht eine neue Operationsmethode zur Verfügung. In einem minimal-invasiven Eingriff wird das speziell entwickelte Implantat IntraOS-Schraube direkt in den Markraum eingebracht, um eine stabile Fixierung der Fraktur zu erreichen. Diese Operationsmethode ist gewebeschonend und daher besonders für geriatrische Patienten geeignet.

IntraOS-Schraube ist Durchbohrte Schrauben zur Versorgung distaler Fibulafrakturen geriatrischer Patienten. Die Schraubenlänge beträgt 140 mm. Im Vergleich zur Clavius Schraube (100 mm) ist die Anwendung bei langen oder proximal lokalisierten Frakturen nicht limitiert.

Der Werkstoff der Schraube ist Ti6Al4V [15]. Diese Titanlegierung hat eine ausgezeichnete Biokompatibilität und wird vom menschlichen Körper nicht leicht abgestoßen. Dies ist die Grundlage dafür, dass die IntraOS-Schraube als dauerhaftes Implantat konzipiert wurde und nicht operativ entfernt werden muss. Die Titanlegierung hat außerdem eine hohe Zugfestigkeit und Härte, die es ermöglicht, bei der Herstellung von Knochenimplantaten eine ausreichende Unterstützung und Stabilität zu bieten.

Das Vollgewindedesign der Schraube vergrößert die Kontaktfläche zwischen dem Implantat und der Markhöhle, was dem Implantat eine gute Stabilität verleiht und die Möglichkeit einer Lockerung in der Markhöhle verringert, wodurch das Risiko einer sekundären chirurgischen Reparatur reduziert wird.

Tabelle 1: IntraOS-Schraube [15]

Größe	Gewindedurchmesser der Schraube	Farbe
S	3,5 mm	Gold
M	3,8 mm	Blau
L	4,7 mm	Hellgrün
XL	5,5 mm	Pink

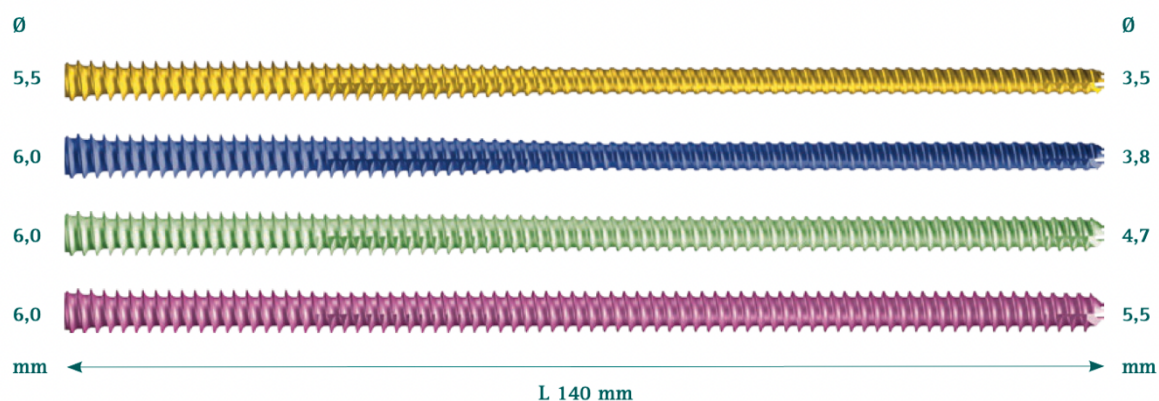


Abbildung 2: Größe der Schraube [15]

Wie in Abbildung 1 und Tabelle 1 dargestellt, wurde die IntraOS-Schraube in vier verschiedenen Größen entwickelt, die vier verschiedenen Farben entsprechen. Um den unterschiedlichen Bedürfnissen der Patienten gerecht zu werden, sind verschiedene Größen für unterschiedliche Markraumbreiten erhältlich. Die verschiedenen Schraubengrößen reduzieren die Fehlanpassung zwischen Implantat und Markraum und damit mögliche Komplikationen.

5.2 OP-Methodik

Während des Eingriffs erhält der Patient in der Regel eine Vollnarkose oder eine Lokalanästhesie. Der Patient wird auf dem Operationstisch in Rückenlage gelagert, um einen guten Gefäßzugang zu gewährleisten. Nach routinemäßiger Sterilisation wird ein ca. 1,5-2 mm langer Hautschnitt von der Außenknöchelspitze nach distal angelegt. Die Inzisionstiefe sollte mäßig sein, um eine unnötige Verletzung der Peronealsehne zu vermeiden [15].

Anschließend wurde das Operationsgebiet mit einem Bildwandler visualisiert, um den optimalen Punkt für die Einbringung des intramedullären Führungsdrahtes zu bestimmen. Die Kortikalis wird mit einem Bohrer von 2,5 mm Durchmesser durchbohrt. Der Führungsdraht

wird durch das Bohrbüchsensystem in den Markraum eingebracht und durch einen 3,5 mm kanülierten Bohrer ersetzt, der wiederum durch die Gewebeschutzhülse und über den Führungsdraht geführt wird, um den proximalen engen Markraum auf den Durchmesser der Schraubengröße zu erweitern. Es wird empfohlen, diesen Schritt unter Bildwandler durchzuführen, um die Genauigkeit der Lagebestimmung zu gewährleisten [15].

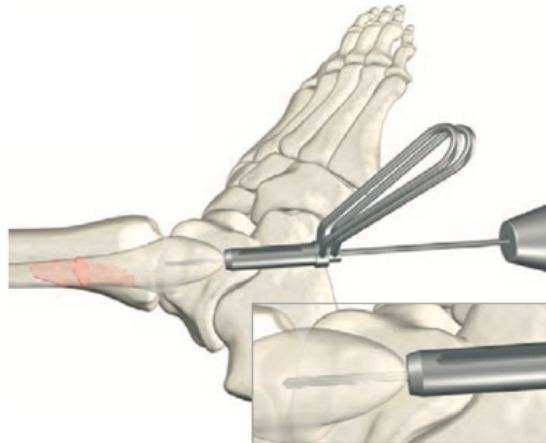


Abbildung 3: Aufbohren der Kortikalis [15]

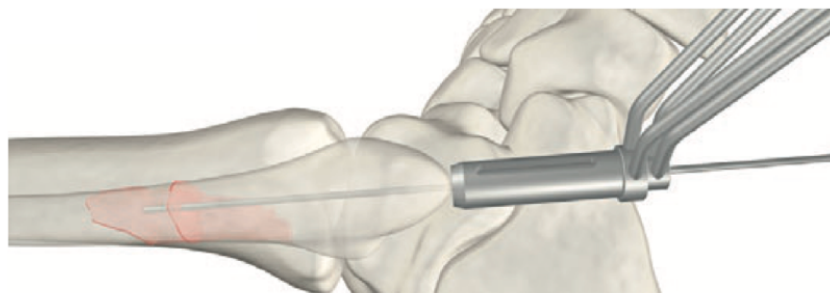


Abbildung 4: Einbringen des Führungsdrahtes [15]

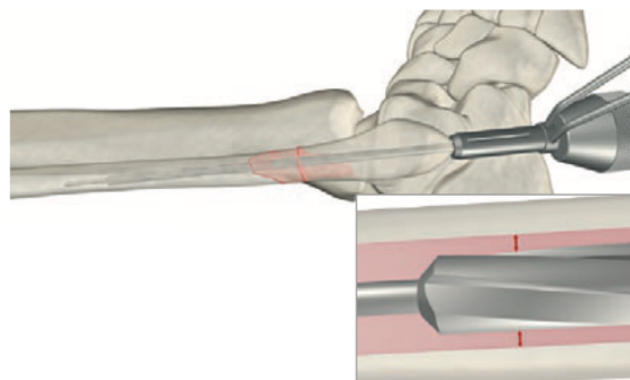


Abbildung 5: Bohren des Kerndurchmessers [15]

Anschließend wird die Schraube durch die Gewebeschutzhülse in den Markraum eingebracht, um eine Verletzung der Hautoberfläche durch die scharfen Gewindeflanken zu vermeiden.

Vor dem Entfernen des Führungsdrahts ist die Position der Schraube in beiden Ebenen sorgfältig zu überprüfen. Die Schraube sollte mindestens bündig mit der Knochenoberfläche sein und kann bei Bedarf tiefer eingebracht werden. Das gesamte Verfahren erfordert eine präzise Bildgebung und stellt sicher, dass die Position der Schraubeneinbringung sorgfältig überprüft und angepasst wird. Diese Schritte können die Sicherheit und den Erfolg des Verfahrens verbessern [15].

