

Aus der Klinik für Anaesthesiologie  
der Universität Würzburg  
Direktor: Professor Dr. med. N. Roewer

---

**Praktikabilität des intraossären Zuganges  
bei Erwachsenen in der Notfallmedizin  
unter Verwendung eines  
mechanischen Applikationsgerätes.**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der  
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

vorgelegt von  
Falk Fiedler  
aus Landstuhl

Würzburg, Juni 2003

Referent: Professor Dr. med. P. Sefrin  
Koreferent: Professor Dr. med. H. Langenfeld  
Dekan: Professor Dr. med. S. Silbernagl  
Tag der mündlichen Prüfung: 02.12.2003

Der Promovend ist Arzt

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung .....	1
1.1.	Entwicklung des intraossären Zugangs in der Notfallmedizin .....	1
1.2.	Die intraossäre Infusion .....	4
1.3.	Anatomische Voraussetzungen zur intraossären Infusion .....	5
1.4.	Indikationen, Kontraindikationen und Komplikationen der intraossären Infusion .....	9
2.	Fragestellung .....	12
3.	Material und Methoden .....	13
3.1.	Die ‚Bone Injection Gun‘ .....	13
3.2.	Das XCT 2000 Knochendichtemessgerät .....	15
3.3.	Verwendete Tibiaknochen .....	17
3.4.	Statistische Methoden .....	18
4.	Ergebnisse .....	19
4.1.	Beschreibung der verwendeten Tibiaknochen .....	19
4.2.	XCT-Ergebnisse .....	23
4.2.1.	Knochendicke in Abhängigkeit vom Geschlecht .....	23
4.2.2.	Knochendichte in Abhängigkeit vom Geschlecht .....	24
4.2.3.	Knochendicke und -dichte in Abhängigkeit vom Alter .....	25
4.2.4.	Knochendicke und -dichte in Abhängigkeit von der Art der Knochenkonservierung (tiefgefroren, in Formaldehyd konserviert) .....	28
4.2.5.	Knochendicke und -dichte in Abhängigkeit von der Art der Vorerkrankung im Kollektiv der tiefgefrorenen Tibiaknochen .....	31
4.3.	Vergleich der 18- und der 22-Kilopond-Nadel der Bone-Injection-Gun ...	32
4.3.1.	Einflussfaktoren auf die Eindringtiefe der Nadeln in den Knochen .....	32
4.3.2.	Ergebnisse der Praktikabilitätsparameter .....	34
5.	Diskussion .....	37
6.	Zusammenfassung .....	54
7.	Literaturverzeichnis .....	56
8.	Anhang .....	63

Danksagung

Lebenslauf

## 1. Einleitung

### 1.1. Entwicklung des intraossären Zugangs in der Notfallmedizin

Im Gegensatz zum intravenösen Zugang, der bereits seit 1830 gebräuchlich ist [23], wurde von Drinker et al. [13] 1922 erstmals im Tierversuch die Anatomie des Knochenmarks untersucht und dessen Eignung zur Infusion von Flüssigkeiten beschrieben. Eine intraossäre Infusion beim Menschen wurde erstmals im Jahre 1934 beschrieben [42]. Damals wurde bei einem an perniziöser Anämie leidenden Patienten ein Leberpräparat in das Sternum verabreicht.

Im Jahre 1940 transfundierte Henning [34] erstmals einem Patienten Vollblut in das Sternalmark, der an einer Granulozytopenie litt. In einer weiteren Studie bewies Henning [33] den sofortigen Austritt von Kontrastmittel aus dem Sternum in die Venae mammae. In physiologischen Studien bezüglich der Flüssigkeits- und Medikamentenabsorption durch das Knochenmark nach intraossärer Applikation konnte eindeutig bewiesen werden, dass das Absorptionsverhalten im Vergleich zur intravenösen Applikation nicht signifikant unterschiedlich war [48, 50].

Nachdem die Absorption als qualitativer Faktor bestätigt war, musste die quantitative Resorption geklärt werden. Es wurden zunächst verschiedene Substanzen infundiert sowie die Häufigkeit von Komplikationen beobachtet. Heinild et al. [32] untersuchten insgesamt 982 intraossäre Infusionen (darunter 495 bei pädiatrischen Patienten), wobei 18 Infusionsversuche fehlschlagen. Fünf Patienten entwickelten eine Osteomyelitis, andere Komplikationen traten nicht auf.

Tocantins [75, 76] legte 1940 die Basis für eine verbreitete klinische Applikation dieser Technik. Er infundierte ausgebluteten Hasen durch das tibiale Knochenmark Glukose und stellte fest, dass bei der Infusion von 5 ml Flüssigkeit in das Mark des proximalen Endes eines langen Röhrenknochens nur 2 ml am distalen Ende ankamen. Nachdem kein Flüssigkeitsleck oder eine andere Austrittsstelle in das umgebende Gewebe gefunden werden konnte, postulierten Tocantins [75] und Tocantins et al. [76] eine Resorption der Flüssig-

keit in den systemischen Kreislauf. Somit war das grundlegende Konzept der intraossären oder intramedullären Infusion entstanden. Zusammen mit O'Neill etablierte Tocantins praktische Techniken [77] und verbesserte die verfügbaren Nadeln [78, 79, 80].

Knochenmarktransfusionen wurden in Großbritannien und Südafrika in der Notfallmedizin schon in den 1940er Jahren durchgeführt [3,4, 17, 83]. In den folgenden Jahren wurde die intraossäre Applikationstechnik allerdings wieder verlassen, da nach der Erfindung der i.v.-Katheter jene in der Handhabung erheblich einfacher waren. Erst in den 1950er Jahren wurde die intraossäre Technik wieder entdeckt und verbreitet [65]. 1952 wurde eine Bohrnadel zur intraossären Infusion entwickelt [73]. Pillar [58] benutzte die Beckenschaufel zur Applikation von Digoxin, Levarterenol, Dextran 40 sowie Thiopental und erzielte gute Resultate. Außerdem wurden für Phlebographien der unteren Extremität und des Beckenbereiches der intraossäre Zugang im Fersenbein beschrieben [5].

In der ehemaligen Sowjetunion wurde der intraossäre Zugang in den 1960er Jahren zur Injektion von Lokalanästhetika benutzt [8, 46].

Nachdem die intraossäre Infusion in der Notfallmedizin Fuß gefasst hatte, wurde sie auch insbesondere bei pädiatrischen Notfällen, aber auch bei notfallmäßigen Infusionen von Erwachsenen mit schwierigen Venenverhältnissen zunehmend für die Applikation von Notfallmedikamenten praktiziert [49, 91].

Das Legen eines intravenösen Zugangs sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen in einer Notfallsituation kann sich als äußerst schwierig und zeitraubend erweisen, vor allem dann, wenn das Personal mit der Situation nicht gut vertraut ist oder damit nicht routiniert umgehen kann. Es kann unter diesen Vorgaben zu häufigen Fehlpunktionen kommen. Deshalb ist es notwendig, einen Zugangsweg zu implementieren, der schnell und einfach auch für den weniger erfahrenen Anwender ist, um den Patienten schnellstmöglich zu stabilisieren.

Obwohl die Flussrate zur Behandlung eines hypovolämischen Schocks als zu langsam angesehen wurde, wurde die intraossäre Infusion insbesondere bei denjenigen Patienten ein-

gesetzt, bei denen ein i.v.-Zugang als äußerst schwierig galt. Als nur durch die Schwerkraft bedingte Flussraten wurden Werte von etwa 10 ml/min. beschrieben [69]. Wenn allerdings die Infusion in Anlehnung an die intraarterielle Infusion durch ein peripheres Drucksystem verabreicht wurde, konnten Mengen bis zu 41 ml/min. appliziert werden, was einer Gesamtmenge von 2,5 l/h entspricht [69].

In einem Tierversuch infundierten Kramer et al. [44] Schafen im hämorrhagischen Schock hypertenische Kochsalz/Dextran-Infusionen und verglichen die Wirkung der intraossären Applikation mit derjenigen der intravenösen Applikation. Es zeigten sich keine Unterschiede zwischen den beiden Applikationsformen bezüglich der Effizienz. Die Ergebnisse vieler weiterer Tierversuche konnten den Erfolg der Technik der intraossären Infusion, insbesondere beim hämorrhagischen Schock, als Alternative zur herkömmlichen intravenösen Infusion bestätigen [16, 31, 44]. Die Resultate der Tierversuche ließen sich letztlich auch im Einsatz beim Menschen, vor allem in der Notfallmedizin, bestätigen und zwar sowohl beim Erwachsenen als auch beim kindlichen Patienten [26, 29]. Der intraossäre Zugang erwies sich als schnell, sicher und einfach in der Handhabung.

## 1.2. Die intraossäre Infusion

Die intraossäre Medikamenten- und Flüssigkeitsapplikation sind inzwischen in der Notfallmedizin anerkannte Methoden, insbesondere beim pädiatrischen Notfall [68].

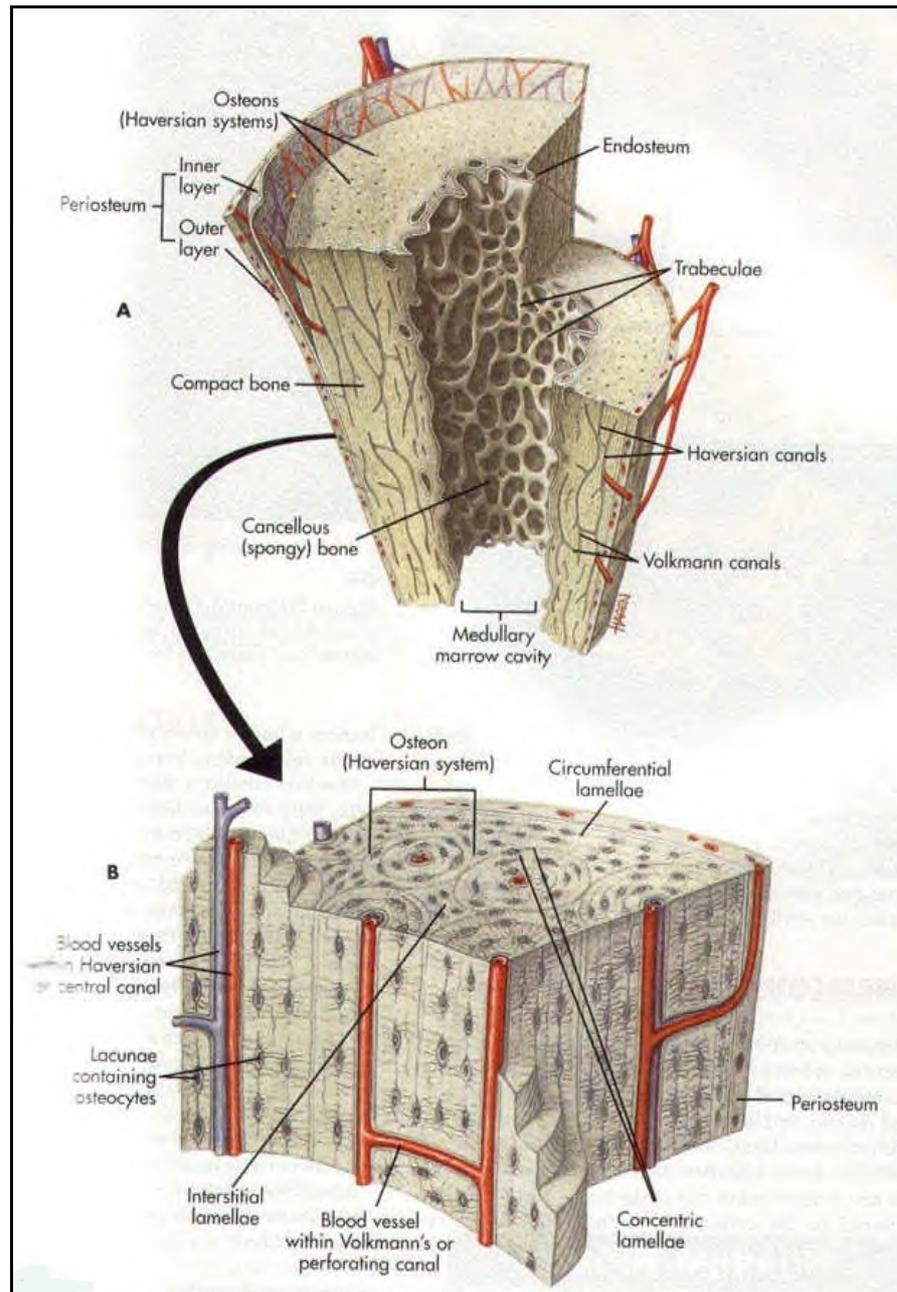
Obgleich ein intraossärer Zugang eine praktikable Alternative zum i.v.-Zugang darstellt, kommt diese Technik bevorzugt in pädiatrischen Notfällen zum Einsatz, wenn kein venöser Zugang zu finden ist. Die Hemmschwelle, eine intraossäre Nadel einzusetzen, ist allerdings auch heute noch groß. Diese Nadel muss mit einigem Kraftaufwand eingedreht werden. Der Ansatz der Nadel ist beim möglicherweise bewusstseinsklaren Kind mehr als schwierig, der Eindrehvorgang schmerzvoll und auch nicht schnell durchführbar. Bei erwachsenen oder älteren Patienten zieht man die Möglichkeit eines intraossären Zugangs nur sehr selten in Betracht. Bei der Frage, ob durch sklerosierende Altersprozesse eine intraossäre Infusion relevanter Volumina überhaupt vergleichbar effektiv zu einer i.v.-Therapie sein kann, gibt es noch Vorbehalte. Auch die Angst vor Knochenhautinfektionen verhindert einen häufigeren Einsatz dieser Technik. So steht die intraossäre Infusion auch heute noch deutlich hinter der peripheren Venenpunktion und auch hinter dem zentralen Venenkatheter [28] zurück.

Bei Kindern bis zum dritten Lebensjahr ist die Wahl eines intraossären Zugangs dagegen besonders zu empfehlen. Bei Kindern im Alter über 10 Jahren und bei Erwachsenen liegt die Erfolgsquote mit herkömmlichen Nadeln bei lediglich 50% gegenüber 85% bei Kindern bis 3 Jahren. Die Gründe für die hohe Fehlerrate lag in falschen Punktionsstellen und verbogenen Nadeln [28].

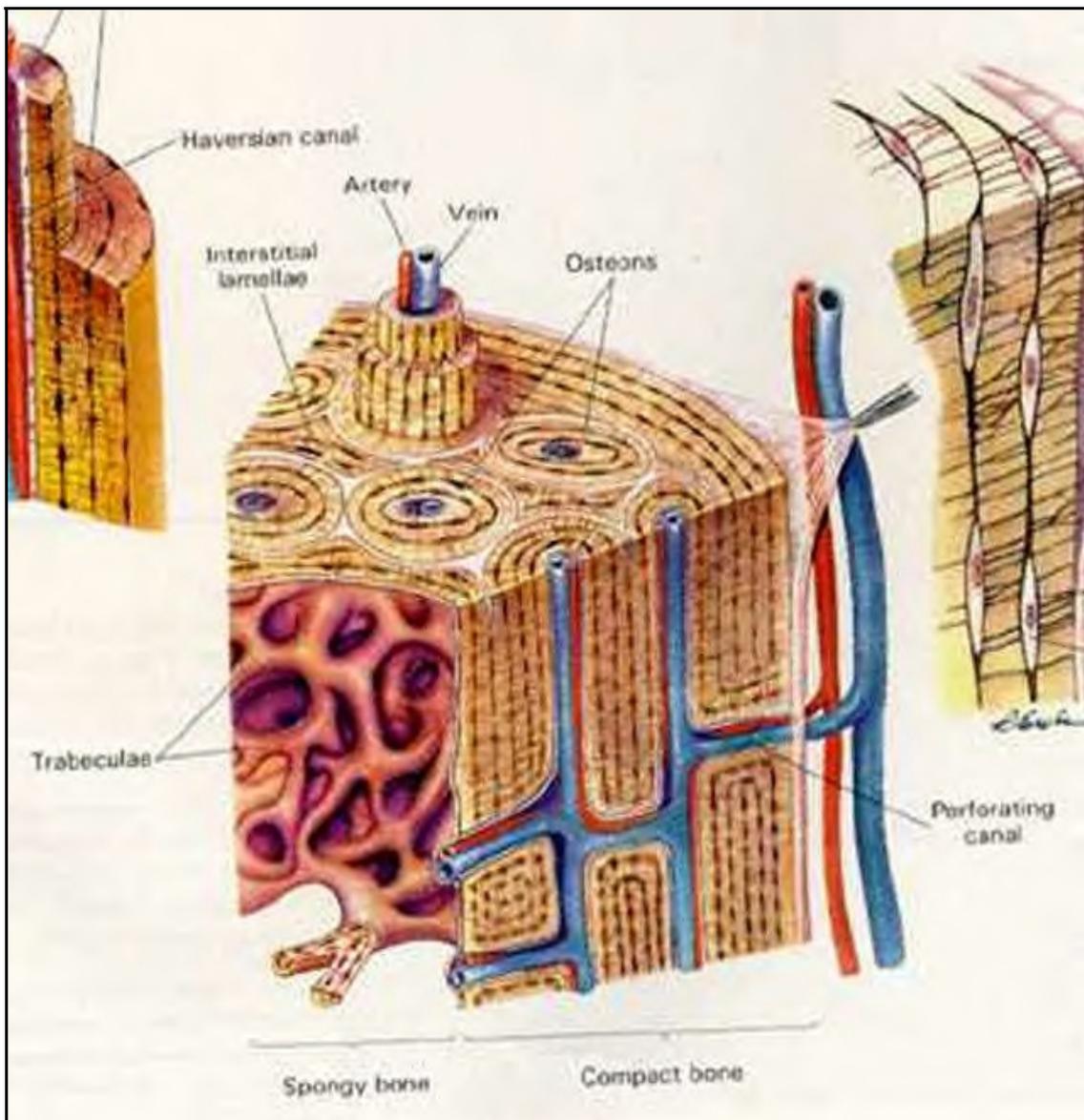
Nach Vreede et al. [83] sollte bei lebensbedrohlichen Situationen von Babies, Kleinkindern und Kindern im Alter unter 6 Jahren dann eine intraossäre Infusion verabreicht werden, wenn der venöse Zugang nicht innerhalb von 90 Sekunden oder nach drei Versuchen erreicht werden kann oder in den Fällen, in denen der Zugang zu scheitern droht und die Zeit drängt. Aber auch bei älteren Kindern kann der intraossäre Zugang erfolgreich angewandt werden.