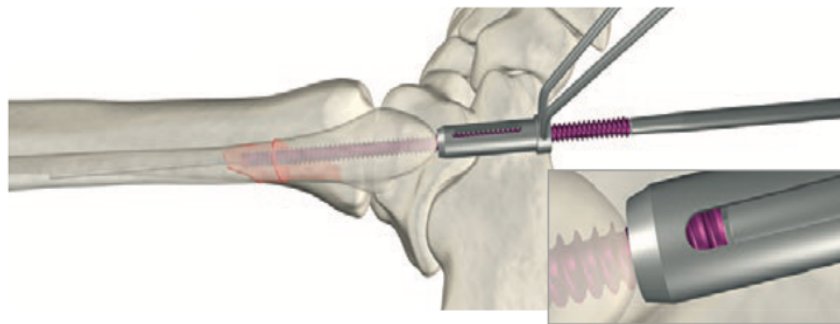


Abbildung 6: Eindrehen der Schraube [15]

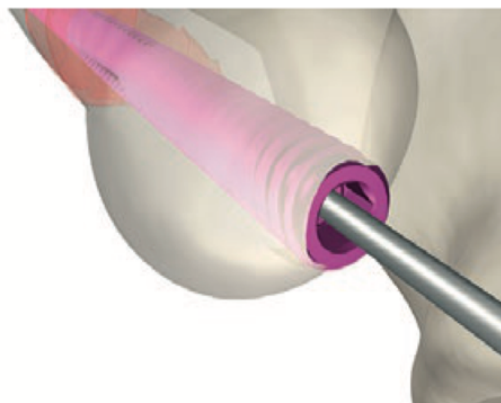


Abbildung 7: Lagekontrolle [15]

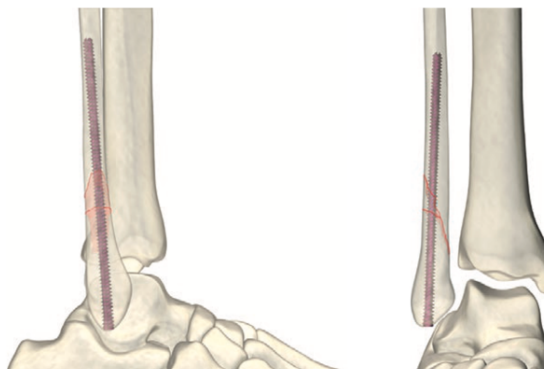


Abbildung 8: IntraOS-Schraube am Sprunggelenk [15]

5.3 Vor- und Nachteile

Die IntraOS-Schraube ist haut- und weichteilschonend, um Komplikationen zu vermeiden. Sie ist außerdem so stabil, dass der behandelte Knochen voll belastet werden kann. Darüber hinaus erfordert sie keine Knochenstärke und kann auch von Patienten mit Osteoporose verwendet werden.

Konventionelle chirurgische Techniken führen bei geriatrischen Patienten mit Sprunggelenkfrakturen häufig zu Weichteil- und Implantatkomplikationen, was einen langwierigen Heilungsprozess zur Folge hat. Dabei ist es gerade bei dieser Patientengruppe besonders wichtig, das Gewebe zu schützen und eine ausreichende Stabilität und Elastizität zu gewährleisten [1]. Das neue Implantat IntraOS-Schraube ist ein minimalinvasives Verfahren mit kleineren Schnitten als bei der herkömmlichen Operation. Diese Operationsmethode ist nicht nur gewebeschonender, sondern stellt auch geringere Anforderungen an die Knochenqualität und ist daher auch für Patienten mit Osteoporose geeignet.

Die IntraOS-Schraube verfügt über ein Vollgewindedesign, das eine hohe intramedulläre Fixation mit deutlich verbesserter Stabilität ermöglicht [1]. Die IntraOS-Schraube bietet eine flexiblere Option für Patienten mit Osteoporose als herkömmliche Plattenimplantate [9], die eine höhere Knochenfestigkeit erfordern. Das Implantatdesign und die minimalinvasive chirurgische Methode tragen nicht nur dazu bei, das Risiko von Weichteil- und Implantatkomplikationen zu reduzieren, sondern ermöglichen auch eine deutlich kleinere Inzision, was eine schonendere Behandlungsoption für geriatrische Patienten mit Sprunggelenkfrakturen darstellt. Die minimal-invasive Operation mit der IntraOS-Schraube gewährleistet somit sowohl ein besseres Behandlungsergebnis als auch einen komfortableren und schnelleren Rehabilitationsprozess, der besser an die spezifischen Bedürfnisse geriatrischer Patienten angepasst ist.

Es ist jedoch zu beachten, dass die Rekonstruktion der Sprunggelenkgabel bei der Behandlung mit der IntraOS-Schraube nicht optimal ist und es nach der Behandlung sogar zu einer vorhersehbaren Gelenkdegeneration kommen kann [12]. Bei geriatrischen Patienten steht jedoch nicht die optimale Rekonstruktion der Sprunggelenkgabel im Vordergrund und degenerative Veränderungen des Gelenks sind von untergeordneter Bedeutung, sondern vielmehr der Schutz des Gewebes, die Gewährleistung einer ausreichenden Stabilität und die Minimierung von Komplikationen. Vor diesem Hintergrund werden die schnellere Wiedererlangung der Vitalfunktionen, die Verkürzung der Bettlägerigkeit und die

Verringerung möglicher Komplikationen zu wichtigeren Zielen der Behandlung geriatrischer Patienten [11].

Eine weitere Einschränkung dieses Verfahrens ist die zusätzliche Schädigung des syndesmotischen Bandes und die damit verbundene Instabilität. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei bereits intramedullär eingebrachten Implantaten keine zusätzlichen Schrauben zur Fixierung eingebracht werden können. Hier sollten alternative Methoden wie die Verwendung von Syndesmosenhaken in Betracht gezogen werden [1].

6. Komplikation und Rehabilitation

Im Zeitraum von Juli 2020 bis Juni 2023 hat das Krankenhaus Zwickau die IntraOS-Schraube erfolgreich zur operativen Versorgung von Sprunggelenksfrakturen bei 114 geriatrischen Patienten eingesetzt. Dabei handelte es sich um 83 weibliche und 31 männliche Patienten mit einem Durchschnittsalter von 76 Jahren und einer Standardabweichung von 11 Jahren. Die meisten Patienten litten an schweren systemischen Komplikationen (ASA 3).

Die ASA-Klassifikation bezieht sich auf ein von der American Society of Anesthesiologists vorgeschlagenes Klassifikationssystem für Narkosepatienten, das zur Beurteilung des allgemeinen Gesundheitszustands eines Patienten vor einer Narkose verwendet wird und dem Anästhesisten als Hilfsmittel bei der Einschätzung des Risikos eines Patienten vor einer Operation dient.

Die ASA-Klassifikation nimmt eine umfassende Bewertung des Gesundheitszustands des Patienten vor und umfasst verschiedene Gesundheitszustände von ASA 1 bis ASA 6. ASA 1 bedeutet, dass der Patient in einem normalen Gesundheitszustand ist, keine Grunderkrankung hat und in die niedrigste Risikokategorie fällt. ASA 2 bedeutet, dass der Patient an einer leichten systemischen Erkrankung leidet, die sich weniger auf die täglichen Aktivitäten auswirkt, aber immer noch in der relativ niedrigen Risikokategorie liegt. ASA 3 bedeutet, dass der Patient an einer mittelschweren systemischen Erkrankung leidet, die sich auf die täglichen Aktivitäten auswirkt und ein zunehmend höheres Operationsrisiko darstellt. Bei ASA 4 und höher haben die Patienten schwerere gesundheitliche Probleme und diese Patienten können ein höheres Operationsrisiko haben.

Von den 107 Patienten, die erfasst wurden:

ASA 1 n = 2

ASA 2 n = 32

ASA 3 n = 73

ASA 4 n = 0

ASA 5 n = 0

ASA 6 n = 0

Die Auswertung von 107 geriatrischen Patienten mit ASA-Klassifikation ergab, dass nur 2 von ihnen in einem normalen präoperativen Zustand ohne Grunderkrankung waren. 32 Patienten (ca. 30%) erreichten ASA 2, was auf einen leichten Gesundheitszustand hinweist. Weitere 73 Patienten (ca. 68%) erreichten ASA 3, was auf eine schwere Erkrankung mit entsprechend erhöhtem Operationsrisiko hinweist.

In diesem Fall sollte besonders darauf geachtet werden, unnötige Risiken zu vermeiden und die Sicherheit der chirurgischen Behandlung des Sprunggelenks bei geriatrischen Patienten zu gewährleisten. Da die meisten Patienten an einer leichten oder schweren systemischen Erkrankung leiden, sollte der Behandlungsplan an den allgemeinen Gesundheitszustand des Patienten angepasst werden. Ziel der Behandlung sollte die Wiederherstellung der Grundfunktion des Patienten sein.

6.1 Intraoperative Komplikation

Intraoperative Komplikationen sind unvorhergesehene Ereignisse oder ungünstige Umstände, die während eines chirurgischen Eingriffs auftreten und sich negativ auf die Gesundheit des Patienten auswirken können. Intraoperative Komplikationen können durch die Operation selbst, das Anästhesieverfahren, den körperlichen Zustand des Patienten oder andere damit zusammenhängende Faktoren verursacht werden.

Die folgende Grafik zeigt die Statistik der 110 Patienten, die operiert wurden:

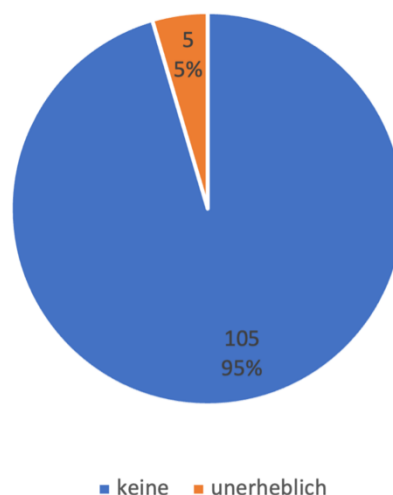


Abbildung 9: Intra OP Komplikation

Erfreulicherweise traten bei 105 der 110 operierten Patienten (ca. 95 %) keine intraoperativen Komplikationen auf. Dies deutet darauf hin, dass das Operationsteam den Eingriff in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle erfolgreich und ohne Zwischenfälle durchgeführt hat. Dies ist positiv für die postoperative Genesung und den allgemeinen Gesundheitszustand der Patienten. Allerdings kam es bei 5 Personen (ca. 5%) zu kleineren Komplikationen während des Eingriffs, schwerwiegendere Komplikationen traten jedoch bei keinem der 110 erfassten Patienten auf. Insgesamt verlief das Verfahren bei der Mehrzahl der Patienten problemlos, was dazu beitrug, die postoperativen Risiken für die Patienten zu minimieren.