### 1.3. Anatomische Voraussetzungen zur intraossären Infusion

In jedem der langen Knochen der Tibia und des Femur gibt es zahlreiche Öffnungen, durch die Arterien in den Knochen eintreten sowie Öffnungen, durch die Venen herausführen (siehe Abb.1-2).



**Abbildung 1:** Darstellung des ossären vaskulären Systems [85]

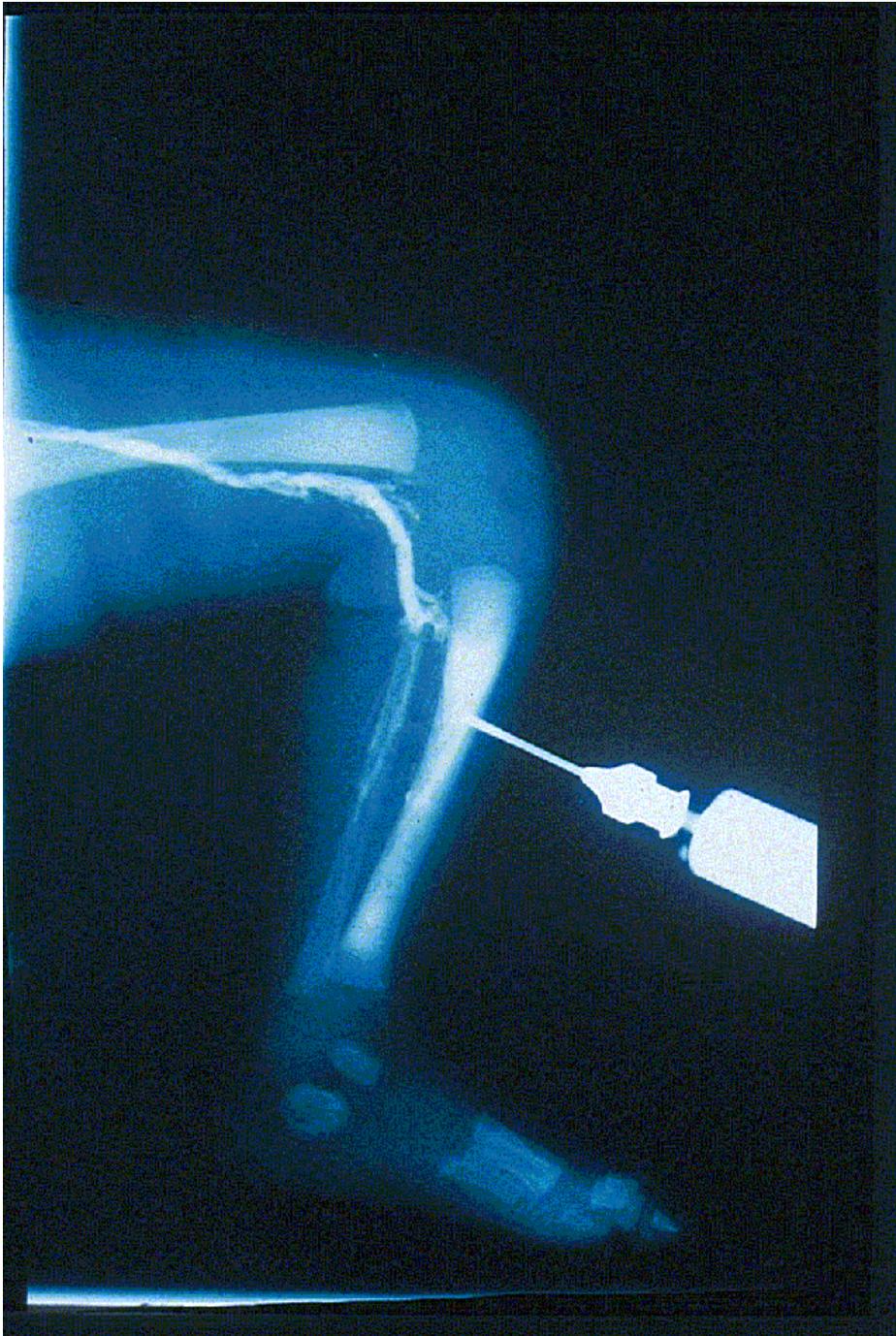


**Abbildung 2:** Darstellung des ossären vaskulären Systems [84]

Diese erlauben, das Blut ins vaskuläre System zurück zu transportieren. Die meisten dieser Öffnungen sind in der Epiphyse lokalisiert [84].

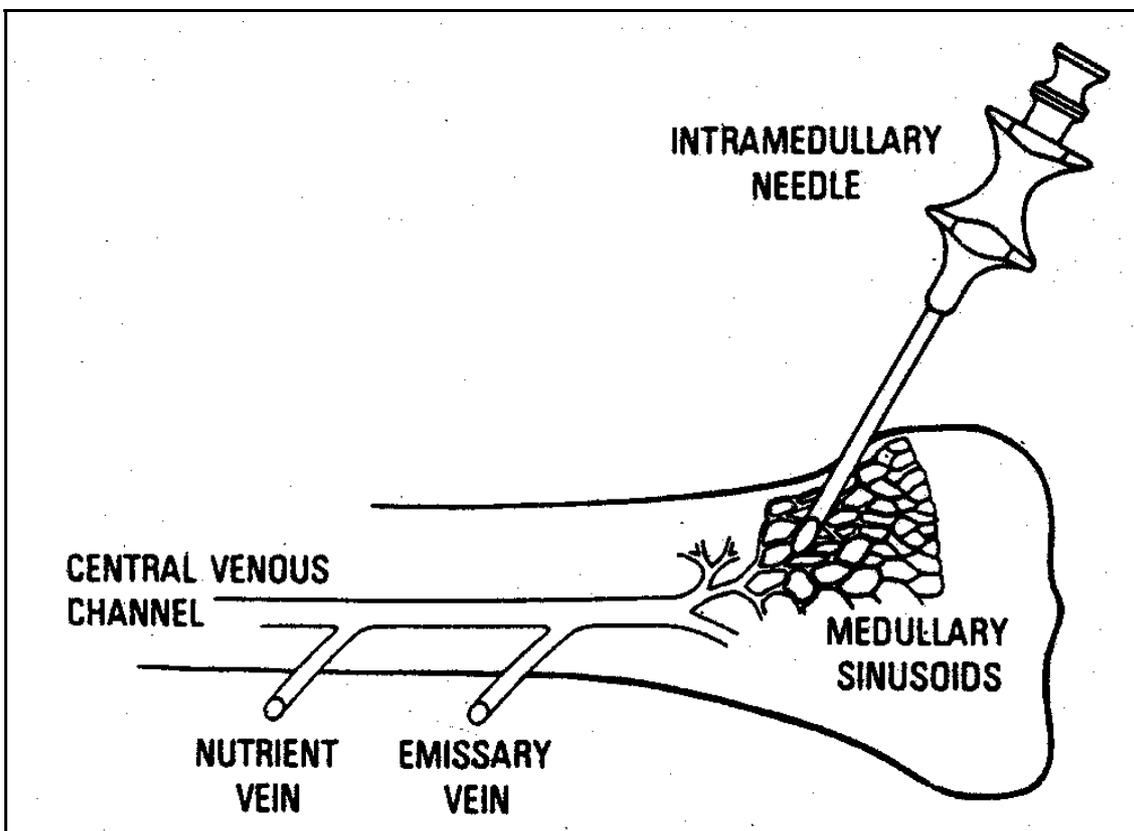
Die Knochenmarkshöhle ist kontinuierlich an die venöse Zirkulation angeschlossen und kann daher dazu genutzt werden, Flüssigkeiten und Medikamente zu infundieren sowie Blutproben zu entnehmen. Das Verfahren muss konsequent unter sterilen Bedingungen durchgeführt werden, um eine Osteomyelitis zu vermeiden [83].

Als sicherster Applikationsort wird die proximale Tibiametaphyse beschrieben [68]. Medialseitig der Tuberositas tibiae kann man den Knochen gut palpieren, er ist direkt subkutan gelegen. Größere Strukturen sind nicht gefährdet (siehe Abbildung).



**Abbildung 3:** Bone Injection Gun-Applikation mit Kontrastmittel an der Tibia (<http://www.waismed.com/picturesWin.asp?pic=4>)

Als Alternative kann man auch die distale Radiusmetaphyse, die proximale Humerusmetaphyse, die distale Femurepiphyse, die mediale oder laterale Malleolarregion (3-4 cm proximal der distalen Spitze des Malleolus) und den von der Knochenmarksaspiration bekannten Beckenkamm nutzen [68]. Die Nadel kann auch in den Styloideus ulnaris, die dorsale Epiphyse des 2. Metacarpus oder die distale Epiphyse des 1. Metatarsus bei erwachsenen Patienten eingesetzt werden [84]. Folgende Abbildung zeigt das intramedulläre venöse System und die Position der Nadel.



**Abbildung 4:** Das intramedulläre venöse Applikationssystem zeigt die Position der intraossär platzierten Nadel in den medullären Sinusoiden. Blut kann aspiriert werden, um den Sitz der Nadel zu bestätigen [71]

#### 1.4. Indikationen, Kontraindikationen und Komplikationen der intraossären Infusion

Obgleich der intravenöse Zugang als ‚Golden Standard‘ gilt, ist in einer Situation wie dem Kreislaufchock, bei dem die Platzierung eines Katheters sehr schwierig ist bzw. aufgrund kollabierter Venen unmöglich sein kann, die intraossäre Infusion eine wichtige Alternative. Vor allem in der Pädiatrie wird sie aufgrund kleiner Venenlumina häufig notwendig. Auch die notfallmäßige Volumensubstitution bei Traumapatienten bei militärischen Auseinandersetzungen ist eine wichtige Indikation für den intraossären Zugang [44].

Nach Dubick und Kramer [14] ist seit langem bekannt, dass die Hauptursache für Todesfälle im Rahmen militärischer Auseinandersetzungen die akute Hämorrhagie darstellt, die für etwa 50% der Todesfälle verantwortlich ist. In diesen Fällen wäre eine frühe adäquate Flüssigkeitssubstitution geeignet, die Mortalität und Morbidität deutlich zu senken. Hier empfehlen sich hypertone Lösungen, bei denen nur 10% der im Vergleich zu isotonen Lösungen notwendigen Volumina benötigt werden.

Nach Fiser (1990) sind als Indikationen einer intraossären Infusion auch Herz-Kreislauf-Stillstand bei nicht punktierbaren peripheren Venen, Status epilepticus, Trauma, Exsikkose und Sepsis zu nennen. Die Volumensubstitution im Schock ist aufgrund kollabierter Venen häufig ebenfalls nur noch durch den intraossären Zugang in akzeptabel kurzer Zeit möglich [45].

Auch taktisch ungünstige Situationen mit schlechten Lichtverhältnissen oder Patienten mit extremen Verbrennungen, schweren Ödem oder unkontrollierbarem Verhalten können als Indikationen für die intraossäre Infusion angesehen werden [45].

Hurren und Dunn [37] fordern die intraossäre Infusion bei Brandverletzten einzusetzen. Konventionell anzulegende Venenkatheter sind bei diesen Patienten häufig nicht durchführbar und die übliche Alternative, der zentrale Venenkatheter, ist ebenfalls nicht immer erfolgreich applizierbar.

Nach Vreede et al. [83] gibt es nur wenige absolute Kontraindikationen für eine intraossäre Infusion: Frakturen des Femurs an der gleichen Seite bzw. Fraktur des zu bearbeitenden Knochens, Osteomyelitis und Osteogenesis imperfecta. Eine bestehende Sepsis ist lediglich eine relative Kontraindikation, während die Osteoporose keine Kontraindikation darstellt.

Auch bei möglichen Katastrophen (Erdbeben, Zug-/Flugzeugkatastrophen bzw. kriminellen Akten) mit vielen Schwerstverletzten scheint es sinnvoll, über ein Gerät zu verfügen, mit welchem schnell und sicher ein Zugangsweg für die Flüssigkeitsgabe geschaffen werden kann [68].

Als gefürchtetste Komplikation des Infusionsverfahrens gilt die Osteomyelitis. Nach Rosetti et al. [65] ist die Rate an Osteomyelitis mit 0,6% sehr niedrig. In sämtlichen von den Autoren untersuchten Patienten trat die Osteomyelitis nach lange liegenden intraossären Infusionen auf oder wenn die Patienten bereits vor Applikation an einer Bakteriämie litten [71]. Man kann deshalb davon ausgehen, dass diese sehr seltene Komplikation sogar noch vermindert werden kann, wenn man die Infusion nur kurzzeitig liegen lässt [82] und keine hypertonen Lösungen infundiert. In der Notfallmedizin entfallen diese Ausgangssituationen.

Nach Gongolsky [28] verhindert die Angst vor Knochenhautinfektionen einen häufigeren Einsatz der intraossären Infusionstechnik. Unter klinischen Bedingungen ist jedoch schon lange belegt, dass die Angst vor Osteomyelitis unbegründet ist.

Eine weitere mögliche Komplikation, die nach einer intraossären Infusion auftreten kann, ist das Kompartmentsyndrom [61, 62]. Hauptursache ist die lokale Extravasation der infundierten Flüssigkeit. Die Gründe hierfür liegen in einer möglicherweise inkompletten Punktion des Knochens, des Durchdringens der Punktionsnadel durch die Rückseite des Knochens oder des Austretens der Flüssigkeit durch eine seitliche Öffnung des Punktionskanals. Es ist darauf zu achten, dass eine Nadel nicht zweimal in den gleichen Knochen eingestochen werden darf sowie, dass der Knochen nicht absplittert. Absplitterungen oder Frakturen sind jedoch sehr selten [40]. Nach Moscati und Moore [52] sollte auf die richti-

ge Platzierung der Nadel geachtet werden, um auf diese Weise eine Extravasation mit möglichem Kompartmentsyndrom gar nicht erst auftreten zu lassen.

Weitere mögliche Komplikationen sind eventuell auftretende Fett- oder Knochenmarks-embolien [19, 55]. Allerdings liegt die Rate dieser Embolien nicht höher als bei herkömmlichen Zugängen [19, 55]. Außerdem sind die entstehenden kleinen Fettembolien nicht kreislaufkompromittierend und somit klinisch irrelevant. Sie sind lediglich mikroskopisch nachweisbar [70].

Möglicherweise könnte das Einbringen einer Nadel in die Wachstumsfuge des Knochens zu Wachstumsstörungen dieses Knochens bei Kindern führen. Einer Studie von Fiser et al. [21] zufolge kommt es jedoch nach intraossärer Infusion selbst in die Wachstumsfuge nicht zu Längendiskrepanzen der Extremitäten.

Auch ist zu bedenken, dass ein gewisser Schmerz beim Einbringen auftreten kann. Diesem kann durch Applikation von Lokalanästhetika abgeholfen werden [86]. Nach Claudet et al. [11] ist seit vielen Jahrzehnten die intraossäre Infusion in der Pädiatrie in Frankreich verbreitet. Größere Komplikationen waren dort sehr selten.

Als letzter Hinderungsgrund für die häufigere Verwendung der intraossären Infusion kann die Schwierigkeit der Technik und die Einbringung der Nadel in den Knochen angesehen werden. Die Lösung des Problems könnte die Verfügbarkeit eines Gerätes sein, das die intraossäre Nadel automatisch in den Knochen appliziert. Ein solches Gerät steht mit der Bone Injection Gun zur Verfügung.

## 2. Fragestellung

Der intravenöse Zugangsweg zur Medikamenten- und Flüssigkeitsapplikation am Notfallort kann gelegentlich zu Schwierigkeiten führen. Als gangbare Alternative werden am Markt verschiedene Systeme zur intraossären Applikation angeboten. Eines dieser Systeme, die Bone-Injection-Gun<sup>®</sup> der Fa. Waismed aus Israel, ist Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Vorteile des Gerätes sollen in einfacher Handhabung und schneller Applikationsweise liegen.

Diese Arbeit soll die Praktikabilität eines mechanisch applizierten intraossären Zuganges an der proximalen Tibia bei Erwachsenen in der Notfallmedizin als Alternative zu einem herkömmlichen intravenösen Zugang am Knochenmodell überprüfen.

Folgende spezielle Fragen standen bei der Überprüfung der intraossären Infusionsnadel (18- bzw. 22-Kilopond-Nadel) im Vordergrund:

1. Wie groß ist die Eindringtiefe (mm), nachdem die Knochendicke anhand eines speziellen Knochencomputertomographen an der Soll-Eintrittsstelle ermittelt wurde und der nach außen überstehende Nadelanteil bei bekannter Nadellänge ausgemessen wurde?
2. War die Applikation an der Soll-Einstichstelle (1-2 cm medial und 0,5 cm oberhalb der Tuberositas tibiae) komplikationslos möglich?
3. War bei etwaigen frustranen Applikationsversuchen eine Korrektur der Applikations- oder der Einstichstelle notwendig ?
4. Traten bei der Applikation Komplikationen auf?
5. War eine problemlose Aspiration von Knochenmark möglich?
6. War eine problemlose Injektion von Flüssigkeit (Wasser) möglich?
7. Lag die Nadel stabil an der Applikationsstelle und hatte sie einen festen Sitz?
8. Traten Extravasate auf?
9. Gab es Vorerkrankungen der Patienten, die die Eindringtiefe der Nadel beeinflussten (z.B. Osteoporose)?
10. Gab es weitere Faktoren, die die Eindringtiefe in irgendeiner Weise beeinflussten?
11. Trat eine Verbiegung der Nadel während der Applikation auf?
12. Wie lang war die Zeitdauer der intraossären Applikation?

### 3. Material und Methoden

#### 3.1. Die ‚Bone Injection Gun‘

Bei der Bone Injection Gun handelt es sich um eine stilettragende Trokarstahlkanüle, die nach Entsichern und Auslösen des Spannmehanismus von einer Feder aus ihrem sterilen Gehäuse in den Knochen geschossen wird [68].

Die Erfindung geht auf den israelischen Orthopäden Marc Waismann [84] zurück und ist in zwei verschiedenen Versionen verfügbar.



Ein rotes Modell (‚*Pediatric 18G*‘) ist für Kinder gedacht. Es enthält eine Feder mit 12 Kilopond (kp) und eine Nadel mit einer Länge von 43.3 mm (Abb.5).

**Abbildung 5:** ‚*Pediatric 18G*‘

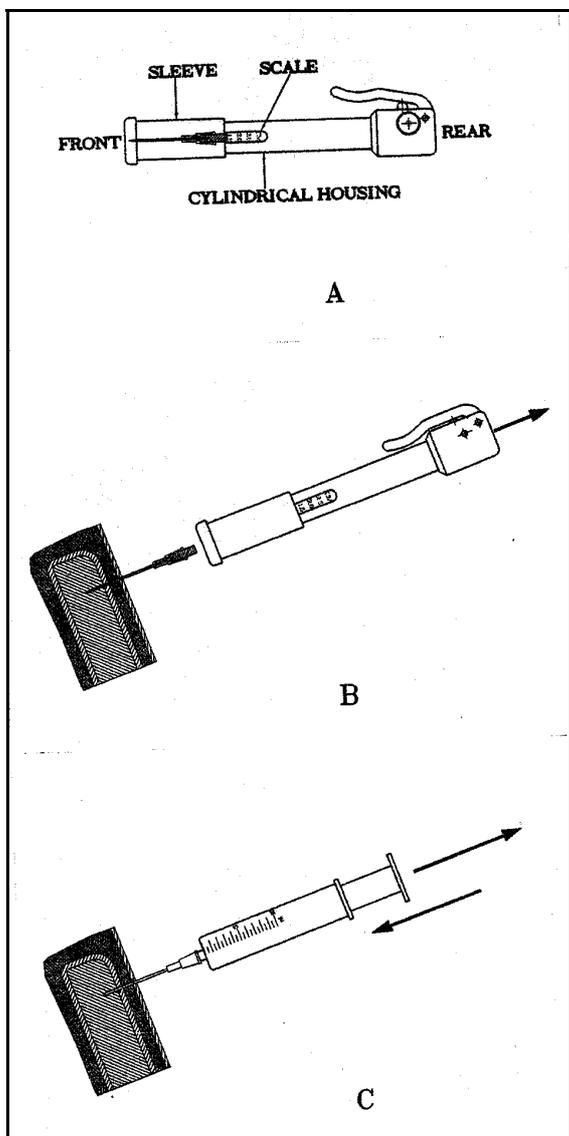
Für Erwachsene und Kinder im Alter über 6 Jahren steht ein blaues Modell (‚*Adult 15G*‘) zur Verfügung, das eine 43,3 mm lange Nadel enthält und zwei unterschiedlich starke Federn (18 bzw. 22 kp-Feder) aufweist (Abb.6).



**Abbildung 6:** ‚*Adult 15G*‘

Das Kunststoffgehäuse hat am unteren, an den Applikationsort ansetzenden Ende eine Schraubhülse, mit der die Eindringtiefe in den Knochen entsprechend des Applikations-

ortes eingestellt werden kann. Im mittleren Anteil hat die Bone Injection Gun eine Haltevorrichtung für den 3. und 4. Finger, wobei die Abschussvorrichtung nicht nur durch einen großen Pfeil auf dem Gehäuse vermerkt ist, sondern auch vielmehr durch die spezielle Formung dieser Haltevorrichtung vorgegeben ist. Diese weist Spitzen an den gegenüberliegenden Seiten auf und auf diese Weise soll der Anwender vor einer unabsichtlich falschen Handhabungsrichtung gewarnt werden. Das nachfolgende Schema zeigt die Anwendung.



**Abbildung 6:** Schematische Darstellung der Anwendung einer Bone-Injection-Gun nach Waisman und Waisman [84]

- A: Die Bone-Injection-Gun in gesicherter Position
- B: Nach Anvisieren und Einschuss in den Knochen wird der BIG-Anteil von der Trokarnadel getrennt
- C: Nadel nach Entnahme des Trokars im Knochen und verbunden mit einer Kanüle/Spritze

Die Bone-Injection-Gun (BIG) wird nach Hautdesinfektion senkrecht auf den Applikationsort aufgesetzt. Vor der Auslösung muss noch der rote Sicherungssplint im feder-

tragenden Ende der Bone Injection Gun entfernt werden. Durch einen leichten Schlag auf das entsicherte Gehäuseende wird die Kanüle dann abgeschossen. Danach kann der Trokar manuell entfernt werden und nur die Hohnadel verbleibt im Knochenmark. Wenn sich der Patient vor der Applikation noch bei Bewusstsein befindet, ist eine Lokalanästhesie mit Xylocain angezeigt [84].

Ein großer Vorteil hinsichtlich der Anwendung in der Notfallsituation, in welcher selten sterile Bedingungen herrschen, ist u.a., dass die Stahlkanüle bis zum Abschuss im Gehäuse vor Keimverschleppung gesichert ist. Durch den Lueranschluss der Kanüle kann nach manueller Entfernung des Trokars problemlos eine Spritze oder einer der handelsüblichen, genormten Infusionsschläuche angeschlossen werden [68].

Unter der Knochendicke (gemessen in mm) wird in der vorliegenden Studie die Wandstärke der knöchernen Struktur verstanden, die sich zwischen der äußeren Knochenhaut und dem innen liegenden Markraum befindet. Die Knochendichte ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ ) ist Ausdruck der Festigkeit des Knochens.

### 3.2. Das XCT 2000 Knochendichtemessgerät

Die Knochendichte wird vom Mineralsalzgehalt des knöchernen Gewebes bestimmt. Je niedriger der Mineralsalzgehalt ist, desto höher ist die Bruchgefahr des Knochens. Das XCT 2000 dient der Bestimmung der Knochendichte bzw. der geometrischen Parameter des Knochens mittels peripherer quantitativer Computertomographie. Es ist ein vollautomatisches Messgerät, das mit einer speziell entwickelten Röntgenröhre mit sehr kleinem Focus arbeitet. Das Detektorsystem besteht aus Miniatur-Halbleiterkristallen. Die interne Streuung der drei Bewegungsachsen sowie die parallele Verarbeitung der Zählwerte regelt ein Mikrokontroller. Dieser leitet die Messergebnisse bzw. die Achsenpositionen über eine Schnittstelle zu einem Computer. Dieser übernimmt die Berechnung der Bildmatrix sowie die Auswertung der Messdaten.

Als Strahlungsquelle wird eine Röntgenröhre verwendet. Die Hochspannung (58 kV) wird konstant gehalten. Eine Regelelektronik hält den Anodenstrom auf 220 : A und somit die Intensität der Röntgenstrahlung konstant. Eine spezielle Filterung absorbiert die niederenergetischen Anteile des Röntgenspektrums, so dass eine schmalbandige Röntgenlinie bei 37 keV mit einer Halbwertsbreite von ca. 22 keV emittiert wird.

Die aus der Röntgenröhre emittierten Photonen werden nach Transmission an den gegenüberliegenden Detektoren registriert. Die verwendeten Halbleiterdetektoren haben eine fast 100%ige Effektivität für die emittierte Röntgenstrahlung. Ein Halbleiterdetektor bildet gemeinsam mit einem hochsensitiven ladungsempfindlichen Vorverstärker mit Shaping-Hauptverstärker und Comparator eine Detektoreinheit.

Insgesamt befinden sich 12 dieser Detektoreinheiten im Detektorgehäuse. Aufgrund der geringen Größe der Kristalle von  $8 \text{ mm}^3$  (Detektorvolumen = Zählvolumen) und der Abschirmung des Gehäuses ist die Zählrate durch Hintergrundstrahlung praktisch Null. Die Mechanik kann das Detektorgehäuse und gleichzeitig die gegenüberliegende Röntgenquelle in drei Richtungen bewegen.

Beim Übersichtsscan wird das zu messende Objekt planar in 1 mm-Schritten der Länge nach abgebildet. Der Messstrahl wird dabei quer durch das Objekt geführt. Man erhält ein farblich codiertes digitales Rasterbild, das einem Röntgenbild ähnelt. Es weist helle, knochendichte Anteile und dunkle Weichteilanteile auf. Als Referenzpunkt, der zur exakten Wiederfindung des Messortes bei einer Wiederholungsmessung dient, wird die am weitesten proximal liegende Stelle der Gelenksfläche verwendet. Die eigentliche Knochendichtemessung erfolgt 4% der Objektlänge in proximaler Richtung vom Referenzpunkt entfernt.

Beim CT-Scan durchquert der Messstrahl das Objekt ebenfalls quer zur Knochenachse, wobei nach jedem Linearscan das Messsystem um  $12^\circ$  gedreht wird. Da der Winkelabstand der Detektoren relativ zur Quelle  $1^\circ$  beträgt, ergeben sich nach 15 Scanpositionen 180 Winkelschnitte, die für die Berechnung des CT-Bildes ausgewertet werden. Die

Messung ist in zwei Schritte unterteilt: Übersichtsmessung (scout view, SV-Scan) und eigentliche CT-Messung.

Im SV-Scan wird der genaue Messort festgelegt. Die Software schlägt einen Messwert vor. Er muss überprüft und gegebenenfalls manuell korrigiert werden. Bei Wiederholungsmessungen wird die Messposition automatisch exakt an die gleiche Stelle gelegt wie bei der ersten Messung.

Während der CT-Messung wird das Objekt über einen Winkelbereich von  $180^\circ$  vermessen. Etwaige Fehler bei der Positionierung werden angezeigt. Nach dem Ende der Messung werden die Messdaten im Computer gespeichert und das Querschnittsbild errechnet. Nach der Messung gelangt man in das Datenauswertungsprogramm. Die Berechnung der Messergebnisse ist weitestgehend automatisiert, so dass nur minimale Eingriffe des Bedieners notwendig sind. Die interessierende Messregion wird automatisch definiert, eine Routineauswertung durchgeführt und die Ergebnisse auf dem Bildschirm dargestellt. Zusätzlich kann ein Vergleich mit den Referenzwerten angegeben werden. Die Ergebnisse werden dann zur Dokumentation auf einem Farbdrucker ausgegeben.

### 3.3. Verwendete Tibiaknochen

Die Untersuchungen der ‚Bone Injection Gun‘ wurden an präparierten Tibiaknochen von Verstorbenen vorgenommen. Die Knochen waren entweder tiefgefroren oder in Formaldehyd eingelegt. Im Zeitraum von August 2001 bis März 2002 wurden insgesamt 16 tiefgefrorene Tibiaknochen von der Pathologie des Klinikums Fürth verwandt. Die Anatomie der Universität Würzburg stellte 16 weitere, in Formaldehyd gelagerte, Tibiaknochen in der Zeit von Februar/März 2002 zur Verfügung. Zwei tiefgefrorene Tibiaknochen wurden im Oktober und Dezember 2001 vom Rechtsmedizinischen Institut der Universität Würzburg zur Verfügung gestellt.

### 3.4. Statistische Methoden

Die erhobenen Daten wurden mittels des Statistikprogramms SPSS PC+ 9.0 für Windows ausgewertet. Dabei kamen nichtparametrische Prüfverfahren zur Anwendung. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p \leq 0,05$  festgelegt. Als beschreibende Parameter wurden Mittelwert ( $\bar{O}$ ), Standardabweichung (SD), Median (Me), Minimum (Mi) und Maximum (Ma) gewählt. An statistischen Prüfmethoden wurden beim Vergleich unverbundener Stichproben der Mann-Whitney-Test, beim Vergleich verbundener Stichproben der Friedman-Test und zur Ermittlung von Häufigkeitsunterschieden der  $\chi^2$ -Test verwendet.

## 4. Ergebnisse

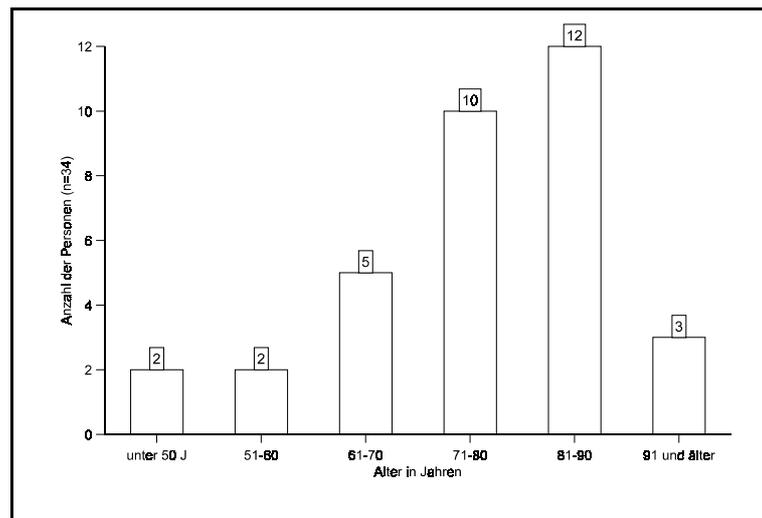
### 4.1. Beschreibung der verwendeten Tibiaknochen

Von den insgesamt 34 in die vorliegende Untersuchung aufgenommenen Tibiaknochen waren 18 (52,9%) tiefgefroren gewesen, während die restlichen 16 Tibiaknochen (47,1%) in Formaldehyd gelagert gewesen waren. 16 Tibiaknochen waren linksseitig (47,1%) und 18 Tibiaknochen waren rechtsseitig (52,9%) entnommen worden.

20 Tibiaknochen (58,8%) stammten von männlichen und 14 (41,2%) von weiblichen Verstorbenen (s. Tab.1). Ein signifikanter Unterschied der Häufigkeit von männlichen bzw. weiblichen Tibiaknochen lag nicht vor ( $p = 0,3242$ ).

Tab.1: Geschlechtsverteilung in Abhängigkeit zur Lagerungsart der untersuchten Tibia						
Art der Lagerung der Tibia	männlich		weiblich		gesamt	
	n	%	n	%	n	%
tiefgefroren	12	60,0	6	42,9	18	52,9
Formaldehyd	8	40,0	8	57,1	16	47,1

Die Tibiaknochen stammten von Verstorbenen, die im Durchschnitt  $75,5 \pm 15,6$  Jahre alt geworden waren (Median 77,5 Jahre). Der jüngste Tibiaknochen stammte von einem 17jährigen Verstorbenen, während der älteste Tibiaknochen von einer weiblichen 95jährigen



**Abbildung 8:** Altersverteilung der Tibiaknochen

Verstorbenen stammte. Aus der Altersgruppe der über 70jährigen Personen stammte die Mehrzahl (73,5%) der untersuchten Tibiaknochen (Abb.8).

Die männlichen Tibiaknochen stammten von Personen, die durchschnittlich im Alter von 71,3 Jahren verstorben waren, während die weiblichen Tibiaknochen von Personen stammten, die erst im mittleren Alter von 81,5 Jahren verstorben waren. Ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen bestand aber noch nicht ( $p = 0,0609$ ), wie Tabelle 2 zeigt.

In der Untergruppe von Verstorbenen, deren Knochen tiefgefroren gelagert worden waren, fand sich kein signifikanter Altersunterschied zwischen Männern und Frauen ( $p = 0,1891$ ). Ein analoges Ergebnis ( $p = 0,3181$ ) ergab sich in der Gruppe, deren Tibiaknochen in Formaldehyd gelagert worden war (Tab.2).