6.2 Implantatfehlage

Unter Implantatfehlage versteht man Situationen, in denen ein Implantat im Körper eines Patienten falsch oder anormal positioniert ist, einschließlich Fehlausrichtung, Bewegung oder anderer Positionsprobleme des Implantats. Die korrekte Position des Implantats ist entscheidend für den Erfolg der Operation und die Genesung des Patienten.

Die folgende Grafik zeigt die Statistiken der 109 Patienten, die operiert wurden:

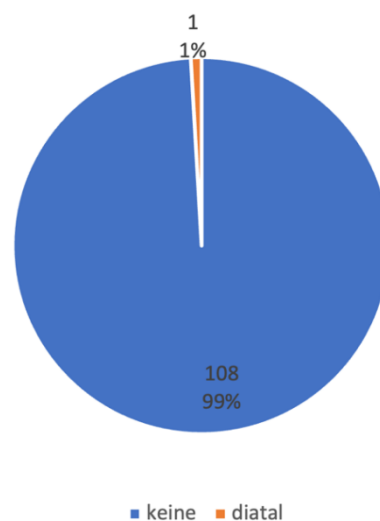


Abbildung 10: Implantatfehlage

Bei 109 operierten Patienten wurde nur bei einem Patienten eine Fehlpositionierung des Implantats am distalen festgestellt, während die anderen 108 Patienten eine normale Implantatposition aufwiesen. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die IntraOS-Schraube in den meisten Fällen vom Chirurgeteam effizient in der richtigen Position im Markraum des Patienten platziert werden konnte und dass während des anschließenden Rehabilitationsprozesses keine Fehlausrichtung, Dislokation oder andere Positionierungsprobleme auftraten.

6.3 Postoperative Komplikation

Postoperative Komplikationen können die Genesung eines Patienten ernsthaft beeinträchtigen und sich auf seinen allgemeinen Gesundheitszustand auswirken. Komplikationen können das Operationsgebiet, den gesamten Körper oder den postoperativen Genesungsprozess betreffen. Sie können nicht nur zu postoperativen Schmerzen und Beschwerden führen, sondern auch die Lebensqualität und die funktionelle Genesung des Patienten beeinträchtigen.

Bei geriatrischen Patienten, die sich einer Operation mit der IntraOS-Schraube unterziehen, wurde eine Statistik der postoperativen Komplikationen erstellt. Die folgende Tabelle kategorisiert die verschiedenen Arten von Komplikationen, zählt die Anzahl der Patienten und den Schweregrad der Komplikationen.

Tabelle 2: Postoperative Komplikationen

Komplikation	Anzahl	unerheblich	problematisch	schwerwiegend	Verfahrenswechsel
Mechanisch Komplikation (n=109)	3	0	1	0	2
Infektion (n=108)	7	1	2	1	3
Thrombose (n=107)	1	-	-	-	-

Aus Tabelle 2 geht hervor, dass mechanische Komplikationen nur bei 3 von 109 Patienten auftraten, von denen 2 einen Verfahrenswandel erforderten, während Infektionen die Komplikation mit der höchsten Auftretenswahrscheinlichkeit bei den erfassten Patienten darstellten, aber nur bei 7 von 108 Patienten auftraten, von denen 3 so schwerwiegend waren, dass ein Verfahrenswandel erforderlich war. Eine Thrombose trat nur bei einem der 108 erfassten Patienten auf.

Insgesamt zeigen die verfügbaren Daten, dass die Wahrscheinlichkeit aller Komplikationen gering ist und bei wenigen Prozent liegt. Die Inzidenz mechanischer Komplikationen war niedrig, während die Inzidenz von Infektionen und Thrombosen ebenfalls relativ niedrig war. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass das Risiko postoperativer Komplikationen für die meisten Patienten in dieser Stichprobe gering ist.

6.4 Postoperative Rehabilitation

Die Mobilität des Patienten im täglichen Leben ist ein wichtiger Indikator für die Beurteilung des Genesungsfortschritts. Der statistische Vergleich der "Mobilität" vor und nach dem

Krankenhausaufenthalt soll eine umfassende Beurteilung der Wirksamkeit der chirurgischen Behandlung und der Genesung des Patienten ermöglichen. Dieser Vergleich liefert wertvolle Informationen über die spezifischen Auswirkungen der chirurgischen Behandlung auf die Mobilität des Patienten.

Die folgende Grafik zeigt die Mobilität ausgewählter Patienten vor dem traumatischen Unfall, bei der Entlassung und 120 Tage postoperativ:

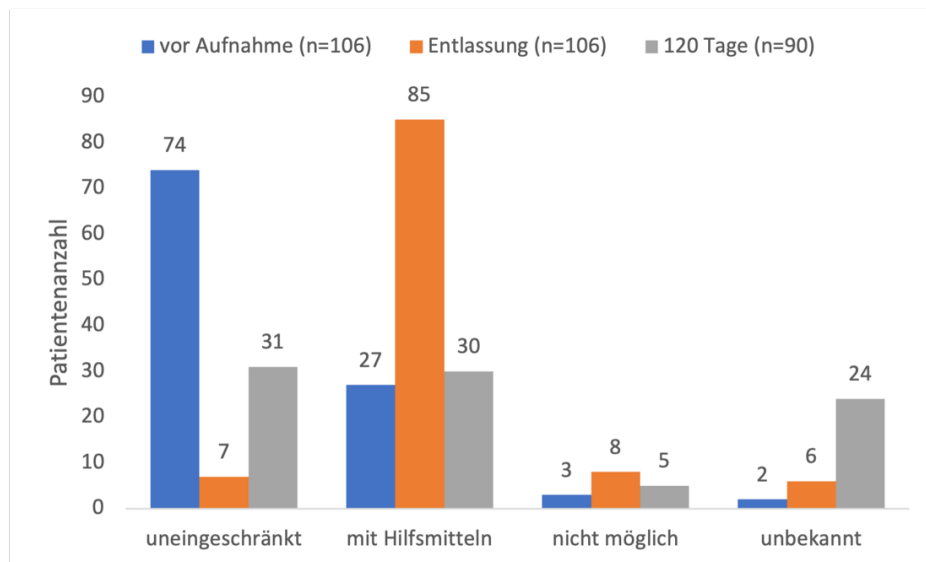


Abbildung 11: Mobilität

Die Abbildung 11 zeigt, dass die Mehrheit der 106 Patienten (74) vor dem Trauma in der Lage war, selbständig und ohne Hilfsmittel zu gehen. Zum Zeitpunkt der Entlassung hatte sich die Situation jedoch deutlich verändert. Nur noch 27 von 106 Patienten konnten uneingeschränkt selbständig gehen, während die Zahl der Patienten, die auf Hilfsmittel angewiesen waren, von 7 vor dem Trauma auf 85 anstieg und damit die große Mehrheit bildete. Gleichzeitig stieg die Zahl der Patienten, die vollständig gehunfähig waren, von 3 vor der Operation auf 8.

In der 120-tägigen postoperativen Phase zeigte sich jedoch eine deutliche Verbesserung. Von den 90 Patienten stieg die Zahl derer, die zum Zeitpunkt der Entlassung ohne Einschränkungen selbständig gehen konnten, von 7 auf 31, während die Zahl derer, die beim Gehen auf Hilfsmittel angewiesen waren, auf 30 sank.

Weitere Statistiken über die postoperative Genesung derselben Patienten wurden ebenfalls erstellt.

Die folgende Grafik vergleicht den Mobilitätsstatus von 106 Patienten vor dem Trauma und zum Zeitpunkt der Entlassung:

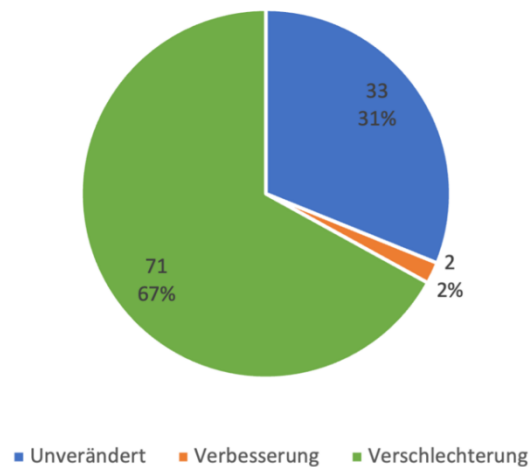


Abbildung 12: Vergleich der Mobilität vor der Aufnahme und bei der Entlassung

Von den 106 Patienten waren 71 Patienten (67% der Gesamtzahl) bei der Entlassung weniger mobil als vor dem Trauma. Weitere 33 Patienten (31% der Gesamtzahl) waren zum Zeitpunkt der Entlassung wieder so mobil wie vor dem Trauma. Sogar 2 Patienten erreichten während des Genesungsprozesses eine bessere Mobilität als vor dem Trauma.

Von 106 Patienten wurde der Mobilitätsstatus von 90 Patienten 120 Tage postoperativ erhoben.