Tab.2: Altersverteilung der Tibiaknochen in Abhängigkeit von der Lagerungsart des untersuchten Tibiaknochens und dem Geschlecht der Verstorbenen									
Art d. Lagerung	männlich (n=20)			weiblich (n=14)			gesamt (n=34)		
	O ± SD	Me	Mi/Ma	O ± SD	Me	Mi/Ma	O ± SD	Me	Mi/Ma
tiefgef. Form.	70,5 ± 14,0	73,5	44 - 90	78,8 ± 9,7	81,5	61 - 87	73,3 ± 13,1	75	44 - 90
	72,3 ± 23,4	78	17 - 92	83,6 ± 9,4	84	68 - 95	78,0 ± 18,2	82	17 - 95
ges.	71,3 ± 17,8	74,5	17 - 92	81,5 ± 9,5	83,5	61 - 95	75,5 ± 15,6	77,5	17 - 95

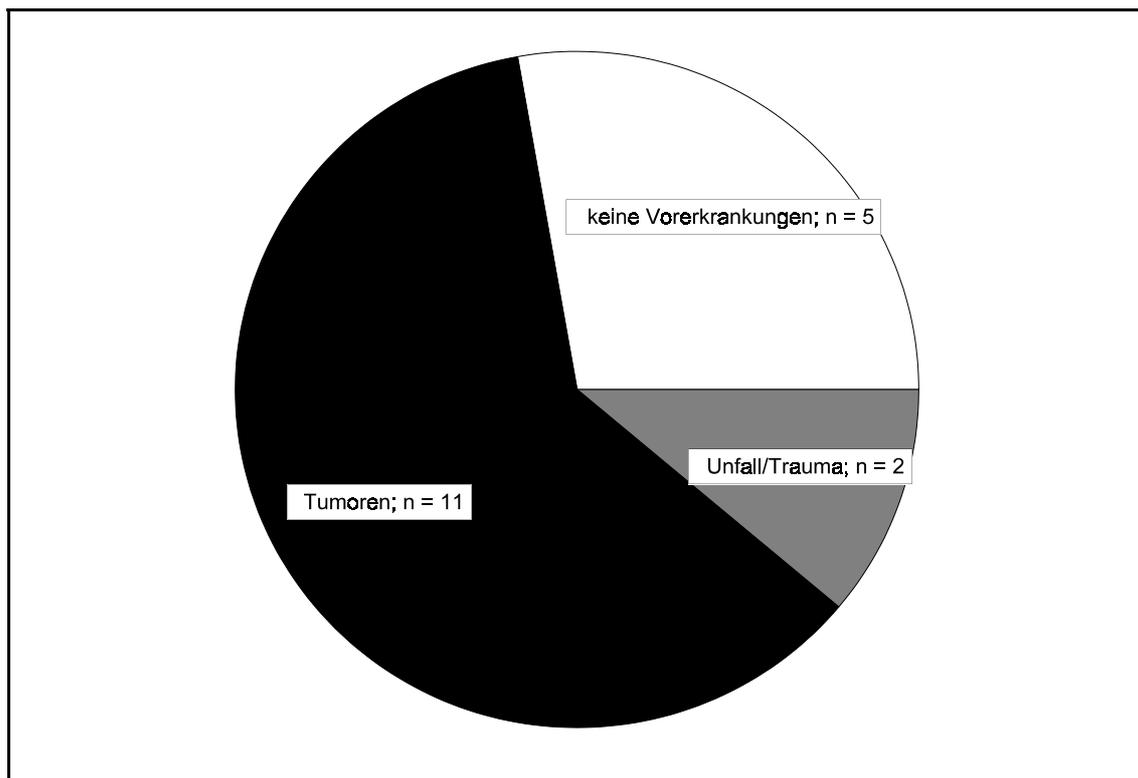
tiefgef. = tiefgefrorene Tibia; Form. = in Formaldehyd gelagerte Tibia; ges. = gesamt

Demzufolge übte das Alter der Verstorbenen im Hinblick auf die Art der Lagerung der Tibiaknochen (tiefgefroren, in Formaldehyd) keinen zusätzlichen Einfluss aus.

Das Vorliegen oder Fehlen einer Osteoporose konnte nur bei den 18 tiefgefrorenen Knochen beurteilt werden. Ursache dafür war, dass entsprechende Informationen aus den Obduktionsunterlagen derjenigen Knochen, die formaldehydfixiert gelagert worden waren, nicht eruierbar waren. Innerhalb des Kollektivs tiefgefrorener Knochen lag nur in einem von 18 Fällen (5,6%) eine Osteoporose vor.

Auch das Vorliegen oder Fehlen von anderen Vorerkrankungen konnte nur in der Gruppe vorgenommen werden, deren Knochen tiefgefroren eingelagert worden waren, da bei den formaldehydfixierten Tibiaknochen keine entsprechenden Informationen aus den Obduktionsunterlagen ermittelbar waren.

In 5 der 18 untersuchbaren Tibiaknochen hatten die Verstorbenen an keinerlei Vorerkrankungen gelitten. Bei 11 weiteren Patienten lag ein malignes Grundleiden vor. Todesursache war bei diesen 11 Patienten Rechtsherzversagen bei Pneumonie, kardiogener Schock bei Myokardinfarkt, Herz-Kreislauf-Versagen bei Sepsis und Pneumonie. Bei den zwei verbleibenden Todesfällen war die Todesursache im ersten Fall ein Unfall mit Schädelhirntrauma und Hirnkontusion sowie im zweiten Fall ein Medulla-oblongata-Abriß nach Trauma (Abb.9).



**Abbildung 9:** Art und Häufigkeit von Vorerkrankungen im Kollektiv der tiefgefrorenen gelagerten Tibiaknochen (n=18)

An zusätzlichen, den Knochen beeinflussbaren Erkrankungen lagen in diesem 18 Fälle umfassenden Kollektiv der tiefgefrorenen Tibiaknochen lediglich in zwei Fällen mit Tumorleiden zusätzliche Wirbelkörper-Metastasen vor. In den andern 16 Fällen waren keine sonstigen Erkrankungen dokumentiert.

Um zu einer Vereinheitlichung der diversen Vorerkrankungen zu gelangen, wurden drei Untergruppen im Kollektiv der tiefgefrorenen Knochen gebildet: zum ersten die fünf Patienten ohne Vorerkrankungen, zum zweiten die 11 Patienten mit Tumorleiden und zum dritten die zwei Patienten mit traumatisch bedingter Todesursache. Die sonstigen Erkrankungen blieben aufgrund der zu geringen Fallzahl unberücksichtigt. Eine Auswertung der Vorerkrankungen nach den drei Patientengruppen (ohne Vorerkrankung, mit Tumorleiden bzw. mit traumatisch bedingter Todesursache) war aufgrund der zu geringen Fallzahl in der Gruppe der Patienten mit Tumorleiden bzw. traumatisch bedingter Todesursache nicht sinnvoll und unterblieb deshalb.

## 4.2. XCT- Ergebnisse

### 4.2.1. Knochendicke in Abhängigkeit vom Geschlecht

Die Knochendicke an der Soll-Einstichstelle war bei den Tibiaknochen von männlichen Verstorbenen deutlich dicker als bei Knochen weiblicher Verstorbener, wobei die Diskrepanz von durchschnittlich 10% nicht signifikant war ( $p = 0,0668$ ).

Die Knochendicke 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle war ebenfalls bei den Tibiaknochen männliche Verstorbener größer als bei weiblichen Verstorbenen. Die Diskrepanz von etwa 11% erreichte fast statistische Signifikanz ( $p = 0,0568$ ).

Die Knochendicke 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle war gleichfalls zwischen den Tibiaknochen der männlichen und weiblichen Verstorbenen nicht signifikant unterschiedlich ( $p = 0,2145$ ), obwohl die männlichen Knochen im Durchschnitt eine 10% größere Dicke an dieser Stelle aufwiesen (Tab.3).

Die Knochendicke innerhalb des männlichen Kollektivs war 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle am größten, gefolgt von der Soll-Einstichstelle und der Lokalisation 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle. Die Unterschiede waren signifikant ( $p = 0,0106$ ).

Bei den weiblichen Knochen hingegen fand sich ein entsprechender signifikanter Unterschied zwischen den drei Lokalisationen nicht ( $p = 0,2574$ ).

Tab.3: Knochendicke (mm) in Abhängigkeit vom Geschlecht									
Lokalisation	männlich (n=20)			weiblich (n=14)			gesamt (n=34)		
	O ± SD	Me	Mi/Ma	O ± SD	Me	Mi/Ma	O ± SD	Me	Mi/Ma
<u>Dicke</u>									
A	2,0 ± 0,3	2,0	1,6-2,5	1,8 ± 0,2	1,8	1,4-2,4	1,9 ± 0,3	1,9	1,4-2,5
B	1,9 ± 0,2	2,0	1,3-2,3	1,7 ± 0,3	1,6	1,2-2,3	1,8 ± 0,3	1,8	1,2-2,3
C	2,1 ± 0,3	2,1	1,6-3,5	1,9 ± 0,3	1,9	1,3-2,6	2,0 ± 0,3	2,1	1,3-3,5

A = an der Soll-Einstichstelle; B = 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle; C = 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle

#### 4.2.2. Knochendichte in Abhängigkeit vom Geschlecht

Die Knochendichte an der Soll-Einstichstelle lag bei den Knochen weiblicher Verstorbener signifikant niedriger ( $p = 0,0074$ ) als bei männlichen Tibiaknochen. Der Unterschied der Knochendichte betrug 20% zu Lasten der weiblichen Knochen.

Auch die Knochendichte 10 mm cranial ( $p = 0,0082$ ) bzw. 10 mm caudal ( $p = 0,0251$ ) der Soll-Einstichstelle lag bei den weiblichen Tibiaknochen signifikant niedriger als bei männlichen Tibiaknochen. Hier betragen die prozentualen Unterschiede der Knochendichte durchschnittlich 33% bzw. 20% zu Lasten der weiblichen Tibiaknochen (s. Tab.4). Innerhalb des männlichen Tibiakollektivs war die Knochendichte 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle am höchsten, gefolgt von jener an der Einstichstelle und derjenigen 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle ( $p < 0,001$ ). Die Knochendichte nahm von caudal nach cranial deutlich ab.

Bei den weiblichen Tibiaknochen zeigte sich ein analoger Befund ( $p = 0,0004$ ). Auch hier konnte 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle die höchste und 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle die niedrigste Knochendichte gemessen werden.

Tab.4: Knochendichte ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ ) in Abhängigkeit vom Geschlecht									
Loka- lisa- tion	männlich (n=20)			weiblich (n=14)			gesamt (n=34)		
	O $\pm$ SD	Me	Mi/Ma	O $\pm$ SD	Me	Mi/Ma	O $\pm$ SD	Me	Mi/Ma
<u>Dichte</u>									
A	445 $\pm$ 111	438	208-723	356 $\pm$ 107	367	202-634	409 $\pm$ 117	396	202-723
B	386 $\pm$ 101	367	240-629	298 $\pm$ 73	269	198-435	350 $\pm$ 100	338	198-629
C	525 $\pm$ 136	523	238-850	425 $\pm$ 100	428	260-635	483 $\pm$ 131	488	238-850

A = an der Soll-Einstichstelle; B = 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle; C = 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle

Für die Applikation der Bone-Injection-Gun wäre demzufolge bei männlichen Patienten hinsichtlich der Knochendicke und -dichte die Soll-Einstichstelle der ideale Einstichpunkt, gefolgt vom caudalen Ansatzpunkt, da hier die beste Festigkeit des Knochens zu erwarten wäre. Bei weiblichen Knochen ergäbe sich ein analoges Ergebnis, da auch bei diesen Knochen nach caudal sowohl die Knochendichte als auch die Knochendicke zunehmen und somit aufgrund der steigenden Festigkeit des Knochens eine gute Stabilität des Zuganges zu erwarten ist.

#### 4.2.3. Knochendichte und -dicke in Abhängigkeit vom Alter

Sowohl im Gesamtkollektiv als auch bei den jeweils von Männern und Frauen stammenden Tibiaknochen korrelierten die Knochendichte an der Soll-Einstichstelle sowie die Knochendichte 10 mm caudal davon signifikant mit dem Alter der Patienten. Daraus lässt sich folgern, dass mit zunehmendem Alter der (männlichen oder weiblichen) Patienten die Knochendichte an diesen beiden Einstichstellen immer stärker abnahm.

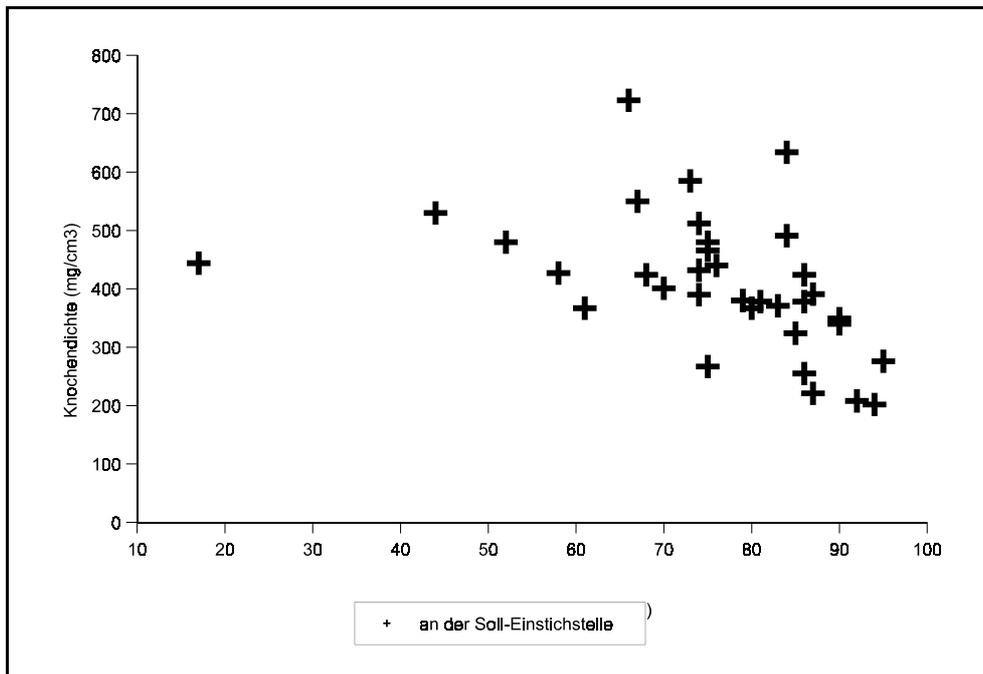
Die Knochendicke hingegen korrelierte weder an der Soll-Einstichstelle ( $r = -0,263$ ;  $p = 0,133$ ), noch 10 mm cranial ( $r = -0,168$ ;  $p = 0,343$ ) oder 10 mm caudal ( $r = -0,303$ ;  $p = 0,082$ ) mit dem Alter der Verstorbenen.

Demzufolge sank im vorliegenden Kollektiv sowohl insgesamt betrachtet als auch getrennt nach dem jeweiligen Geschlecht mit zunehmendem Alter nicht die Dicke des Knochens, sondern nur an bestimmten Stellen seine Dichte.