Die folgende Grafik vergleicht den Mobilitätsstatus der 90 Patienten bei der Entlassung mit dem 120 Tage postoperativ:

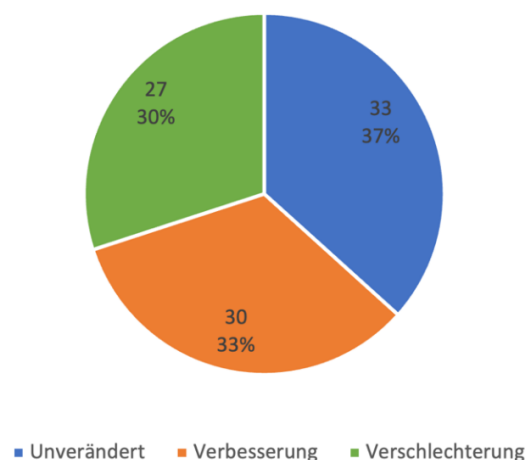


Abbildung 13: Vergleich der Mobilität bei Entlassung und nach 120 Tagen

Die Abbildung 13 zeigt, dass sich der Mobilitätsstatus der Patienten 120 Tage postoperativ im Vergleich zum Zeitpunkt der Entlassung signifikant verbessert hat. In diesem Zeitraum erreichten 30 Patienten 120 Tage postoperativ einen besseren Gehstatus als bei der Entlassung, bei 33 Patienten blieb der Gehstatus unverändert, was 70% der Gesamtzahl entspricht. Mit anderen Worten: Etwa 70% der Patienten hatten 120 Tage postoperativ einen stabilen oder verbesserten Gehstatus. Allerdings verschlechterte sich die Mobilität von 27 Patienten (27%) in diesem Zeitraum.

7. Radiologische Bewertung der Implantatauswahl

7.1 Software

In diesem Forschungsprojekt wurde die DICOM Viewer Software verwendet, um die Bildgebung von postoperativen Patienten zu beurteilen. Diese Software bietet eine Vielzahl von Werkzeugen und Funktionen zur Beurteilung der Bildgebung, einschließlich Vergrößerung, Messung, Bemerkung und Kontrastanpassung. Zusätzlich wurde die Software Microsoft Excel verwendet, um die erfassten Messdaten weiter zu analysieren und zu organisieren. Durch die Verarbeitung und Analyse der Daten können Bilder generiert werden, um für ein besseres Verständnis und eine bessere Darstellung der Informationen der postoperativen radiologischen Bildgebung des Patienten zu erhalten. Der kombinierte Einsatz dieser Werkzeuge bot eine umfassende und effektive Analyseplattform für die Forschung und unterstützte die Bewertung der Implantatauswahl.

7.2 Datengrundlagen

Im Zeitraum Juli 2020 bis Juni 2023 wurden insgesamt 114 geriatrische Patienten operiert. Bis Ende Juni 2023 wurden 82 postoperative Röntgenbilder und 25 postoperative CT-Bilder erstellt. Jeder Patient wurde als Stichprobenindividuum für die Auswertung verwendet. Die Röntgenbilder wurden als bevorzugte Bildgebung für die Auswertung verwendet. Wenn ein Patient sowohl Röntgenbilder als auch CT-Bilder hatte, wurden die Röntgenbilder für die Messung und Auswertung bevorzugt, während bei Patienten, die keine Röntgenbilder, sondern nur CT-Bilder hatten, die CT-Bilder für eine zusätzliche Auswertung ausgewählt wurden. Von den 114 geriatrischen Patienten, bei denen eine Fraktur des Sprunggelenks operiert worden war, standen insgesamt 86 postoperative radiologische Bilder zur Auswertung zur Verfügung, davon 81 Röntgenbilder und 5 CT-Bilder. Diese Auswertungsmethode stellte sicher, dass alle verfügbaren Bildgebung vollständig genutzt wurden, und bot ein effektives Mittel zur Bewertung des postoperativen Zustands älterer Patienten.

Gleichzeitig wurden die Patienten nach der Größe der verwendeten Schrauben kategorisiert und die Ergebnisse detailliert erfasst.

Tabelle 3: Verwendete Schraubengröße

Schraubengröße	Anzahl
S	29
M	29
L	18
XL	10

7.3 Messung und Berechnung

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, mittels radiologischer Bildgebung zu beurteilen, ob der Operateur während der Operation die maximale Implantatgröße gewählt hat, d.h. ob der proximale Implantatdurchmesser der Markraumweite des Patienten entspricht. In diesem Forschungsprojekt wird die Differenz zwischen Implantatdurchmesser und Markraumweite als Beurteilungsgrundlage herangezogen. Auf diese Weise kann festgestellt werden, ob der Operateur die für die Operation optimale Implantatgröße gewählt hat.

7.3.1 Messung der Markraumweite

In der radiologischen Bildgebung wird in diesem Forschungsprojekt die Implantatspitze, d.h. das proximale Implantat, als Messposition gewählt und hier die Markraumweite gemessen. Die gemessene Markraumweite wird zusammen mit dem Schraubendurchmesser als Grundlage für die Bewertung der Implantatauswahl verwendet. Anhand dieser Daten kann beurteilt werden, ob das eingesetzte Implantat mit der Markraumbreite des Patienten kompatibel ist.



Abbildung 14: Schraubenspitze in den Röntgenbildern

Das folgende Diagramm zeigt die Messungen der Markraumweite bei 86 Patienten:

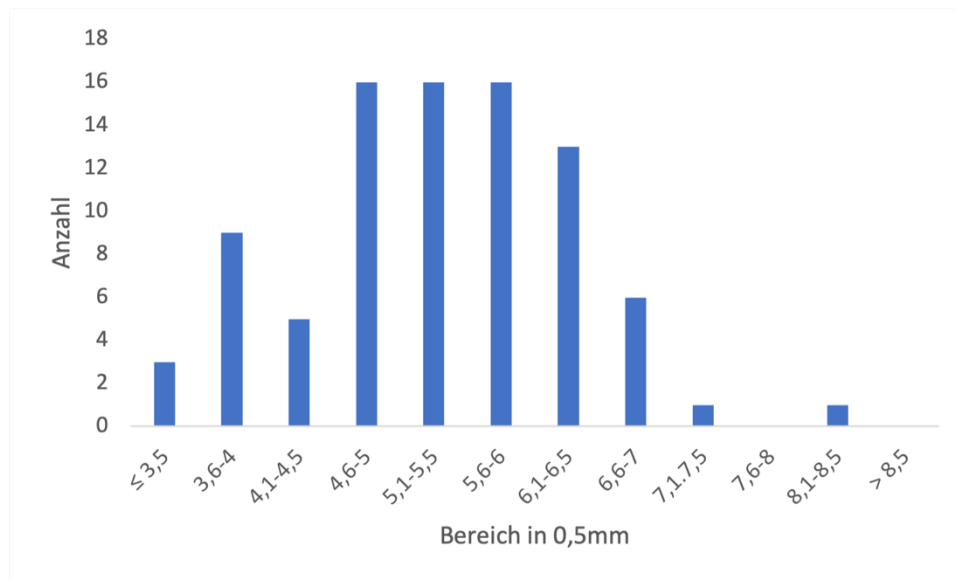


Abbildung 15: Markraumweite an der Schraubenspitze

Um die Messdaten übersichtlicher darzustellen, werden die Daten auch hier in Form eines Histogramms dargestellt.

In der Abbildung 15 wurde die Markraumweite der Patienten in Intervallen von 0,5 mm eingeteilt. Aus dem Diagramm geht hervor, dass die Mehrheit der Patienten eine Markraumweite zwischen 4,6 mm und 6,5 mm aufwies.

Die Patienten wurden auch nach der verwendeten Implantatgröße klassifiziert und die Markraumweite wurde separat gezählt:

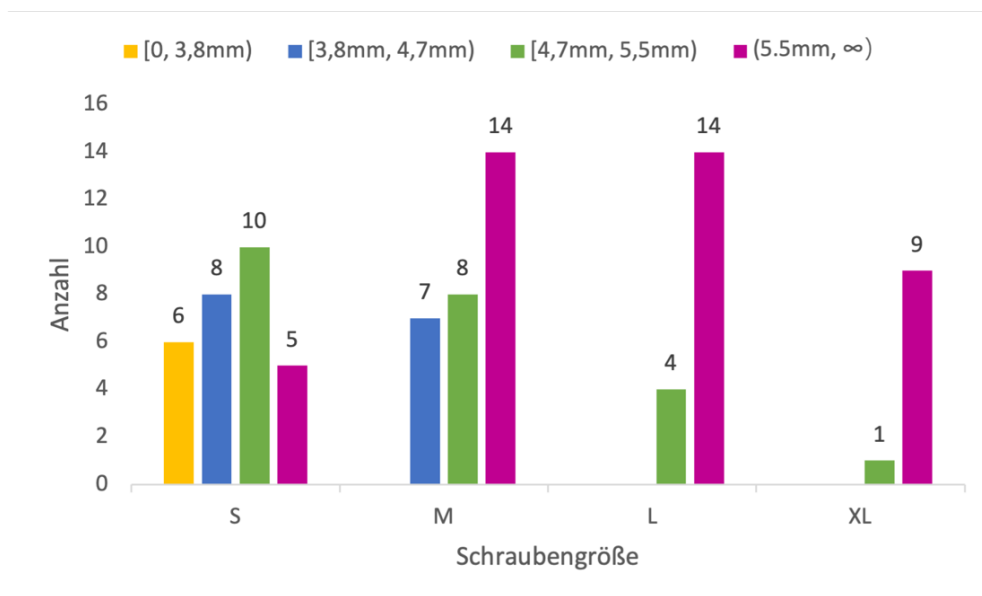


Abbildung 16: Markraumweite nach Schraubengröße

Die Abbildung 16 teilt die Breite des Markraums des Patienten in vier Intervalle entsprechend dem Passbereich jedes Schraubendurchmessers ein, und die Statistik wird entsprechend der Implantatgröße dargestellt. Das Diagramm zeigt, dass die Schrauben der verschiedenen Größen in der Praxis nicht nur innerhalb ihres Passbereichs verwendet wurden. Im Gegenteil, mit Ausnahme der Größe XL wurden die Schrauben der Größen S, M und L häufiger in Intervallen verwendet, für die sie nicht vorgesehen waren. Insbesondere die Größe S, die zu den am häufigsten gewählten Implantatgrößen gehörte, wurde mehrfach zur Implantation gewählt, auch wenn die Markraumweite mehr als 4,7 mm betrug und die Differenzspanne bereits deutlich über 0,8 mm lag.

7.3.2 Berechnen der Differenz

Die Schraubendurchmesser auf radiologische Bildere können aufgrund der projektiven Geometrie geringfügig von den tatsächlichen Schraubendurchmessern abweichen. Bei der Röntgenaufnahme wird die Projektion der Schraube dadurch beeinflusst, dass die Röntgenstrahlen das Objekt durchdringen und auf dem Detektor ein Bild erzeugen. Daher kann der auf dem Röntgenbild sichtbare Schraubendurchmesser geringfügig vom tatsächlichen Durchmesser abweichen.

Um beurteilen zu können, ob die optimale Implantatauswahl getroffen wurde, muss der Durchmesser der im Markraum des Patienten implantierten Schraube gemessen werden. Für diese Messung wurde die Schraubenspitze als Messposition gewählt, die mit der Messposition der Markraumweite übereinstimmt. Durch Subtraktion der gemessenen Markraumweite des Patienten vom der Schraubendurchmesser erhält man die Differenz zwischen Schraube und Markraum nach Implantation der Schraube.

$$\text{Differenz} = \text{Markraumweite} - \text{Gewindedurchmesser der Schraube}$$

Anhand dieser Differenz kann beurteilt werden, ob die aktuelle Schraube passt oder ob genügend Platz vorhanden ist, um sie durch eine größere Schraube zu ersetzen. Bei einer Differenz besteht das Risiko einer Schraubenlockerung.

Das folgende Diagramm zeigt die Differenz zwischen Markraumweite und Schraubendurchmesser bei 86 Patienten:

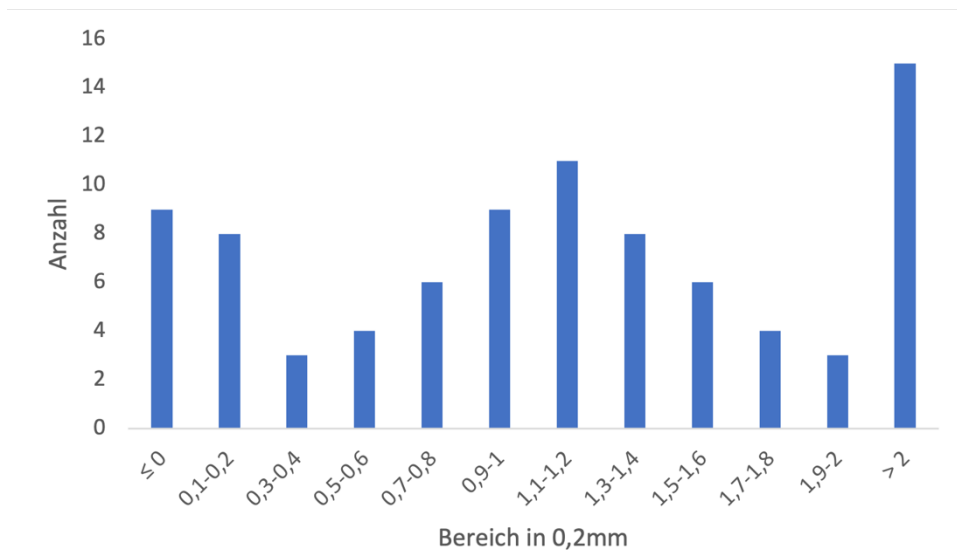


Abbildung 17: Differenz zwischen Markraumweite und Gewindedurchmesser der Schraube

Die Abbildung 17 ist in Bereiche mit einem Intervall von 0,2 mm unterteilt. Es ist zu erkennen, dass die Anzahl der perfekten Übereinstimmungen nur 9 beträgt und die Anzahl der Patienten mit einer Abweichung von 0,8 mm oder weniger nur 30 beträgt, d.h. weniger als die Hälfte der Gesamtzahl der Personen. Im Gegensatz dazu beträgt die Anzahl der Personen mit einer Abweichung von mehr als 0,8 mm 65% der Gesamtzahl.

Gleichzeitig wurde die Differenz wieder nach Implantatgröße statistisch untersucht:

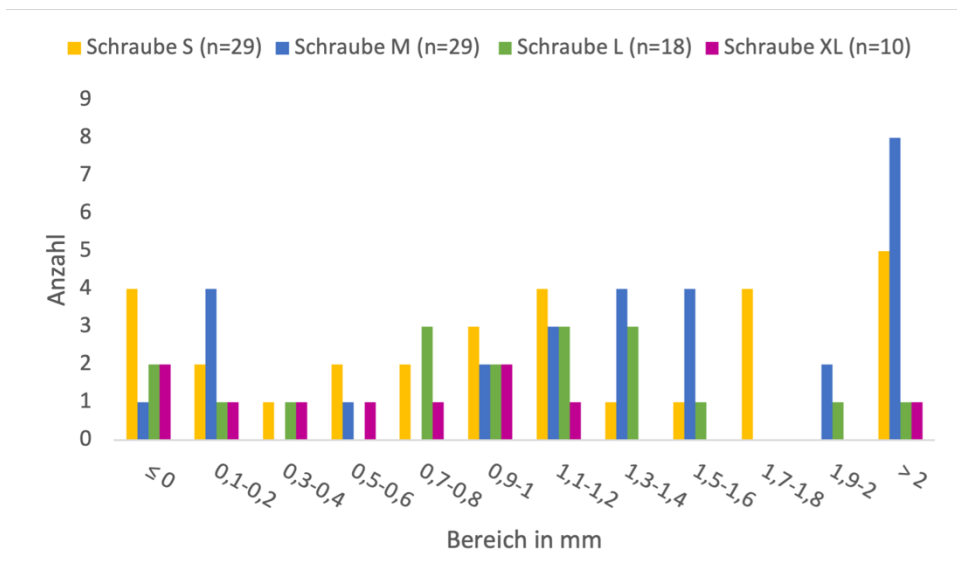


Abbildung 18: Differenz nach Schraubengröße

Die Abbildung 17 und 18 zeigen deutlich, dass die meisten Schraubengrößen nicht optimal gewählt wurden. Und das Vorhandensein einer Abweichung kann zu einem Risiko der Implantatlockerung führen. Die Daten deuten darauf hin, dass bei einigen Implantaten zum Zeitpunkt der Operation eine größere Größe in Betracht gezogen werden könnte, um eine gute Passung zwischen Implantat und Markraum zu gewährleisten und das Risiko einer Implantatlockerung zu verringern.

7.3.3 Berechnen der optimalen Implantatauswahl

Auf der Grundlage der gemessenen Daten ist es möglich, Spekulationen über das optimale Implantat für verschiedene Markraumweite anzustellen. Bei den Spekulationen wird die gemessene Markraumweite als Standardwert verwendet. Als optimales Implantat wird dann die Schraube gewählt, die der Markraumweite am nächsten kommt.

Zuerst werden der Markraum und der entsprechende Schraubendurchmesser durch radiologische Bildgebung bestimmt. Die Subtraktion dieser beiden Werte ergibt die Differenz zwischen Markraum und Implantat. Wenn eine Differenz besteht, bedeutet dies, dass möglicherweise andere Implantatoptionen zur Verfügung stehen. Die gemessene Markraumweite sollte dann als Richtwert verwendet werden, um die Schraubengröße zu finden, die diesem Wert am nächsten kommt.

Es ist jedoch zu beachten, dass die gemessene Markraumweite aufgrund der projektiven Geometrie nicht der realistischen Markraumweite entspricht. Daher ist es nicht möglich, die gemessene Markraumweite direkt mit dem Schraubendurchmesser zu vergleichen. Stattdessen müssen Berechnungen zwischen dem gemessenen Schraubendurchmesser und dem tatsächlichen Schraubendurchmesser durchgeführt werden, um ein Vergrößerungs- oder Verkleinerungsverhältnis zu erhalten.

$$\text{Vergrößerung} = \frac{\text{gemessene Gewindedurchmesser der Schraube}}{\text{gegebene Gewindedurchmesser der Schraube}}$$

Mit dieser Rate wird dann die vergrößerte oder verkleinerte Markraumweite berechnet.

$$\text{Markraumweite} = \frac{\text{gemessene Markraumweite}}{\text{Vergrößerung}}$$

Die berechnete Markraumweite wird dann mit dem Schraubendurchmesser verglichen. Diese Berechnung ermöglicht die Bestimmung des Schraubendurchmessers, der der tatsächlichen Markraumbreite am besten entspricht und eine gute Passung zwischen Implantat und Markraum gewährleistet.

7.4 Ergebnisse

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurden der Schraubendurchmesser an der Schraubenspitze und die Markraumweite am Gegenstück durch Auswertung der vorhandenen radiologischen Bildgebung gemessen. Aus diesen Daten wurde die Differenz zwischen Implantat und Markraum berechnet. Durch die Analyse dieser Differenzen kann festgestellt werden, ob die aktuelle Schraubengröße gut in den Markraum passt. Eine besser sitzende Schraube verringert die Wahrscheinlichkeit einer Schraubenlockerung und eine größere Größe erhöht die Belastbarkeit. Diese individuelle, auf Messdaten basierende Bewertung kann als Leitlinie dienen und sollte die Erfolgsrate von Folgeoperationen verbessern, Komplikationen reduzieren und damit den Rehabilitationsbedürfnissen der Patienten besser gerecht werden.