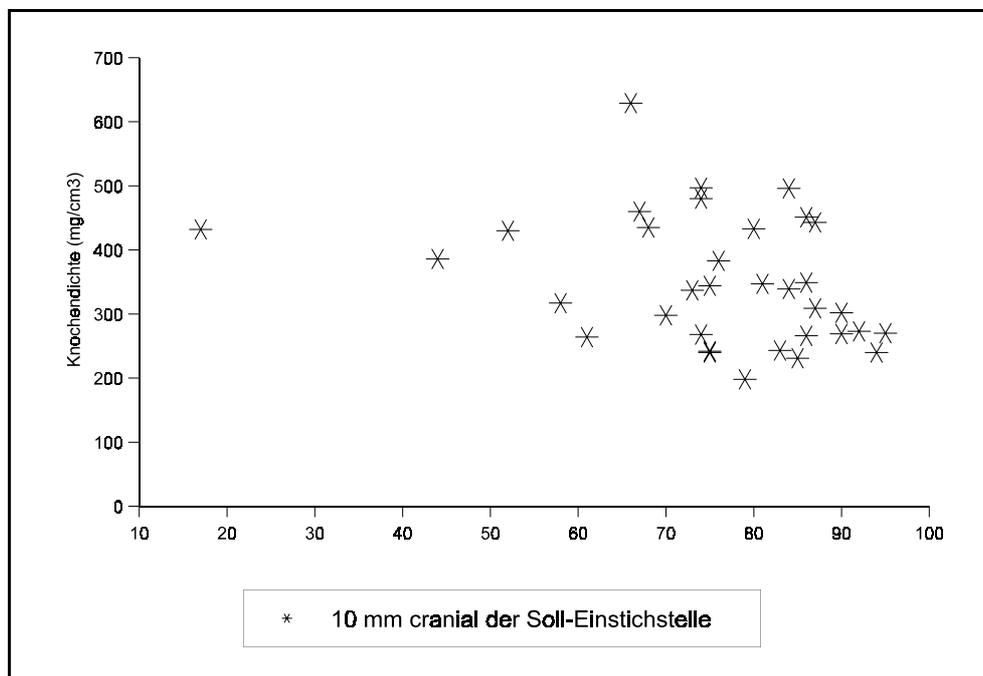
	männlich		weiblich		gesamt	
	r	p	r	p	r	p
<u>Knochendichte:</u>						
A	<b>-0,631</b>	<b>0,003</b>	<b>-0,717</b>	<b>0,004</b>	<b>-0,651</b>	<b>&lt; 0,001</b>
B	-0,228	0,333	-0,174	0,553	-0,318	0,066
C	<b>-0,526</b>	<b>0,017</b>	<b>-0,534</b>	<b>0,049</b>	<b>-0,536</b>	<b>0,001</b>
<u>Knochendicke:</u>						
A	-0,246	0,295	-0,189	0,517	-0,263	0,133
B	-0,176	0,459	0,031	0,916	-0,168	0,343
C	-0,374	0,104	-0,149	0,611	-0,303	0,082

A = an der Soll-Einstichstelle; B = 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle; C = 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle; r = Korrelationskoeffizient nach Spearman; p = Signifikanzniveau

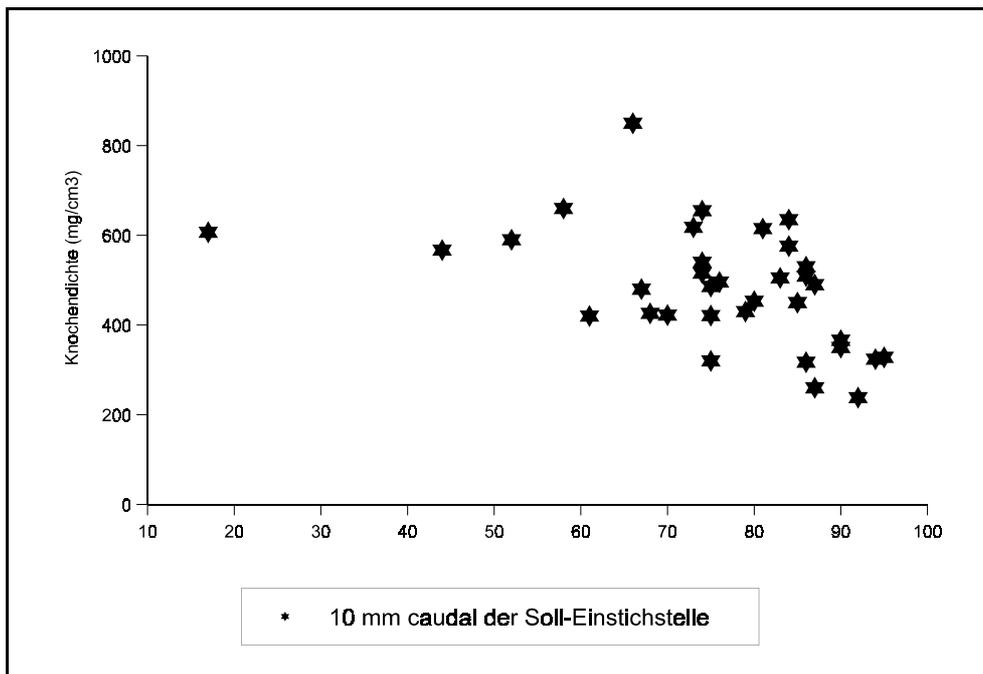
Die nachfolgenden Graphiken zeigen die entsprechenden Punktwolken für die Knochendichte und die Altersverteilung im Gesamtkollektiv bei den drei Messpunkten des Tibiaknochens.



**Abbildung 10:** Korrelation zwischen Alter und Knochendichte an der Soll-Einstichstelle im Gesamtkollektiv



**Abbildung 11:** Korrelation zwischen Alter und Knochendichte 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle im Gesamtkollektiv



**Abbildung 12:** Korrelation zwischen Alter und Knochendichte 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle im Gesamtkollektiv

Aufgrund der geringen Knochenzahlen mit einer überwiegend in den hohen Altersklassen verteilten Häufigkeit von Fällen war eine nach Altersklassen strukturierte, geschlechtsbezogene Auswertung der Knochendichte und -dicke nicht auf valider Basis durchführbar.

#### 4.2.4. Knochendicke und -dichte in Abhängigkeit von der Art der Knochenkonservierung (tiefgefroren, in Formaldehyd konserviert)

Im Gesamtkollektiv unterschied sich die Knochendicke zwischen tiefgefrorenen und in Formaldehyd asservierter Tibiaknochen bei der Soll-Einstichstelle ( $p = 0,2444$ ) bzw. 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle ( $p = 0,7542$ ) nicht signifikant, jedoch war sie 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle ( $p = 0,05$ ) bei den in Formaldehyd gelagerten Knochen signifikant niedriger.

In der Gruppe männlicher Tibiaknochen traten diese Diskrepanzen jedoch nicht auf, da bei allen drei Einstichstellen kein signifikanter Unterschied in der Knochendicke vorhanden war (jeweils  $p > 0,05$ ). Auch in der Gruppe weiblicher Tibiaknochen war ein entsprechender Unterschied nicht mehr statistisch abzusichern ( $p > 0,05$ ), so dass diesbezüglich von einem Zufallsbefund ausgegangen wurde (Tab.6).

Tab.6: Knochendicke (mm) in Abhängigkeit vom Geschlecht									
tiefgefrorene Tibiaknochen (n=18)									
Loka- lisa- tion	männlich (n=12)			weiblich (n=6)			gesamt (n=18)		
	O ± SD	Me	Mi/Ma	O ± SD	Me	Mi/Ma	O ± SD	Me	Mi/Ma
A	2,0 ± 0,3	2,1	1,6-2,5	1,8 ± 0,3	1,8	1,5-2,4	2,0 ± 0,3	1,9	1,5-2,5
B	1,9 ± 0,2	2,0	1,6-2,3	1,6 ± 0,2	1,6	1,2-1,9	1,8 ± 0,3	1,8	1,2-2,3
C	2,2 ± 0,4	2,2	1,6-3,5	2,1 ± 0,3	2,1	1,5-2,6	2,2 ± 0,4	2,2	1,5-3,5
in Formaldehyd aufbewahrte Tibiaknochen (n=16)									
Loka- lisa- tion	männlich (n=8)			weiblich (n=8)			gesamt (n=16)		
	O ± SD	Me	Mi/Ma	O ± SD	Me	Mi/Ma	O ± SD	Me	Mi/Ma
A	1,9 ± 0,3	1,8	1,6-2,5	1,7 ± 0,2	1,8	1,4-2,2	1,8 ± 0,3	1,8	1,4-2,5
B	1,8 ± 0,3	1,9	1,3-2,2	1,7 ± 0,3	1,7	1,2-2,3	1,8 ± 0,3	1,8	1,3-2,3
C	2,0 ± 0,2	2,0	1,8-2,4	1,8 ± 0,3	1,9	1,3-2,4	1,9 ± 0,3	1,9	1,3-2,4

A = an der Soll-Einstichstelle; B = 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle; C = 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle

Im Kollektiv der tiefgefrorenen Tibiaknochen zeigten nur die männlichen ( $p = 0,0468$ ), nicht aber die weiblichen Tibiaknochen ( $p = 0,0787$ ) eine signifikant höhere Knochendicke im caudal von der Einstichstelle liegenden Knochenbereich. Dieser Befund ergab sich nicht bei den in Formaldehyd aufbewahrten Knochen, denn hier fanden sich weder

bei den männlichen Knochen ( $p = 0,2163$ ) noch den weiblichen Knochen ( $p = 0,9105$ ) signifikante Unterschiede der Knochendicke an den drei unterschiedlichen Messorten.

Die Knochendichte im Gesamtkollektiv unterschied sich zwischen tiefgefrorenen und in Formaldehyd asservierten Tibiaknochen weder an der Soll-Einstichstelle ( $p = 0,1048$ ) noch 10 mm cranial ( $p = 0,7693$ ) oder 10 mm caudal ( $p = 0,5809$ ) der Soll-Einstichstelle signifikant.

Auch in den Untergruppen der männlichen bzw. weiblichen Tibiaknochen fanden sich bei diesen drei Lokalisationen keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $p > 0,05$ ) zwischen tiefgefrorenen und in Formaldehyd aufbewahrten Knochen (Tab.7).

Tab.7: Knochendichte ( $\text{mg}/\text{cm}^3$ ) in Abhängigkeit vom Geschlecht									
tiefgefrorene Tibiaknochen (n=18)									
Loka- lisa- tion	männlich (n=12)			weiblich (n=6)			gesamt (n=18)		
	O $\pm$ SD	Me	Mi/Ma	O $\pm$ SD	Me	Mi/Ma	O $\pm$ SD	Me	Mi/Ma
A	469 $\pm$ 118	456	267-723	382 $\pm$ 147	373	221-634	440 $\pm$ 131	429	221-723
B	391 $\pm$ 116	408	240-629	293 $\pm$ 64	287	198-383	358 $\pm$ 110	338	198-629
C	536 $\pm$ 139	512	320-850	426 $\pm$ 132	425	260-635	499 $\pm$ 143	493	260-850
in Formaldehyd aufbewahrte Tibiaknochen (n=16)									
Loka- lisa- tion	männlich (n=8)			weiblich (n=8)			gesamt (n=16)		
	O $\pm$ SD	Me	Mi/Ma	O $\pm$ SD	Me	Mi/Ma	O $\pm$ SD	Me	Mi/Ma
A	409 $\pm$ 95	422	208-512	336 $\pm$ 24	353	202-424	373 $\pm$ 89	378	202-512
B	377 $\pm$ 82	348	273-496	302 $\pm$ 84	269	231-435	340 $\pm$ 89	323	231-496
C	508 $\pm$ 139	553	238-655	424 $\pm$ 79	438	324-540	466 $\pm$ 117	451	238-655

A = an der Soll-Einstichstelle; B = 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle; C = 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle

Im Kollektiv der tiefgefrorenen Tibiaknochen zeigten sowohl die männlichen ( $p = 0,0002$ ) als auch die weiblichen Tibiaknochen ( $p = 0,0421$ ) eine signifikant höhere Knochendichte im caudal von der Einstichstelle liegenden Knochenbereich. Dieses signifikante Resultat ergab sich auch bei den in Formaldehyd aufbewahrten in der Gruppe der männlichen Knochen ( $p = 0,0208$ ) und in der Gruppe der weiblichen Knochen ( $p = 0,0098$ ).

Demzufolge hatte die Aufbewahrungsart der Knochen keinen signifikanten Einfluss auf die Knochendichte, jedoch war der bereits beschriebene Geschlechtsunterschied dahinge-

hend zu beobachten, dass nach caudal gesehen die höheren Knochendichtewerte sowohl bei tiefgefrorenen als auch in Formaldehyd aufbewahrten Tibiaknochen vorhanden waren. Bezüglich der klinischen Konsequenz spielt die Aufbewahrung der Knochen keine entscheidende Rolle, allerdings umso mehr die Feststellung, dass alle gemessenen Knochendichtewerte der Tibia nach caudal hin unabhängig von der Aufbewahrungsart zunehmen.

4.2.5. Knochendicke und -dichte in Abhängigkeit von der Art der Vorerkrankung im Kollektiv der tiefgefrorenen Tibiaknochen

Weder die Knochendicke ( $p > 0,05$ ) noch die Knochendichte ( $p > 0,05$ ) war bei den Knochen der Verstorbenen, die ohne Vorerkrankung gewesen, an Tumorleiden oder Unfall bzw. Trauma verstorben waren, signifikant unterschiedlich (Tab.8).

Tab.8: Knochendicke (mm) und Knochendichte (mg/cm <sup>3</sup> ) bei tiefgefrorenen Tibiaknochen in Abhängigkeit von der Vor-/Grunderkrankung									
Lokalisation	keine Vorerkrankung (n=5)			Tumoren (n=11)			Unfall/Trauma (n=2)		
	O ± SD	Me	Mi/Ma	O ± SD	Me	Mi/Ma	O ± SD	Me	Mi/Ma
<u>Dicke</u>									
A	1,8 ± 0,3	1,7	1,6-2,4	2,0 ± 0,3	2,1	1,5-2,4	2,2 ± 0,3	2,2	2,5-4,4
B	1,7 ± 0,3	1,7	1,2-2,2	1,8 ± 0,2	1,8	1,5-2,3	2,0 ± 0,2	2,0	2,2-4,1
C	2,2 ± 0,2	2,2	1,9-2,6	2,1 ± 0,5	2,1	1,5-3,5	2,2 ± 0,1	2,2	2,3-4,5
<u>Dichte</u>									
A	412 ± 177	391	221-634	456 ± 124	432	255-723	423 ± 79	423	480-847
B	358 ± 91	339	242-460	361 ± 126	337	198-629	347 ± 117	347	430-694
C	437 ± 149	480	260-635	527 ± 148	509	317-850	505 ± 120	505	590-1010

A = an der Soll-Einstichstelle; B = 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle; C = 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle

Auf eine Auswertung der Knochendicke bzw. -dichte innerhalb der drei einzelnen Untergruppen wurde aufgrund der teilweise zu geringen Fallzahl (keine Vorerkrankung bzw. Unfall/Trauma) verzichtet. In der mit ausreichenden Fällen besetzten Gruppe der an Tumoren verstorbenen Personen zeigte sich bei der Knochendicke ( $p = 0,0700$ ) kein signifikanter Unterschied zwischen den drei Knochenregionen (Soll-Einstichstelle, 10 mm cranial bzw. 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle). Bei der Knochendichte hingegen zeigten die Tumorpatienten signifikant ( $p = 0,001$ ) höhere Dichtewerte im Bereich 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle. Bei diesen 11 Patienten, die an Tumoren verstorben waren, hatte es sich in 8 Fällen um männliche und in drei Fällen um weibliche Personen gehandelt. Anhand der vorliegenden Daten kann davon ausgegangen werden, dass die jeweilige Vorerkrankung der Knochen keinen relevanten Einfluss auf das Eindringen der Nadel der Bone Injection Gun ausgeübt hat.

### 4.3. Vergleich der 18- und der 22-Kilopond-Nadel der Bone-Injection-Gun

#### 4.3.1. Einflussfaktoren auf die Eindringtiefe der Nadeln in den Knochen

Die Eindringtiefe der 18-Kilopond-Nadel ( $p = 0,1844$ ) und der 22-Kilopond-Nadel ( $p = 0,6202$ ) war zwischen Knochen von männlichen und weiblichen Verstorbenen nicht signifikant verschieden (s. Tab.10). Insgesamt konnte mit der 22-Kilopond-Nadel eine Eindringtiefe von durchschnittlich 26,8 mm erreicht werden, die signifikant ( $p = 0,0207$ ) etwa 4% grösser ausfiel als jene, die mit der 18-Kilopondnadel zu erreichen war (25,9 mm).

Die Lagerung des Knochens hatte einen Einfluss auf die Eindringtiefe der 18-Kilopond-Nadel, die bei tiefgefrorenen Knochen signifikant ( $p = 0,0016$ ) weniger tief eindrang als bei in Formaldehyd konservierten Knochen. Beim Vergleich der Eindringtiefe der 22-Kilopond-Nadel zwischen beiden Lagerungsformen ergab sich ein analoges, statistisch signifikantes ( $p = 0,0008$ ) Resultat. In tiefgefrorenen Knochen drangen die Nadeln weniger tief ein. Die Art der Vorerkrankung (keine, Tumoren, Unfall/Trauma) spielte bei den tiefgefrorenen Knochen weder bei der 18- ( $p = 0,1180$ ) noch der 22-Kilopond-Nadel ( $p = 0,4386$ ) eine Rolle (s. Tab.10).

Tab.10: Eindringtiefe (mm) der 18- und der 22-Kilopondnadel in Abhängigkeit von Geschlecht, Art der Knochenaufbewahrung (tiefgefroren, Formaldehyd) und Vorerkrankungen des Knochens (bei tiefgefrorenen Knochen)						
	18-Kilopond-Nadel			22-Kilopond-Nadel		
	O ± SD	Med	Min.-Max.	O ± SD	Med	Min.-Max.
alle Knochen	25,9 ± 2,9	27,6	14,0-28,6	26,8 ± 1,5	27,6	23,5-28,6
Geschlecht:						
männlich	25,4 ± 3,4	27,5	14,0-38,4	26,8 ± 1,4	27,6	23,5-28,4
weiblich	26,6 ± 1,8	27,8	23,5-28,6	26,9 ± 1,6	27,9	23,5-28,6
Lagerung:						
tiefgefroren	24,9 ± 3,3	24,6	14,0-28,0	26,1 ± 1,4	26,0	23,5-28,3
Formaldehyd	27,1 ± 1,9	28,0	21,5-28,6	27,6 ± 1,3	28,0	23,5-28,6
Vorerkrankung:						
- keine vorhanden	24,8 ± 1,6	24,4	23,0-27,6	26,3 ± 1,6	26,4	24,4-28,3
- Tumor	24,3 ± 3,9	24,5	14,0-28,0	25,8 ± 1,3	25,8	23,5-27,6
- Unfall/Trauma	27,7 ± 0,3	27,7	27,5-28,0	27,7 ± 0,3	27,7	27,5-28,0

Das Alter der verstorbenen Knochenspender hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Eindringtiefe beider Injektionsnadeln. Weder bei der 18-Kilopond-Nadel ( $r = 0,188$ ;  $p = 0,288$ ) noch bei der 22-Kilopond-Nadel ( $r = 0,240$ ;  $p = 0,172$ ) korrelierte das Alter signifikant mit der Eindringtiefe.