Die Markraumweite wurde als Kriterium verwendet, um die Schraubengröße zu finden, die der optimalen Implantatgröße entspricht.

Tabelle 4: Markraumweite und die optimale Implantatgröße

Markraumweite	Anzahl	Größen	Differenz	Markraumweite	Anzahl	Größen	Differenz
3,5	4	1	0	5,4	3	3	0,7
3,6	1	1	0,1	5,5	2	4	0
3,7	1	1	0,2	5,6	2	4	0,1
3,8	2	2	0	5,7	5	4	0,2
3,9	1	2	0,1	5,8	4	4	0,3
4,0	5	2	0,2	5,9	2	4	0,4
4,2	2	2	0,4	6,0	3	4	0,5
4,3	1	2	0,5	6,1	3	4	0,6
4,4	1	2	0,6	6,2	3	4	0,7

4,5	3	2	0,7	6,3	1	4	0,8
4,6	1	2	0,8	6,4	3	-	0,9
4,7	6	3	0	6,5	1	-	1,0
4,8	1	3	0,1	6,6	2	-	1,1
4,9	3	3	0,2	6,7	1	-	1,2
5,0	3	3	0,3	6,8	1	-	1,3
5,1	6	3	0,4	7,0	1	-	1,5
5,2	3	3	0,5	7,1	1	-	1,6
5,3	3	3	0,6	8,2	1	-	2,7

In Tabelle 4 wurde die Markraumweite bei allen Patienten gezählt und die passenden Größen sowie die Differenz zwischen dem passenden Schraubendurchmesser und der Markraumweite angegeben. Es ist zu erkennen, dass innerhalb des Anpassungsbereichs jeder Schraubengröße die maximale Differenz zur Markraumweite nicht mehr als 0,8 mm betrug.

Es ist jedoch zu beachten, dass die größte derzeit verfügbare Schraubengröße einen Durchmesser von 5,5 mm hat; wenn 0,8 mm als maximal akzeptable Differenz angenommen wird, könnten Patienten mit einer Markraumweite von mehr als 6,3 mm kein geeignetes Implantat unter den verfügbaren Größen auswählen. Die Statistik zeigt, dass 11 Patienten einen Markraum von mehr als 6,3 mm hatten, was 12,8% der 86 Patienten entspricht.

Um intuitiv das optimale Implantat zu finden, wurde die aktuelle Implantatauswahl in die folgenden drei Situationen eingeteilt:

- Kein Austausch erforderlich: Die Markraumweite des Patienten entspricht der bereits gewählten Schraubengröße.
- Austausch der Schraube durch andere Größen: Die Markraumweite des Patienten übersteigt die aktuell gewählte Schraubengröße und das optimale Implantat sollte eine größere Schraubengröße sein.
- Keine passende Schraubengröße verfügbar: Die Markraumweite des Patienten übersteigt den Bereich aller verfügbaren Schraubengrößen und das optimale Implantat kann nicht ausgewählt werden.

Die Statistiken für die drei Fälle werden nun in Form von Bildern visualisiert:

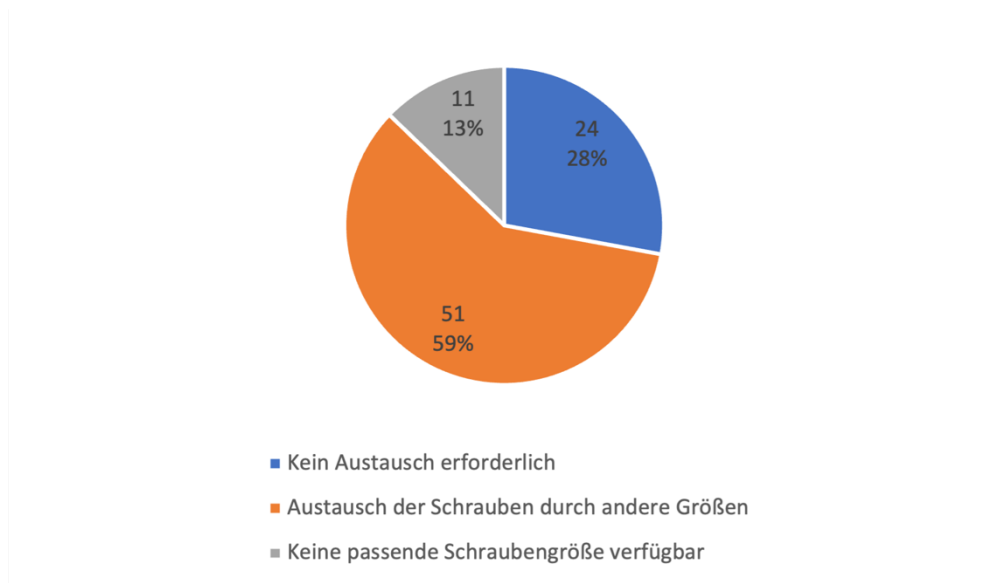


Abbildung 19: Implantatauswahl

Die berechnete Differenz zeigt, dass bei 25 der 86 Patienten, d.h. bei 28% der Gesamtzahl, das verwendete Implantat bereits die optimale Wahl aus den Daten war. Bei diesen Patienten betrug die Differenz zwischen Schraubendurchmesser und Markraumweite an der Schraubenspitze nicht mehr als 0,8 mm, was bereits der maximalen Größe des für ihre Markraumweite verfügbaren Implantats entsprach.

Im Gegensatz dazu verwendeten 62 Patienten, d.h. 72% der Gesamtzahl, derzeit Implantate, die nicht optimal an ihre Markraumweite angepasst waren. Basierend auf der gemessenen Markraumweite hätte der Chirurg bei diesen Patienten während der Operation eine größere Schraube wählen müssen.

Wie die Abbildung 19 zeigt, stand bei 49 von 62 Patienten eine Implantatgröße zur Verfügung, die für ihre Markraumweite das optimale Implantat gewesen wäre, aber zum Zeitpunkt der Operation nicht verwendet wurde. Bei weiteren 11 Patienten stand kein optimales Implantat zur Verfügung, da die Markraumweite zu groß war und die Differenz zwischen Markraumweite und Schraubendurchmesser selbst bei der größten Implantatgröße mehr als 0,8 mm betrug, was 13 % der Patienten in diesem Forschungsprojekt betraf.

Daher sollten die Ärzte bei der Auswahl der für den Patienten geeigneten Implantate während der Operation sorgfältiger vorgehen und nach Möglichkeit Schrauben mit einer ähnlichen Breite wie der Markraum wählen, um die Differenz zwischen beiden zu verringern und damit das Risiko einer Lockerung oder gar eines Herausrutschens der Schrauben aus dem Markraum

zu reduzieren. Gleichzeitig bieten Schrauben mit größerem Durchmesser eine bessere Unterstützung und Stabilisierung.

Um ein differenzierteres Verständnis der aktuellen Auswahl zu ermöglichen, werden im folgenden Balkendiagramm die Implantate nach Größen kategorisiert und die aktuelle Auswahl an Schrauben für jede Größe dargestellt:

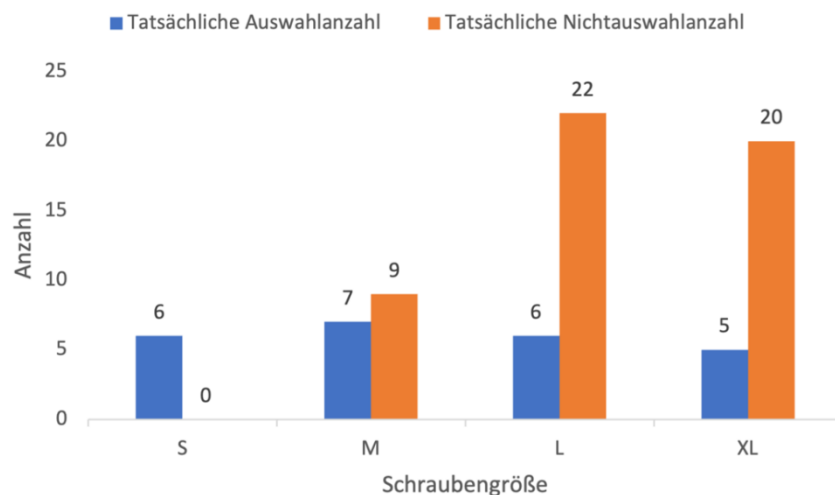


Abbildung 20: Tatsächliche Auswahl

In diesem Forschungsprojekt wurde die tatsächliche Auswahl des optimalen Implantats nach Schraubengröße kategorisiert und die tatsächliche Anzahl der Personen, die ausgewählt wurden, und die tatsächliche Anzahl der Personen, die nicht ausgewählt wurden, gezählt, wenn verschiedene Schraubengrößen als optimales Implantat verwendet wurden. Aus der Abbildung 20 geht hervor, dass mit Ausnahme der Größe S, bei der alle Auswahl erfüllt sind, die Schraubenauswahl bei allen anderen Modellen nicht den Erwartungen entspricht.

So wurde z.B. von den 16 Patienten, bei denen die Größe M als optimales Implantat hätte gewählt werden sollen, nur bei 7 Patienten die Größe M bei der tatsächlichen Operation verwendet und bei weiteren 9 Patienten eine nicht passende Größe gewählt. Bei der Größe L lag der Anteil sogar bei 79 Prozent, wobei 22 von 28 Patienten Probleme mit der Implantatwahl hatten und nur 6 die Größe L wählten. Bei den 25 Fällen, in denen die Größe XL als optimales Implantat hätte gewählt werden sollen, war die Wahl ähnlich wie bei der Größe L: 20, also 80 Prozent, wählten eine Größe, die nicht dem optimalen Implantat entsprach.

Gleichzeitig werden die Fälle, für die es derzeit Möglichkeiten für optimale Implantate gibt, in Form von Bildern dargestellt:

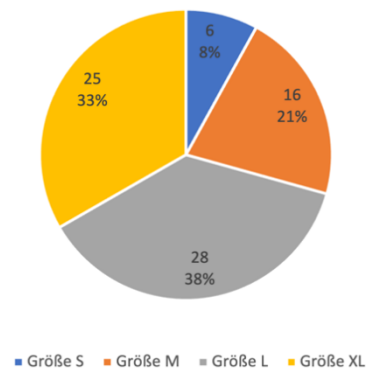


Abbildung 21: Verteilung des optimalen Implantats

Wie die Prozentzahlen zeigen, entspricht die tatsächliche Wahl des optimalen Implantats nicht den Erwartungen und es gibt noch viel Raum für Verbesserungen bei der Wahl des Implantats zum Zeitpunkt der Operation. Insbesondere bei den Größen L und XL werden in fast 4/5 der Fälle kleinere Implantate gewählt, was zu einer suboptimalen Implantatauswahl für die Patientin führen kann. Das Risiko einer Implantatlockerung ist umso größer, je größer die Differenz zwischen Schraubendurchmesser und Markraumweite ist. Auf der anderen Seite können kleinere Implantate auch eine geringere Belastbarkeit aufweisen, was das Risiko erhöht, dass sich die Schraube im Markraum verbiegt, was schwerwiegendere Folgen für die Patientin haben kann.

Daher muss der Chirurg bei der Auswahl der Implantate während der Operation sehr vorsichtig sein. Bei den Größen S und M sollte die Möglichkeit des Austausches gegen ein Implantat größerer Größe sorgfältig geprüft werden; bei den Größen L und XL sollten mehr Versuche unternommen werden, sie zu verwenden, da statistisch gesehen die L- und XL-Implantate in mehr als der Hälfte der Fälle die optimale Implantatlösung darstellen.

8. Weitere möglich neu Schraubengröße

Die obige Statistik zeigt, dass 11 Patienten noch nicht in der Lage waren, die optimale Schraubengröße zu finden.

Die Faktoren, die die Unfähigkeit der Patienten beeinflussen, das optimale Implantat zu finden, können mehrere Aspekte umfassen. Erstens ist die Tatsache, dass die Markraumweite außerhalb des Standardbereichs liegt, eine direkte Ursache für die Schwierigkeiten der Patienten, eine geeignete Schraubengröße zu finden. In einigen Fällen können Abweichungen in der Breite des Markraums mit der Erkrankung selbst zusammenhängen, z. B. mit der Vergrößerung des Markraums nach einer Fraktur oder mit der Degeneration des Knochengewebes aufgrund von Osteoporose. Darüber hinaus wird die Auswahl durch die verfügbaren Größen und das Fehlen von Schrauben mit spezifischen Gewindedurchmessern, die den Bedürfnissen aller Patienten gerecht werden, eingeschränkt.

Aus den Messdaten ergaben sich folgende Messergebnisse:

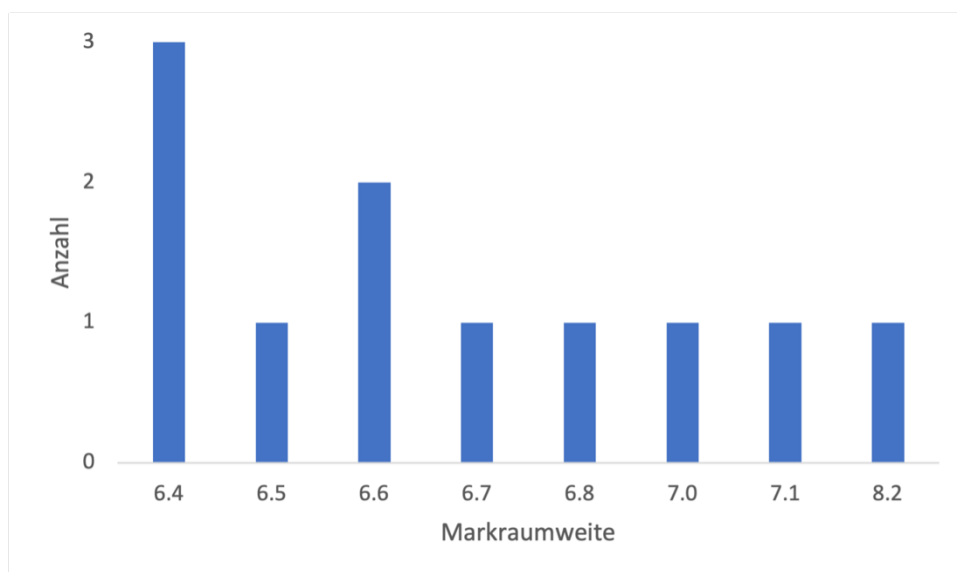


Abbildung 22: Anzahl der Markraumweite

Auf der Grundlage der zur Verfügung gestellten Messdaten (Abbildung 22) ist es möglich, erste Annahmen über den Gewindedurchmesser der neuen Schraubengröße zu treffen. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Annahmen auf einer begrenzten Stichprobe von Daten beruhen und daher in ihrer Genauigkeit und Zuverlässigkeit eingeschränkt sein können.

Die erste Annahme ist, dass die neue Schraubengröße einen Gewindedurchmesser von 6,4 mm hat, und unter dieser Annahme beträgt die Differenz zwischen dem Schraubendurchmesser von 6,4 mm und den anderen Markraumweite nicht mehr als 0,8 mm. Es kann jedoch Patienten

geben, die einen größeren Schraubendurchmesser benötigen, z. B. solche mit einer Markraumweite von 8,2 mm, aber es gibt nur einen solchen Fall, der als Einzelfall behandelt werden kann und hier nicht berücksichtigt werden muss.

Aufgrund der geringen Stichprobengröße muss diese Hypothese jedoch durch weitere Daten und Analysen untermauert werden, um neue Schraubendurchmesser festzulegen. Um die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Hypothese zu verbessern, wird empfohlen, weitere Messungen durchzuführen, um verlässlichere Ergebnisse zu erhalten.

9. Diskussion

Dieses Forschungsprojekt demonstriert die chirurgische und klinische Leistung des neuen Implantats, der IntraOS-Schraube, und analysiert die Implantatauswahl auf der Grundlage einer radiologischen Bewertung.

Die Ergebnisse zeigen, dass die neuen Implantate für die Versorgung von Sprunggelenksfrakturen bei geriatrischen Patienten vorteilhaft sind. Allerdings ist es für den Chirurgen schwierig, während der Operation das optimale Implantat für die Markraumweite des Patienten auszuwählen. In einigen Fällen gelang es dem Chirurgen, die optimale Schraubengröße zu wählen, aber in den meisten Fällen wich die tatsächliche Wahl von der optimalen Wahl ab. Beispielsweise wählten 22 bzw. 20 Patienten für die Größen L und XL ein Implantat das nicht der optimalen Implantatauswahl entsprach, was auf eine gewisse Verzerrung in der Praxis hindeutet. Diese Verzerrung kann sich auf die Genesung des Patienten auswirken, da bei kleineren Schrauben einerseits die Gefahr besteht, dass sie sich lockern und im Markraum verrutschen, und andererseits ihre Belastbarkeit geringer ist und sogar die Möglichkeit besteht, dass sie sich im Markraum verbiegen.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Breite des Markraums an verschiedenen Stellen unterschiedlich ist. Im Idealfall sollte die Schraube so eingebracht werden, dass die Schraubenspitze so nahe wie möglich an der Breite des Markraums an der entsprechenden Stelle liegt, um das Risiko einer Lockerung zu minimieren und die Belastbarkeit zu maximieren. In der Praxis kann es jedoch vorkommen, dass die Breite des Markraums in der Mitte der Schraube wesentlich geringer ist als die Breite der Schraubenspitze, so dass Schrauben mit größerem Durchmesser nicht einfach weiter von der Mitte zur Spitze reichen. Dies veranlasst den Chirurgen, eine Schraube mit kleinerem Durchmesser für den Eingriff zu wählen, aber die Differenz in der Schraubenspitze kann immer noch zu einer Schraubenlockerung und damit zu einem erhöhten Risiko führen. Eine der Richtungen, in die zukünftige Forschung gehen sollte, ist daher die Frage, wie die Schraubengröße besser ausgewählt werden kann.

Dieses Projekt weist jedoch einige wichtige Einschränkungen auf. Erstens war die Stichprobenpopulation klein, so dass die Ergebnisse möglicherweise in einer Weise analysiert wurden, die statistisch nicht signifikant und nicht repräsentativ für die gesamte Patientenpopulation ist. Zweitens kann es bei der Datenerhebung und -analyse zu einer gewissen Verzerrung gekommen sein, die die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Ergebnisse beeinträchtigt.

Zukünftige Forschung könnte weiter untersuchen, wie Ärzte bessere Entscheidungen über die Implantatgröße und den sicheren Bereich für die Differenz zwischen Schraubendurchmesser und Markraumweite treffen können. Darüber hinaus könnten größere Studien durchgeführt werden, um die Ergebnisse dieser Studie zu validieren und die Beziehung zwischen der Markraumweite des Patienten und der Wahl der Schraubengröße weiter zu untersuchen.

Diese weitere Forschung wird dazu beitragen, die chirurgischen Erfolgsraten zu verbessern und den Ärzten bessere Leitlinien für die Implantatauswahl an die Hand zu geben, um die Ergebnisse für die Patienten zu verbessern.