Im Gesamtkollektiv war sowohl bei der 18- als auch der 22-Kilopond-Nadel die Applikation an der Soll-Einstichstelle möglich. Es bestand keine Notwendigkeit, die Nadel nach caudal oder cranial abweichend zu plazieren. Deshalb konnte die Knochendichte und Knochendicke an der Soll-Einstichstelle mit der jeweils erzielten Eindringtiefe korreliert werden.

Bei der 18-Kilopond-Nadel wurde keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der Eindringtiefe und der Knochendichte ( $r = -0,291$ ;  $p = 0,095$ ) bzw. der Knochendicke ( $r = -0,181$ ;  $p = 0,307$ ) festgestellt.

Bei der 22-Kilopond-Nadel hingegen war bei der Knochendichte ( $r = -0,478$ ;  $p = 0,004$ ) eine signifikante, negative, klinisch aber nicht ausreichend relevante Korrelation mit der Eindringtiefe vorhanden. Bei der Knochendicke hingegen bestand auch hier keine signifikante Korrelation ( $r = -0,241$ ;  $p = 0,169$ ) mit der Eindringtiefe.

Dies bedeutet, dass eine Tendenz bestand, bei Applikation einer 22-Kilopond-Nadel bei Knochen mit niedriger Knochendichte eine höhere Eindringtiefe zu erreichen, während die Knochendicke hierbei keine Rolle spielte. Dieser Zusammenhang war aber nicht statistisch signifikant ausgeprägt.

#### 4.3.2. Ergebnisse der Praktikabilitätsparameter

Die Applikation der mit unterschiedlicher Schlagstärke eingesetzten Bone-Injection-Guns war in der Regel problemlos möglich. Weder unter 18- noch 22-Kilopond war eine Korrektur der Nadel notwendig oder kam es zu Komplikationen während der Applikation. Ebenso war in jedem Fall eine Aspiration möglich sowie die Injektion von Aqua in den liegenden Zugang (Tab.11).

Tab.11: Gegenüberstellung erhobener Parameter während der Applikation der 18- und 22-Kilopond-Nadel				
Parameter	18-Kilopond-Nadel		22-Kilopond-Nadel	
	ja	nein	ja	nein
1. Korrektur notwendig	0	34	0	34
2. Applikationskomplikationen	0	34	0	34
3. Aspiration möglich	34	0	34	0
4. Injektion von Aqua möglich	34	0	34	0
5. Stabilität der Nadel/fester Sitz	33	1	33	1
6. Auftreten von Extravasaten	6	28	8	26
7. Verbiegen der Nadel bei Applikation	0	34	0	34

Bei einem der 34 untersuchten Tibiaknochen (3%) saß die Nadel nicht fest bzw. war der Zugang nicht stabil. Bei diesem Knochen handelte es sich in beiden Durchläufen um einen in Formaldehyd asservierten Tibiaknochen eines männlichen Verstorbenen.

Unter Einsatz der 18-Kilopond-Nadel kam es in sechs Fällen (17,6%) zu Extravasaten (Flüssigkeitsaustritt außerhalb der Gefäßstrukturen bzw. außerhalb der knöchernen Strukturen), während dieses Problem bei 23,5% nach Anwendung der 22-Kilopond-Nadel auftrat.

Bei dieser Komplikation fiel auf, dass bei den Knochen, bei denen sich Extravasate ergaben, die Knochendichte an der Soll-Einstichstelle deutlich höher war, wenn auch dieser Unterschied am deutlichsten nur bei der Applikation der 18-Kilopond-Nadel vorhanden war und hier fast statistische Signifikanz erreichte ( $p = 0,0548$ ). Die Knochendichte betrug bei den Knochen mit Extravasatbildung  $494 \pm 109 \text{ mg/cm}^3$  im Vergleich zu  $390 \pm 112 \text{ mg/cm}^3$  bei den unauffälligen Tibiaknochen. Bei Applikation der 22-Kilopond-

Nadel fand sich im analogen Vergleich hingegen kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,1437$ ). Hier lag ebenfalls die Knochendichte der unauffälligen Tibiaknochen mit  $391 \pm 116 \text{ mg/cm}^3$  deutlich niedriger als jene der Knochen mit Extravasatbildung ( $466 \pm 106 \text{ mg/cm}^3$ ).

Eine mögliche Erklärung für dieses Verhalten mag in dem Umstand gelegen haben, dass bei den Knochen mit Extravasatbildung unter Applikation der 18-Kilopond-Nadel etwas mehr Knochen (5 von 6) aus der Gruppe der tiefgekühlten Tibiaknochen stammten, was eine gewisse, tendenzielle Signifikanz ( $p = 0,1157$ ) bewirkte. Wurden die Knochen mit der 22-Kilopond-Nadel beschossen und traten dabei ggf. Extravasate auf, stammten diese Knochen in 5 von 8 Fällen aus der Tiefkühlung, also anteilmäßig weniger Knochen ( $p = 0,4147$ ) als bei der 18-Kilopond-Nadel. Die Art der Lagerung des Knochens hatte demzufolge einen geringgradigen, aber nicht statistisch signifikanten Einfluss auf die Häufigkeit der Extravasatbildung. Das Handling der Bone-Injection-Gun machte in der vorliegenden Untersuchung als mögliche Erklärung jedoch keine besonderen Probleme.

Das Geschlecht der Verstorbenen hatte bei der Extravasatbildung keinerlei Einfluss auf die Untersuchung, denn sowohl bei der 18- (3 vs. 3) als auch der 22-Kilopond-Nadel (4 vs. 4) fanden sich gleich viele Männer wie Frauen in der Gruppe mit Extravasatbildung. Es fand sich keine signifikante Häufung einer der beiden Geschlechtergruppen.

Auch das Alter der Verstorbenen spielte bei der Extravasatbildung keine relevante Rolle, da sowohl bei der 18-Kilopond-Nadel ( $p = 0,6349$ ) als auch der 22-Kilopond-Nadel ( $p = 0,4769$ ) kein statistisch signifikanter Altersunterschied zwischen den Knochen mit bzw. ohne Extravasatbildung bestand.

Die Dauer der Applikation mit der 18-Kilopond-Nadel lag bei durchschnittlich  $18 \pm 3$  Sekunden (12 bis 28 Sekunden) und unterschied sich nicht signifikant ( $p = 0,6736$ ) von der Applikationsdauer der 22-Kilopond-Nadel ( $18 \pm 3$  Sekunden, 12-25 Sekunden). Beide Bone-Injection-Gun-Modelle benötigten demzufolge die gleiche Zeit für die Applikation. Die Bewertung der Praktikabilität der Bone-Injection-Gun kann nur auf subjektiver Ebene erfolgen.

Man erzielt dann optimale Resultate, wenn das Gerät vorschriftsmäßig auf der Tuberositas tibiae 2 cm nach medial und 0.5-1 cm nach cranial plaziert wird, im rechten Winkel plan aufgesetzt und nicht verkantet wird. Der Gelenkspalt sollte nicht getroffen werden. Im Gegensatz zur Bedienungsanleitung erscheint die einhändige Bedienung der Bone Injection Gun nicht unbedingt angezeigt. Am sichersten geht man vor, wenn das Gerät plaziert, dann mit der linken Hand festgehalten und mit dem Handballen der rechten Hand ausgelöst wird (leichtes Aufschlagen auf den Auslösemechanismus).

Kritisch ist zu bemerken, dass die Schussrichtung der Bone Injection Gun nicht in ausreichendem Maße gekennzeichnet ist. Bisher ist die Schussrichtung der Nadel lediglich durch einen farblich nicht besonders abgehobenen Pfeil auf dem Gerät markiert. Dies kann in einer Notsituation übersehen werden oder zu Fehlanwendungen führen. Hier ist eine deutliche, farblich mehr kontrastierende Markierung für die Schussrichtung zu fordern. Der Untersucher setzte sich selbst einmal einen intraossären Zugang bei Anwendung des Gerätes, da beim Auslösen des Gerätes die Nadel versehentlich in den Bereich der Mittelhandknochen appliziert wurde. Die Nadel konnte erst mit Hilfe einer Zange entfernt werden.

## 5. Diskussion

Eine Venenpunktion kann sich im Notfall als sehr schwierig erweisen. Gerade beim pädiatrischen Notfall ist es häufig schwierig, einen venösen Zugang in kurzer Zeit zu sichern. Bei Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern ist das Auffinden einer geeigneten Vene oft sehr schwierig. Hinzu kommt, dass die Punktion einer Vene bei Kindern meist wesentlich schwieriger als bei Erwachsenen ist.

In den 1970iger Jahren und Anfang der 1980iger Jahre wurde häufig noch versucht, auch unter Reanimationsbedingungen einen zentralvenösen Zugang bei einem Kind zu legen. Zwar sind beim Kind die zentralvenöse Punktion und die Venae sectio im Kreislaufstillstand als Alternative in etwa 80% der Fälle erfolgreich, jedoch vergehen durchschnittlich 8-12 Minuten, in Einzelfällen sogar 40 Minuten, bis zu einer erfolgreichen Punktion [67]. Hiervon ist man mittlerweile abgekommen. Seit Mitte der 1990iger Jahre hat sich bei entsprechender Indikation und Übung des Anwenders der intraossäre Zugang als einfaches und sicheres Verfahren zur schnellen Applikation von Medikamenten und Infusionen etabliert [11, 22, 25, 27, 67]. Im Notfall ist beim Erwachsenen die venöse Punktion meistens möglich. Auch die Anlage eines zentralvenösen Zuganges kann häufig rascher als bei Kleinkindern erfolgen. Im seltenen Fall, dass kein Zugang für Notfallmedikamente geschaffen werden kann, sollte auch bei Erwachsenen an die Möglichkeit einer intraossären Infusion gedacht werden [67].

Laut den Richtlinien zur kardiopulmonalen Reanimation der ILCOR [31] darf das Knochenmark als große, nicht-kollabierende Vene betrachtet werden [20, 39, 65, 69].

Als Indikation für einen intraossären Zugang gelten alle Situationen, bei denen aufgrund kollabierter Venen kein venöser Zugang mehr gesichert werden kann. Die häufigste Indikation ist die Volumensubstitution bei Traumapatienten, da 50% aller Todesursachen bei einer traumatischen Verletzung die akute Hämorrhagie darstellt. Aber auch bei Ertrinkungs- und Verkehrsunfällen, im Status epilepticus, bei erheblicher Kreislaufzentralisation, bei ausgedehnten Ödemen oder Verbrennungen kann ein intraossärer Zugang indiziert sein. Desweiteren können das unkontrollierte Verhalten eines Patienten, schlechte

Lichtverhältnisse und taktisch ungünstige Situationen einen intraossären Zugang erfordern. Gerade kleinste Patienten können hierdurch deutlich profitieren [11, 25, 26, 67].

Im Falle einer kardiopulmonalen Reanimation, bei der nach 2-5 Minuten kein venöser Zugang gelegt werden kann, sollte ein intraossärer Zugang zum Einsatz kommen [67].

Allerdings hält Flake [22] den intraossären Zugang nur in Ausnahmesituationen aufgrund der enormen Invasivität für vertretbar. Deshalb sollten erst andere Maßnahmen versucht werden, um einen peripheren Zugang zu legen. Im Rahmen einer Reanimation und unter sonst schlechten periphervenösen Bedingungen sind die Kontraindikationen, die angeführt werden, aber zumindest teilweise als relative Kontraindikationen anzusehen [22].

Kontraindikationen für die intraossäre Injektion und Infusion sind alle Erkrankungen des zu punktierenden Knochens, wie frische Frakturen, aktive Osteomyelitis, Osteogenesis imperfecta oder Osteopetrosis [2, 33]. Punktionen durch infizierte Haut oder infizierte Verbrennungswunden sind möglichst zu vermeiden [67]. Waisman und Waisman [84] sehen dagegen die Osteoporose bei vitaler Indikation nicht als Kontraindikation an.

Zwar wird im Prinzip eine Septikämie als Kontraindikation angesehen, bei entsprechender Indikation wurde aber auch bei septischen Patienten erfolgreich intraossär infundiert [24]. Wegen des Notfallcharakters stellen sich nur selten absolute Kontraindikationen.

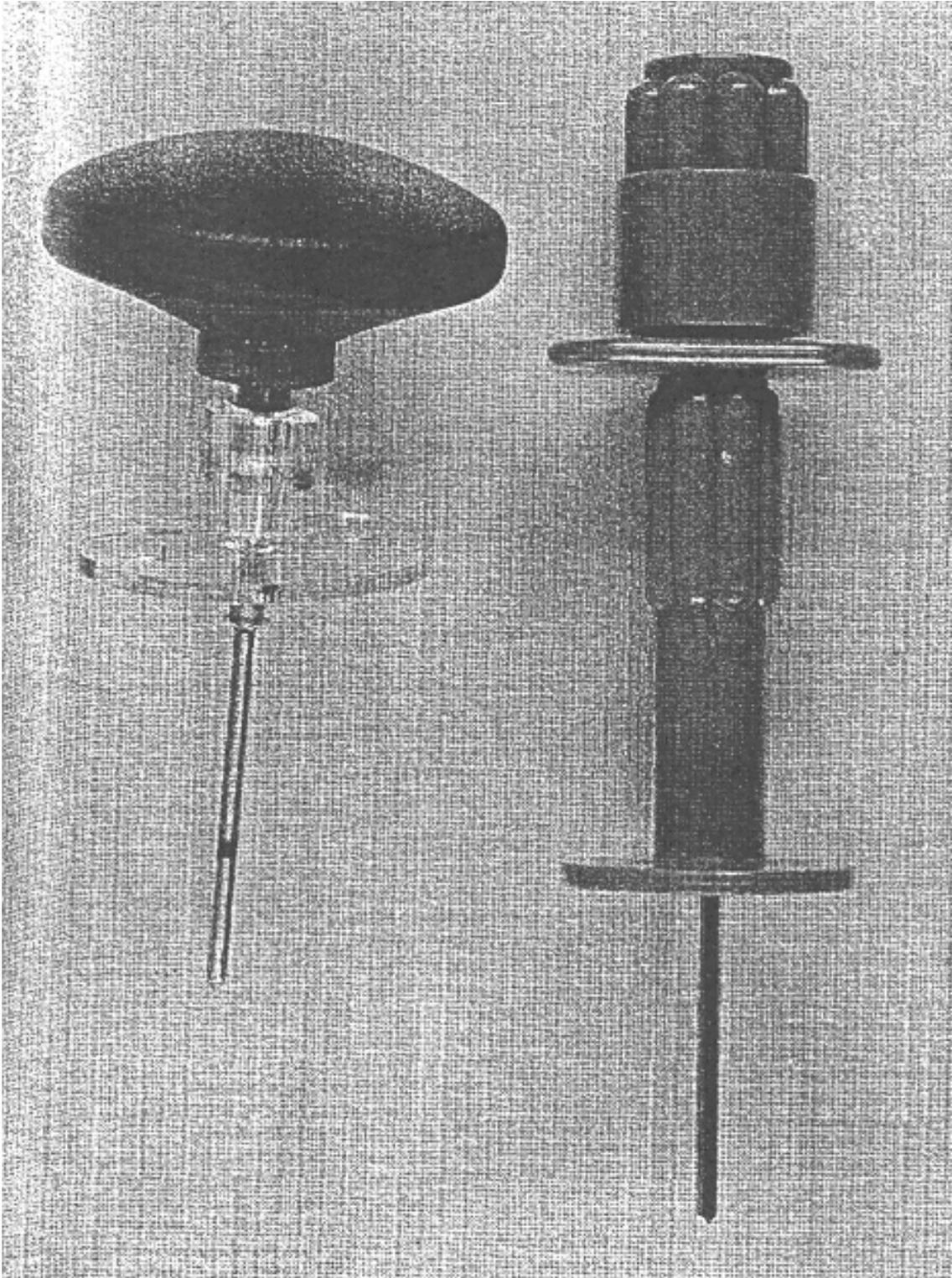
Punktionsnadeln für die intraossäre Injektion stehen zwar in verschiedener Form zur Verfügung, allerdings wird immer wieder über Probleme mit umständlicher Handhabung, Verbiegen, Abbrechen und Lumenverlegung berichtet [67]. Die Bone Injection Gun, Gegenstand der vorliegenden Untersuchung, ist eine stilettragende Trokarstahlkanüle, die durch Auslösen eines Federmechanismus aus ihrem sterilen Gehäuse in den Knochen geschossen wird. Nach Entfernen des Trokars kann an den Standardanschluss problemlos eine Spritze oder ein handelsübliches, genormtes Infusionsschlauchsystem angeschlossen werden.

Anhand der Ergebnisse der vorliegenden Analyse zeigte sich, dass das Setzen der Nadel in jedem einzelnen der 34 Fälle vollkommen problemlos gelungen war. Es war in keinem einzigen Fall eine Korrektur der Nadel notwendig. Auch das Aufsuchen der idealen Einstichstelle medio-cranial der Tuberositas tibiae und die Applikation waren problemlos. Es traten auch keine Komplikationen während der Platzierung auf. In allen Fällen war eine Aspiration möglich sowie eine Injektion von Aqua in den liegenden Zugang. Es zeigte sich bei der Verwendung der 18 kp-Nadel keine signifikante Korrelation zwischen der Eindringtiefe und der Knochendichte bzw. Knochendicke. Auch bei Verwendung der 22 kp-Nadel war keine Korrelation mit der Knochendicke nachweisbar. Es fand sich lediglich eine Korrelation zur Knochendichte, die aber nicht klinisch relevant ausfiel. Zur Eindringtiefe und Positionierung der Nadel hatten weder Vorerkrankungen der Patienten, noch deren Alter oder Geschlecht einen signifikanten Einfluss. Die Applikationsdauer der 18 kp-Nadel und der 22 kp-Nadel betragen jeweils im Durchschnitt 18 Sekunden und unterschieden sich somit nicht signifikant voneinander. Bis auf eine einzige Ausnahme war in allen Fällen der Zugang stabil. Der einzige nicht stabile Zugang betraf einen in Formaldehyd eingelagerten Knochen eines männlichen Patienten.

Laut Literaturangaben kann die intraossäre Punktion mit einem bis zu 100%igen Erfolg ausgeübt und innerhalb von Sekunden bis wenigen Minuten auch vom Ungeübten durchgeführt werden. Eine Analyse aus dem Jahre 1985 von Rosetti et al. [65], die die Erfolgsquote sämtlicher 4.270 zwischen 1942 und 1977 beschriebener intraossärer Infusionen untersucht hatten, zeigte in 97% einen erfolgreichen Zugang mit im nachfolgenden Text ausführlich beschriebenen herkömmlichen Schraub-Bohr-Nadeln. Je nach Erfahrung des Anwenders werden in unterschiedlichen Studien verschiedene Zeitdauern mit verschiedenen Systemen zum erfolgreichen Applizieren angegeben. Nach Orłowski et al. [57] beträgt die Zeitdauer weniger als 60 Sekunden. Calkins et al. [9] geben  $70 \pm 33$  Sekunden an, Olsen et al. [54] berichteten am Hundemodell von einer Zeitdauer von 22,4 Sekunden, Glaeser et al. [25] gaben eine Zeitspanne von 30 Sekunden bis eine Minute an. Waisman und Waisman [84] berichten über 1-2 Minuten Zeitdauer von der Entscheidung zur Applikation bis zur laufenden Infusion. Spriggs et al. [72] benötigten am Modell 12 Sekunden. Sämtliche Zeitdauern, die im Sekundenbereich bis zur Applikation lagen, kann die vorliegende Studie bestätigen, denn in unserem Fall lag die mittlere Platzierungszeit bei  $18 \pm$

3 Sekunden am präparierten Leichenknochen. Die Zeitdauern im Bereich von 1-2 Minuten in der Praxis sind insofern realistisch, da man sich am Notfallort erst einmal Zugang zur Tuberositas tibiae verschaffen muss, was z.B. durch Entfernen von Kleidung oder ähnlichem geschehen muss. Nachfolgend sind einige Vergleichsstudien aufgezählt, bei denen die Bone Injection Gun auch mit anderen intraossären Punktionssystemen verglichen wird.

Neben der Bone Injection Gun zählen Calkins et al. [9] folgende, durch die US-Gesundheitsbehörde FDA genehmigte, intraossäre Injektionssysteme auf: FAST-System/Ping Medical aus Vancouver (British Columbia/Kanada), SurFast/Cook Critical aus Bloomington (Indiana/USA) und Jamshidi-Needle/Baxter Allegiance aus McGaw-Park (Illinois/USA). Bei allen Systemen handelt es sich um Bohr-Schraub-Systeme. Calkins et al. [9] ließen im Jahr 2000 in den USA 31 ‚Paramedics‘ (Navy Seals Corps-Mitglieder, Air Force Rettungspersonal, Army Special Forces- und Ranger-Medizinpersonal) nach dem Studium der Gebrauchsanleitung und Vorführung eines Videofilms über den Gebrauch aller vier Geräte diese Personen alle Geräte an präparierten Tierknochen randomisiert anwenden. Nach Calkins et al. [9] waren alle vier Systeme geeignet, schnell erlernt und angewendet zu werden. Die Erfolgsrate bei der Bone Injection Gun lag bei 94%, die mittlere Platzierungszeit betrug 70 Sekunden. Die Diskrepanz bezüglich der längeren Applikationsdauer und der geringeren Erfolgsrate im Gegensatz zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie mag an der Unerfahrenheit des medizinischen Hilfspersonals mit dieser Methode liegen, die bis dato noch keinen intraossären Zugang gelegt hatten im Gegensatz zu dem Durchführenden der vorliegenden Studie, der notärztlich und intensivmedizinisch erfahren ist und sich vor Beginn der Studie mit der Anwendung der Bone Injection Gun auch in der Praxis ausführlich vertraut gemacht hat. Die Erfolgsrate beim FAST-System betrug ebenfalls 94% bei einer mittleren Platzierungszeit von 114 Sekunden. 97% der Versuche mit der SurFast-Nadel waren erfolgreich, die mittlere Zeitdauer der Platzierung betrug 88 Sekunden, also 18 Sekunden länger als bei der Bone Injection Gun. Die Jamshidi-Nadel hatte ebenfalls eine Erfolgsrate von 97% bei einer mittleren Platzierungszeit von 90 Sekunden, also 20 Sekunden länger als die Bone Injection Gun [9]. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Surfaste- und die Jamshidi-Nadel.



**Abbildung 13:** Surfast-Nadel (links) und Jamshidi-Nadel (rechts) [30]

Spriggs et al. [72] verglichen die Jamshidi-Nadel mit der Bone Injection Gun-Methode im Rahmen einer prospektiven Crossover-Studie mit EMT-P-Studenten und ‚Paramedics‘ und konnten zeigen, dass mit dem BIG-System mit im Durchschnitt 11,9 Sekunden ein deutlich schnellerer Zugang möglich war als mit der Jamshidi-Nadel (16,9 Sekunden). Bei dieser Studie wurden pädiatrische Beinmodelle verwendet und die verschiedenen Techniken miteinander verglichen. Interessanterweise benötigten die Studenten mit der Bone Injection Gun noch weniger Zeit als die ‚Paramedics‘. Spriggs et al. [72] schlossen aus ihren Ergebnissen, dass beide Applikationsmethoden geeignete Verfahren sind, eine Nadel zu setzen, obgleich die Bone Injection Gun-Nadel signifikant schneller als die Jamshidi-Nadel gelegt werden konnte. Dieses schnelle und unkomplizierte Legen eines Zugangs mit der Bone Injection Gun bestätigen auch die eigenen Ergebnisse der vorliegenden Studie.

Auch Olsen et al. [54] verglichen die Bone Injection Gun mit der Jamshidi-Knochenmarksnadel im Rahmen einer Tierstudie an 48 lebenden, erwachsenen Hunden. Eine erfolgreiche Platzierung war mit dem Bone Injection Gun-System in 83,3% und mit der Jamshidi-Nadel in 95,8% der Fälle möglich. Der Unterschied war nicht signifikant. Die benötigte Platzierungszeit war beim Bone Injection Gun-System signifikant niedriger mit im Durchschnitt 22,4 Sekunden im Vergleich zur Jamshidi-Nadel (42 Sekunden). Die Platzierungszeit kommt derjenigen in der vorliegenden Studie nahe, die bei durchschnittlich 18 Sekunden lag. Die Diskrepanz bei der erfolgreichen Platzierungsrate von 83,3% versus 100% in der vorliegenden Studie könnte daran liegen, dass die Bone Injection Gun für die Anwendung in der Humanmedizin entwickelt wurde und Tibiaknochen von Hunden in ihrer Knochendichte, Knochendicke und ihrem Knochendurchmesser nicht denjenigen von Menschen entsprechen. Außerdem ist in der zitierten Studie nicht angegeben, von welchem Personal die Platzierung durchgeführt wurde. Falls die Platzierung nicht von geschultem Personal durchgeführt wurde, könnte dies die geringere Erfolgsquote bei der Platzierung begründen [54], da bei der Bone Injection Gun die sorgfältige Palpation der optimalen Zugangsstelle eine wichtige Voraussetzung ist und bei Hunden keine ausgeprägte Tuberositas tibiae vorhanden ist. In sämtlichen Vergleichsstudien benötigte die Bone Injection Gun die jeweils kürzeste Platzierungsdauer.

In Versuchen mit der Bone Injection Gun im Carmel Medical Center in Israel erreichte man im Verlauf von 11 Monaten bei 50 Patienten im Alter von 27-78 Jahren, genauso wie in der vorliegenden Studie, eine 100%ige Erfolgsquote. Dies ist deutlich höher als die Erfolgsrate bei der Verwendung von herkömmlichen Nadeln (SurFast/Cook, Jamshidi-Nadel), die zwischen 50% bei Erwachsenen und 85% bei Kindern im Alter bis zu drei Jahren angegeben wird [26, 28]. Diese Systeme müssen, im Gegensatz zur Bone Injection Gun, mit einigem Kraftaufwand eingedreht werden, was natürlich auch mit einem höheren Zeitaufwand verbunden ist. Bei der Patientenanwendung in Israel blieb der intravenöse Zugang die erste Wahl. Erst wenn am Notfallort nach 10 Minuten kein venöser Zugang gelegt werden konnte, kam das Schussgerät zum Einsatz. In 76% der Fälle wurde medial auf die Tuberositas tibiae geschossen, wie auch in der vorliegenden Analyse. Diese Studie konnte die gute Handhabung auch in akuten Einsatz-Stresssituationen bestätigen, nachdem die vorliegende Analyse die einfache und unkomplizierte Handhabung nur in Ruhe am Leichenknochen zeigen konnte [28, 84].

Seibert et al. [68] testeten die Bone Injection Gun ebenfalls am Leichenknochen. Es zeigte sich, dass es problemlos möglich war, den intraossären Zugang zu plazieren, wie auch in der vorliegenden Analyse. Seibert et al. [68] betonen, dass der Vorteil der Bone Injection Gun u.a. darin liege, dass das Gerät bezüglich der Applikationsrichtung ausreichend markiert ist, so dass es zu keiner Selbstgefährdung des Nothelfers bei der Applikation kommen dürfte. Im Gegensatz dazu steht die Erfahrung des Untersuchers der vorliegenden Studie, der sich selbst während der ersten Applikationen einen intraossären Zugang gelegt hat, da er versehentlich die Bone Injection Gun in der falschen Richtung auf den zu beschießenden Knochen aufgesetzt hatte und konsekutiv über einen intraossären Zugang im Os metacarpale III der rechten Hand verfügte, der mit einer Zange entfernt werden musste. Hier wäre bei der Bone Injection Gun eine optisch auffälligere Markierung in Schussrichtung wünschenswert. Seibert et al. [68] erscheint die mitgelieferte Anleitung ausreichend. Auch hier wäre von Seiten des Durchführenden der vorliegenden Studie zu fordern, die Bedienungsanleitung expressiv verbis auf die möglichen fatalen Folgen einer umgekehrten Applikation des Gerätes mit Verletzung kritischerer Organe als jene eines Handknochens hin zu überarbeiten.

Hinsichtlich der Handhabung zeigte eine Untersuchung von Hubble und Trigg [36], dass Studenten an menschlichen Leichen einen Zugang mit der Bone Injection Gun schneller, mit einer höheren Erfolgsrate und mit weniger Komplikationen legen konnten als mittels Venae sectio. Auch nach Uranga et al. [81] ermöglicht der intraossäre Zugang schnell, leicht und effizient einen Anschluss an das vaskuläre System, insbesondere bei Kindern in einem Alter unter 6 Jahren. Dubick und Holcomb [15] halten die intraossäre Infusion von Medikamenten und Flüssigkeiten für effizient und sicher, vor allem unter Berücksichtigung der Zeit bis zum Legen des Zuganges und der Flussraten. Nach Fiser [20] kann bei Verwendung herkömmlicher intraossärer (Schraub-)Nadeln der intraossäre Katheter in etwa 20% der Fälle nicht erfolgreich platziert werden aufgrund von Problemen der Technik, der Identifizierung der Applikationsstelle, Nadelproblemen, Problemen mit der Knochenhärte oder Verlegung des Katheters durch Fett oder fibröses Material. Mit Hilfe der Bone Injection Gun konnte in der vorliegenden Analyse aber stets in allen Fällen ein Zugang erfolgreich gelegt werden, da die Applikationsstelle leicht zu palpieren ist und sowohl die 18 kp-Feder als auch die 22 kp-Feder in allen Fällen, unabhängig von der Knochendichte und -dicke, die trokartragende Stahlkanüle bis in den Markraum des Knochens treiben konnte. Auch die Verlegung der Nadel durch Fett oder fibrösem Material ist einerseits durch die Entfernung des Trokars und initiale Aspiration des Knochenmarks minimal, andererseits sollte bei korrekter Benutzung eines Dreiwegeventils durch regelmäßiges Aspirieren diese Verlegung nicht zustande kommen. Sawyer et al. [66] forderten bereits 1994 Materialien für die intraossäre Infusion in allen Notfallsituationen und die Unterweisung auch des medizinischen Hilfspersonals bei deren Applikation. Selbst mittels herkömmlicher Jamshidi-Sternal-Nadeln berichten Glaeser et al. [26] bei medizinischem Hilfspersonal über Erfolgsraten beim Anlegen intraossärer Zugänge zwischen 50-85% an der proximalen Tibia. Je mehr Übung das Personal hatte, desto erfolgreicher war es in ihrer Studie, die die Ergebnisse einer fünfjährigen Erfahrung der Jamshidi-Nadel im präklinischen Bereich untersuchte. Fehler lagen vorwiegend in Irrtümern hinsichtlich der Platzierung der Nadel und in Problemen der Nadel selbst, wie Verbiegung oder Abbruch. Diese Schwierigkeit ließ sich in der vorliegenden Untersuchung mit der Bone Injection Gun nicht bestätigen.

Folgende indirekte, klinische Beurteilungsmöglichkeiten der korrekten Kanülenlage sollten nach der Punktion regelmäßig überprüft werden: fester Sitz der Nadel im Knochen, klinische Reaktion auf verabreichte Medikamente, sorgfältiges Palpieren nach Probeinfusion. Zusätzlich sollte regelmäßig während der laufenden Infusion überprüft werden, ob sich um den intraossären Zugang herum freie Flüssigkeit ansammelt bzw. ein Ödem bildet. Nach Flake [22] sollte die intraossäre Punktion unter keinen Umständen mit Hilfe nicht zugelassener Punktions-Sets (z.B. Knochenmarkspunktionsnadel, normaler Verweilkatheter) durchgeführt werden. Gerade der Versuch mit einem konventionellen Verweilkatheter ist von Beginn an zum Scheitern verurteilt, da der PVC-Katheter an der harten Knochenkompakta aufreist oder sich aufrollt. Eine einmal gelegte intraossäre Nadel sollte unter sterilen Bedingungen erst in der Klinik entfernt werden. Sobald ein i.v.-Zugang möglich ist, sollte die Nadel entfernt werden. Im Notfall kann sie aber auch einige Stunden, maximal sechs Tage, liegen bleiben [85, 83].

Die Effektivität intraossärer Injektionen wurde vielfach dokumentiert. Substanzen aller Art von Kongorot über Kontrastmittel, markierte Erythrozyten und Kolloide bis hin zu verschiedensten Medikamenten wie hypertone Salz- bzw. Dextranlösung, Bikarbonat, Atropin, Suprarenin, Dopamin, Lidocain, Dextran, Vollblut, Dexamethason, Kalzium, Natrium, Isoproterenol, Dobutamin, Phenobarbital, Phenytoin, Pancuronium, Benzidiazepine, Dextrose, Antibiotika, Digitalis, Morphin, Insulin und ähnliche Substanzen waren innerhalb weniger Sekunden nach intraossärer Injektion im zentralvenösen Blut nachweisbar und erreichten nach ca. einer Minute ihren Maximalspiegel im Blut [1, 5, 6, 7, 10, 14, 31, 43, 47, 48, 53, 57, 60, 66, 69, 74, 75, 76, 89, 90].

Dubick et al. [16] fanden im Tierversuch mit Schweinen heraus, dass die Kinetik und die gemessenen Herz-Kreislauf-Parameter durch Infusion von hypertonen Salz- und Dextran-Lösungen sich einerseits intraossär und andererseits intravenös nicht unterschieden. Warren et al. [90] demonstrierten in einer Studie eine gleich schnelle Kinetik von Bikarbonat und radioaktiven Kontrastmitteln, gleichgültig, ob sie von einer peripheren Vene oder von verschiedenen intraossären Zugängen her injiziert wurden. Somit war auch bewiesen, dass keine Dosisanpassung bei einem intraossären Zugang erfolgen muss. Orłowski et al. [55] bewiesen, dass die intraossäre Applikationsform der peripherenvenösen und

zentralvenösen Form bei der Injektion von Kalziumchlorid, Epinephrin, Natriumbikarbonat, HAES, 50% Dextrose mit Aqua verdünnt und Lidocain ebenbürtig ist. Als Kriterium wurden der klinische Effekt oder die Medikamentenkonzentrationen herangezogen. Die intraossäre Injektion ist auch bei kompromittiertem Kreislauf wirksam, wenngleich in diesen Fällen Wirkeintritt, Wirkungsmechanismus oder maximale Medikamentenspiegel gering verzögert erreicht werden [1, 10, 55]. Bei stabilem Kreislauf ist die intraossäre Infusion der periphervenösen und selbst der zentralvenösen Injektion im Hinblick auf Medikamentenspiegel und klinischer Wirkung gleichwertig [48, 50, 67].