10. Zusammenfassung

Die Inzidenz von Sprunggelenksfrakturen bei geriatrischen Patienten steigt mit dem zunehmenden Anteil älterer Menschen in der Bevölkerung. In diesem Projekt wurde die operative Versorgung mit einem neuen Implantat, der IntraOS-Schraube, evaluiert, die speziell entwickelt wurde, um diesen neuen Ansatz zur Behandlung von Sprunggelenksfrakturen bei geriatrischen Patienten zu analysieren.

Eine detaillierte Analyse der postoperativen Komplikationen und des Rehabilitationsstatus der bisher behandelten Fälle zeigt, dass das neue Implantat bei der Behandlung von Sprunggelenksfrakturen bei geriatrischen Patienten Vorteile bietet, die die herkömmliche Operation nicht hat. Die meisten Patienten erlangten nach der Operation ihre Mobilität zurück, was zu einer Verbesserung der Lebensqualität der Patienten beiträgt und eine nützliche Lösung für die Herausforderungen einer alternden Gesellschaft darstellen sollte.

Im Rahmen des Projektes wurden auch postoperative Röntgen- und CT-Bilder ausgewertet, um anhand der Bildgebung zu beurteilen, ob der Operateur während der Operation das maximal mögliche Implantat ausgewählt hat. Zu diesem Zweck wurde die Differenz zwischen dem Gewindedurchmesser der Schraube und der Markraumweite berechnet, um eine umfassende Analyse der Implantatauswahl durchzuführen und den Bedarf an neuen Implantatgrößen weiter zu diskutieren. Die Studie soll Chirurgen bei der Auswahl von Implantaten zum Zeitpunkt der Operation als Leitfaden dienen. Es ist wichtig zu beachten, dass Schrauben nur für die Mehrheit der Patienten geeignet sind und nicht für jeden Patienten maßgeschneidert werden können, so dass die Differenz zwischen Schraube und Markraum gegeben ist.

Darüber hinaus weist das vorliegende Projekt erhebliche Einschränkungen auf. Die mangelnde Stichprobengröße führt zu einer mangelnden Generalisierbarkeit der Analyse und die Ergebnisse der vorliegenden Studie können in Zukunft durch die Kombination von Daten aus einer größeren Stichprobe validiert und verbessert werden.

Zusammenfassend bewertet diese Arbeit verschiedene Aspekte von Intra OS, einem neuartigen Implantat zur Behandlung von Sprunggelenksfrakturen, und gibt Empfehlungen für die Implantatauswahl. Es wird erwartet, dass dadurch die Erfolgsrate bei der Rehabilitation der Patienten erhöht und ihre Lebensqualität verbessert wird.

Literatur- und Quellenverzeichnis

1. Karich, Bernhard, "Minimalinvasive Osteosynthese geriatrischer Sprunggelenksfrakturen mit kopflosen Vollgewindeschrauben", *Der Unfallchirurg*, 22. Juni 2017.
2. Ochman, Sabine, Julia Evers, and Michael J. Raschke. "Sprunggelenksfraktur im Alter – was ist anders?." *OP-Journal* (2014): 76-80.
3. Statistisches Bundesamt: Bevölkerung nach Altersgruppen ab 2011 in Prozent.
<https://www.destatis.de/DE/Themen/GesellschaftUmwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsst and/Tabellen/liste-altersgruppen.html#249808>
4. Klos, K., Simons, P., Mückley, T. et al. Frakturen des oberen Sprunggelenks beim älteren Patienten. *Unfallchirurg* 120, 979–992 (2017).
5. Pichl J, Hoffmann R. [Ankle fractures in the elderly]. *Unfallchirurg* 2011; 114: 681–687.
6. Ochman S, Raschke MJ. Sprunggelenk und Fuß. *Alterstraumatologie* 2009; 1: 497–517.
7. Ramsey PL. Changes in tibiotalar area of contact caused by lateral talar shift. *JBJS Am.* 1976; 58:356-357.
8. Burns, et al. *Foot Ankle* 1993;14:153-158.
9. Egol KA, Kubiak EN, Fulkerson E, Kummer FJ, and Koval KJ. "Biomechanics of locked plates and screws." *J Orthop Trauma*, 18 (2004), pp. 488-493.
10. McKean J, Cuellar DO, Hak D et al. "Osteoporotic ankle fractures: an approach to operative management." *Orthopedics*, 36 (2013), pp. 936–940.
11. Smith M, Medlock G, Johnstone AJ. Percutaneous screw fixation of unstable ankle fractures in patients with poor soft tissues and significant co-morbidities. *Foot Ankle Surg.* 2017; 23:16–20.
12. Toole WP, Elliott M, Hankins D et al. Are low energy open ankle fractures in the elderly the new geriatric hip fracture? *J Foot Ankle Surg.* 2015; 54:203–206.
13. *Endspurt Vorklinik, Anatomie 1*. 3. Auflage. 2015. *Thieme*.
14. Gelenk-Klinik. "Talusfraktur und Talusnekrose - Knochentod und Arthrose im Sprungbein." Abgerufen von <https://gelenk-klinik.de/sprunggelenk/talusfraktur-und-talusnekrose-knochentod-und-arthrose-im-sprungbein.html>.
15. "Übersicht Operationstechnik-Distale Fibulafrakturen mit der IntraOS-Schraube." Abgerufen von <https://www.intercus.de/produktkatalog/produktdetails/intraos-schrauben/>.

Anhang

Anhang 1: Berechnung der Markraumweite

gemessene Markraumweite	Vergrößerung	Markraumweite	gegebene Implantatgrößen	optimale Implantatauswahl
4,2	1,06	4,0	1	2
4,2	1,06	4,0	1	2
3,9	1,03	3,8	2	2
6,5	1,17	5,6	3	4
5,7	1,00	5,7	2	4
5,5	1,05	5,2	2	3
4	1,00	4,0	2	2
6	1,03	5,8	2	4
7	1,00	7,0	1	-
6,4	1,00	6,4	4	-
6,5	0,98	6,6	3	-
5,1	1,00	5,1	2	3
5,6	1,02	5,5	3	4
6	1,00	6,0	1	4
5,2	1,00	5,2	1	3
6,4	1,03	6,2	1	4
5,5	0,96	5,7	4	4
3,9	1,06	3,7	1	1
6,4	1,11	5,8	3	4
5	1,03	4,9	2	3
4,4	1,06	4,2	1	2
5,4	1,09	5,0	1	3
6,6	0,98	6,7	4	-
6,1	1,05	5,8	2	4
5,3	1,00	5,3	1	3
3,3	0,91	3,6	1	1
5,8	0,96	6,0	4	4
4,8	1,06	4,5	1	2
4,6	1,06	4,4	1	2
5,5	1,08	5,1	2	3
3,6	0,94	3,8	1	2
4,8	1,03	4,7	1	3
5,2	1,00	5,2	2	3
6,8	1,09	6,2	4	4

5,8	1,03	5,6	1	4
5	1,02	4,9	4	3
6,2	0,87	7,1	2	-
5,4	1,06	5,1	1	3
6	1,00	6,0	3	4
6,4	1,03	6,2	2	4
4,4	1,03	4,3	2	2
6,5	1,00	6,5	2	-
5	1,02	4,9	3	3
4,8	1,00	4,8	1	3
5,8	1,02	5,7	3	4
5,2	1,02	5,1	3	3
5	1,00	5,0	2	3
5,5	1,02	5,4	3	3
4,8	1,03	4,7	1	3
5,8	1,00	5,8	4	4
6,6	1,08	6,1	2	4
3,5	1,00	3,5	1	1
5,8	1,26	4,6	2	2
4,8	1,02	4,7	3	3
3,5	1,00	3,5	1	1
6,2	1,08	5,7	2	4
5,6	0,91	6,1	3	4
4,8	1,03	4,7	1	3
4	1,00	4,0	2	2
5,4	1,00	5,4	2	3
4,5	1,00	4,5	1	2
7,2	1,06	6,8	3	-
4,6	1,09	4,2	1	2
6,4	1,00	6,4	4	-
6,3	1,00	6,3	3	4
6,6	1,00	6,6	2	-
5,6	1,02	5,5	4	4
5,5	0,94	5,9	3	4
3,8	0,97	3,9	2	2
5,8	1,03	5,7	2	4
6,6	1,03	6,4	1	-
5,4	1,05	5,1	2	3
4	1,00	4,0	2	2
6	1,02	5,9	3	4

6,2	1,02	6,1	3	4
4,6	0,97	4,7	2	3
3,7	1,06	3,5	1	1
5	1,00	5,0	2	3
5,6	1,04	5,4	3	3
4,8	1,02	4,7	3	3
5,4	1,06	5,1	1	3
8,5	1,04	8,2	4	-
4,6	1,03	4,5	1	2
5,6	1,05	5,3	2	3
3,7	1,06	3,5	1	1
5,4	1,03	5,3	2	3

Anhang 2: Optimale Implantatwahl und tatsächliche Situation

Anzahl	Optimale Implantatwahl	Tatsächliche Situation
6	S	S: 6
16	M	S: 9 M: 7
28	L	S: 9, M: 12, L: 6 XL:1
25	XL	S: 3, M: 7, L: 10 XL: 5
11	Größere Schraubengröße	S: 2, M: 3, L: 2, XL: 4

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubte Hilfe Dritter angefertigt habe. Alle Stellen, die inhaltlich oder wörtlich aus Veröffentlichungen stammen, sind kenntlich gemacht. Diese Arbeit lag in gleicher oder ähnlicher Weise noch keiner Prüfungsbehörde vor und wurde bisher noch nicht veröffentlicht.

Zwickau 26.02.2024

Ort, Datum

Wenxuan Li

Unterschrift