Das Knochenmark setzt der Injektion und Infusion einen höheren Widerstand entgegen als der intravenöse Zugang. Somit ist die intraossäre Infusion etwas langsamer als die intravenöse unter reiner Schwerkraft. Hinsichtlich der Effizienz des intraossären Zugangs im Vergleich zum venösen Zugang kann bei fachgerechter Vorbereitung und Durchführung (Aspiration von 5 ml Knochenmark, bei bewusstseinsklarem Patienten mit einer initialen Injektion von 3-5 ml Lidocain 1% zur Schmerzreduktion) mit einer Druckinfusion von 300 mmHg eine Flussrate von 30 ml/min. erwartet werden. Ohne Druck auf das System kann von einem Flow von 5-10 ml/min. ausgegangen werden. Bei Verwendung eines Dreiwegeventils und einer Druckinfusion sowie regelmäßiger kurzzeitiger Aspiration kann das Durchflussvolumen auf 60-100 ml/min. gesteigert werden. Bei Transfusion von Vollblut kann 50% dieses Wertes erreicht werden [67]. Die Besorgnis, bei sehr alten Patienten keine gute Anbindung an das venöse System zu erhalten, ist unbegründet. Tatsächlich ist diese Befürchtung laut der Studie von Waisman und Waisman [84] bei 50 Patienten bis zu einem Alter von 78 Jahren nicht zu bestätigen gewesen. Eigene Feststellungen durch die Injektion von Aqua in den Leichenknochen verhielten sich entsprechend der Beobachtungen von Waisman und Waisman [84]. Eine Injektion gegen einen gewissen Widerstand war problemlos möglich, wobei das Knochenmark bei den Knochen der vorliegenden Arbeit durch Frostkonservierung und Formaldehydfixierung sicherlich visköser war als in vivo.

Der intraossäre Zugang bietet insbesondere beim pädiatrischen Notfall, aber auch bei Erwachsenen, einen Zugang zum vaskulären System für die Gewinnung von Blutproben, die im Labor untersucht werden können [81]. Durch die besondere Anatomie des Knochen-

marks kommt dieser intraossäre Zugangsweg einem intravenösen gleich. Dies findet seinen Ausdruck auch darin, dass Blutentnahmen über die intraossär liegende Nadel insbesondere bei Kindern, aber auch bei Erwachsenen zur Bestimmung von Laborparametern vor Infusionsbeginn wie venöse Blutproben bewertet werden können [67]. Lediglich die Alkalische Phosphatase, die GOT und das LDH wurden erhöht gemessen [56]. In einer weiteren Studie waren die Kaliumspiegel im Vergleich zu einer venös gewonnenen Blutprobe erhöht [38]. Hämoglobin, Hämatokrit, Natrium, Harnstoff, Kreatinin und Kalzium waren ähnlich wie bei den venösen Proben [38]. Die Ergebnisse der Blutgasanalysen liegen zwischen denen arteriell und venös entnommener Blutproben [6, 56]. Auch Blutkulturen wurden mit gleichwertiger Keimausbeute bei Septikämie aus dem Knochenmark gewonnen [56]. Hurren [38] fordert, die Beurteilung der Blutproben aus intraossären Zugängen mit Vorsicht durchzuführen, hält aber die Resultate trotzdem für wertvolle diagnostische Hilfsmittel bei hämatologischen und biochemischen Parametern. Auch Glukosewerte sollten mit Bedacht interpretiert werden [38]. Nach intraossärer Injektion ändert sich das periphere Blutbild durch Einschwemmung von Zellen aus dem Knochenmark [41, 64].

In der vorliegenden Analyse traten bei der Verwendung der 18 kp-Nadel sechs Fälle von Extravasatbildung auf (17,6%) und bei der Verwendung der 22 kp-Nadel kam es zu acht Fällen (23,5%). Die Dichte der Knochen, bei denen Extravasate aufgetreten waren, betrug jeweils im Durchschnitt  $494 \text{ mg/cm}^3$ , die Dichte der Knochen ohne Extravasatbildung lag bei  $390 \text{ mg/cm}^3$ . Bei der 22 kp-Nadel traten keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Auftretens von Extravasaten im Vergleich zur 18 kp-Nadel auf. Auch hatte die Knochendichte keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten von Extravasaten. Es zeigte sich ein geringgradiger, nicht signifikanter Einfluss der Knochenlagerung auf die Extravasatbildung. Weder das Alter noch das Geschlecht der Patienten hatte einen Einfluss auf die Extravasatbildung.

In einer Studie von Claudet et al. [11] kam es bei insgesamt 46 intraossären Zugängen in vivo zu 9 Extravasaten (21%). Dies ist vergleichbar mit den Ergebnissen der eigenen Analyse.

Kommt es zu einer Extravasation bei intraossär injizierten oder infundierten Substanzen, so ist mit einem erheblichen Wirkverlust derselben zu rechnen [6]. Bei Extravasatbildung von Vasokonstriktoren [58] oder von gewebeunverträglichen alkalischen und hypertonen Lösungen besteht die Gefahr von Gewebnekrosen. Subperiostale Infiltrationen und Abszesse ohne Langzeitfolgen wurden nach intraossärer Injektion berichtet [7, 67].

Waisman und Waisman [84] untersuchten zwei Patientengruppen über einen 11monatigen Untersuchungszeitraum hinweg prospektiv. Die erste Gruppe bestand aus erwachsenen Patienten mit zuvor geschlossenen Frakturen der langen Röhrenknochen, die orthopädischen Operationen unterzogen wurden und eine Regionalanästhesie erhielten. Die zweite Gruppe bestand aus erwachsenen Patienten, die aus Notfallindikationen heraus einen vasikulären Zugang erhalten mussten und bei denen zentral- und periphervenös kein Zugang in akzeptabler Zeit von etwa 10 Minuten geschaffen werden konnte. In 76% der Fälle konnte mit der Bone Injection Gun die Nadel korrekt 1-2 cm medial und 0,5 cm kranial der Tuberositas tibiae plaziert werden. In den übrigen Fällen wurde die Nadel an das distale Ende des Radius im Bereich des lateralen oder medialen Malleolus positioniert. Die Erfolgsrate betrug 100%. In keinem der Fälle kam es zu Komplikationen. Auch Röntgenkontrollen bis zu 4 Monate nach Behandlung zeigten keinen auffälligen Befund.

Somit kann die vorliegende Analyse, die an formaldehydgelagerten oder zuvor tiefgefrorenen Leichenknochen durchgeführt wurde, die Extravasation, die Claudet et al. schon 1999 am lebenden Patienten beschrieben hatte [12], bestätigen. Die Daten von Claudet et al. stammen aber nicht vom Einsatz der Bone Injection Gun, sondern von herkömmlichen intraossären Nadeln, so dass die Extravasation bei Claudet et al. [12] eventuell an der Applikation mit dem viel invasiveren Bohr-Schraub-System und andererseits die Extravasation am Leichenknochen an der Modifizierung des Knochenmarks durch Formaldehyd und Frostkonservierung liegen kann, da die Studie von Waisman und Waisman [84] mit der Bone Injection Gun keine Komplikationen beschreibt.

Eine weitere in der Literatur beschriebene und auf die Extravasation folgende Komplikation ist das Kompartmentsyndrom, welches durch zytotoxische und alkalische Substanzen hervorgerufen werden kann. Bei der Applikation dieser Medikamente sollte zur Minimie-

rung des Risikos eines Kompartmentsyndroms die jeweilige Substanz verdünnt werden. Legt man bei laufender Infusion einen Druckverband um die Einstichstelle herum an, so können die Komplikationen durch Extravasation ebenfalls reduziert werden [61, 62].

Bezüglich der Folgekomplikationen ist zu bedenken, dass häufig am Einsatzort keine keimarme oder -freie Umgebung gewährleistet ist. Eine gewissenhafte Desinfektion der Punktionsstelle liegt in der Verantwortung und in der Pflicht des Rettungspersonals. Positiv ist jedoch, dass im Gegensatz zur herkömmlichen Venenverweilkanüle oder den anderen am Markt erhältlichen intraossären Zugängen bei der Bone Injection Gun die Einstichkanüle unberührbar und steril unter der Abdeckung des Schussgerätes liegt und auch nachträgliche Manipulationen (z.B. bei nicht erfolgreich gestochenen venösen Zugängen) nicht zu Situationen mit erhöhtem Risiko der Keimeinschleppung führen können. Aufgrund der möglichen Keimeinschleppung kann eine Osteomyelitis nachfolgen. Bezüglich des Osteomyelitisrisikos gibt Gongolsky [28] zu bedenken, dass die Angst vor einer Osteomyelitis häufig unbegründet ist, da die Osteomyelitisrate mit 0,6% im Gegensatz zu einer Komplikationsrate von 3,7% beim intravenösen Zugang sehr niedrig ist. Eine antibiotische Prophylaxe kann erwogen werden.

In der Studie von Rosetti et al. [65], in der 4.270 in der damals verfügbaren Literatur beschriebene intraossäre Infusionen auf Komplikationen hin untersucht wurden, traten in 0.6% der Fälle eine Osteomyelitis auf und zwar nur dann, wenn die Nadel längere Zeit im Patienten lag oder der Zugang bei septischen Patienten gelegt wurde. Nach Infusion von hypertoner oder streng alkalischer Flüssigkeit traten häufiger Osteomyelitisfälle auf und zwar bei drei von 25 Patienten [89]. Bei Nachbeobachtungsstudien bis 22 Monate nach der intraossären Infusion wurden kurz nach Entfernung der Nadel Einzelfälle von Perioostitis an der Injektionsstelle beschrieben, die sich aber innerhalb von zwei bis drei Wochen spontan zurückbildeten [2, 28, 35, 58, 63, 78, 89].

Die bisher häufigste Komplikation, die bei der Verwendung herkömmlicher Punktionsnadeln zur intraossären Injektion auftreten konnte, ist bei der Verwendung der Bone Injection Gun weitestgehend ausgeschlossen, nämlich die bereits von Spivey [71] beschriebene Unmöglichkeit, mit dem Schraub-Bohr-System die Knochenkompakta bis in den

Markraum zu penetrieren. Bei einer nicht korrekten Platzierung der Nadel könnte es zu Absplitterungen kommen. Allerdings waren Spivey [71] keine derartigen Fälle konkret bekannt geworden. Durch die korrekte Platzierung mit Hilfe der Bone Injection Gun und den gleichmäßigen Druck, verbunden mit der blitzschnellen Penetration der Knochenkompakta, wird dieses Komplikationsrisiko deutlich minimiert. Bei den eigenen 34 Versuchen war die Penetration der Knochenkompakta bis in den Markraum in allen Fällen mit der Bone Injection Gun problemlos möglich. Es trat keine einzige Komplikation in dieser Hinsicht auf. Dies könnte an dem schnell funktionierenden, atraumatischen und benutzerfreundlichen Aufbau der Bone Injection Gun mit der 18 kp- bzw. 22 kp-Feder liegen, die dem Anwender den Kraftaufwand durch Schrauben und Bohren abnimmt.

Bedenken, dass eine unbeabsichtigte Platzierung einer intraossären Infusion in die Wachstumsfuge von Heranwachsenden bleibende Schäden hervorrufen könnte, sind unbegründet. Fiser et al. [21] konnten aufgrund ihrer Studie an 10 kindlichen Patienten zu dem Schluss gelangen, dass intraossäre Infusionen nicht die Wachstumsfuge der Kinder schädigen, da keine Wachstumsstörungen von Knochen nach Applikation einer intraossären Infusion aufgetreten waren.

Pollack et al. [59] untersuchten im Tiermodell, ob die Applikation von Medikamenten durch den intraossären Zugang generell zu Veränderungen im Knochenmark führt. Sie fanden keine relevanten Veränderungen.

Fett- und Knochenmarksembolien sind eine sehr seltene Komplikation bei intraossären Infusionen [19, 55]. Durch die korrekte Platzierung und den gleichmäßigen Applikationsdruck, verbunden mit dem blitzschnellen Einbringen, dürfte unter Verwendung der Bone Injection Gun diese Komplikation noch seltener als bisher auftreten. Außerdem sind die entstehenden kleinen Fettembolien nicht kreislaufkompromittierend und klinisch irrelevant [70].

Guy et al. [29] berichteten über intraossäre Infusionen bei pädiatrischen Traumapatienten. 15 Patienten erhielten die Injektion aufgrund von Herzstillstand, sieben wegen hypovolämischen Schocks und fünf aufgrund neurologischer Notfallsituationen. Vier von

32 Platzierungsversuchen misslingen. Sämtliche verwendeten Medikamente konnten problemlos appliziert werden. Sieben der 27 Patienten überlebten, alle Überlebenden wiesen keine Komplikationen aufgrund der intraossären Injektion auf. Deshalb halten Guy et al. [29] den intraossären Zugang für schnell durchführbar und sicher sowie für eine simple Methode, in kurzer Zeit einen Notfallzugang bei kritischen Notfallpatienten zu erhalten.

Sie fordern den intraossären Zugang sofort und ohne Verzögerung, wenn ein venöser Zugang nicht sehr schnell möglich ist.

McNamara et al. [49] halten bei Notfallpatienten in der Pädiatrie den intraossären Zugang für deutlich weniger risikobehaftet als das lange Suchen nach einer geeigneten Vene oder alternative Verfahren wie Venae sectio. Claudet et al. [12] untersuchten alle intraossären Infusionen zwischen 1994 und 1997, die bei kindlichen Intensivpatienten sowohl stationär als auch präklinisch in Notfallsituationen in einem Hospital in Frankreich durchgeführt wurden. Insgesamt berichteten sie über 32 Fälle von intraossären Infusionen bei 30 Kindern im Alter zwischen 2 Wochen bis 9 Jahren. In allen Fällen gelang die intraossäre Infusion erfolgreich ohne Komplikation, in 80% der Fälle sogar beim ersten Versuch. Es wurden keine größeren Komplikationen berichtet.

Aufgrund der aus sämtlichen zitierten Studien vorliegenden Daten lässt sich für die Anwendung der intraossären Injektion und Infusion folgendes Vorgehen empfehlen: die periphervenöse Punktion bleibt für alle Notfälle der Zugang der ersten Wahl und wird in den allermeisten Fällen durchführbar und ausreichend sein. Beim Versagen des periphervenösen Zugangs wird in vielen Fällen das Anlegen eines zentralvenösen Zugangs ausreichend rasch und sicher möglich sein. Bei Herz-Kreislaufstillstand wird unbenommen der gültigen Reanimationsempfehlungen die Intubation oftmals der erste Eingriff sein. Die gängigen Reanimationsmedikamente (Adrenalin, Atropin) werden in der empfohlenen Weise verdünnt und tief endobronchial appliziert. Gleichzeitig werden Bemühungen zur periphervenösen Punktion ablaufen, eventuell zeitgleich mit femoralen oder zentralvenösen Kanülierungsversuchen. Ist innerhalb von 2-5 Minuten kein venöser Zugang gesichert, so wird die intraossäre Punktion empfohlen [67]. Beim Kleinkind und Neugeborenen ist, wie auch beim Erwachsenen, die mediale proximale Tibiafläche auf Höhe oder knapp cranial

der Tuberositas tibiae der geeignetste Punktionsort. Alle notwendigen Medikamente und Infusionslösungen können in der für die intravenöse Gabe üblichen Dosierung appliziert werden. Eine prophylaktische antibiotische Abdeckung kann erwogen werden. Unter Fortführung der Reanimationsmaßnahmen oder mit Wiederherstellung eines stabilen Kreislaufes werden die Bemühungen um einen venösen Zugang fortgesetzt. Sobald dieser gesichert ist, sollte die intraossäre Punktionsnadel entfernt werden. Vor Entlassung des Patienten sollte eine Röntgenaufnahme des punktierten Knochens zum Ausschluss größerer Knochendefekte durchgeführt werden. Bei älteren Kindern und Erwachsenen sowie bei Notfällen ohne kardiopulmonale Reanimation wird sich fast immer ein venöser Zugang in angemessener Frist erreichen lassen. Ist die venöse Punktion unerwartet unmöglich, so sollte man sich auch hier der intraossären Injektions- und Infusionsmöglichkeit erinnern. Die intraossäre Infusion bleibt auf der Grundlage der veröffentlichten Literatur eine absolute Notfallmaßnahme, um bei geringem Risiko zur Vermeidung von Schäden und zur Sicherung des Überlebens des Notfallpatienten beizutragen. Unter Verwendung der Bone Injection Gun lässt sich dieser Algorithmus insofern verändern, als dass man nicht mehr so lange mit der intraossären Infusion abwarten sollte und aufgrund der sehr leichten Durchführbarkeit und Komplikationsarmut des Verfahrens nach wenigen Sekunden bis Minuten einen intraossären Zugang legen sollte, bevor man wertvolle Zeit verschwendet und damit den Patienten vital gefährdet [67]. Nach Kruse et al. [47] überwiegen sowohl beim Erwachsenen wie auch bei Kindern, bei denen ein vaskulärer Zugang in annehmbarer Zeit nicht möglich ist, die Vorteile des intraossären Zugangs die potentiellen Risikofaktoren deutlich.

Glaeser et al. [26] betonen, dass auch medizinisches Hilfspersonal instruiert werden sollte, um intraossäre Zugänge im Notfall legen zu können.

Nach Gongolsky [28] stellt die Bone Injection Gun also eine sehr wertvolle Bereicherung für den Rettungsdienst dar. Anstatt zeitraubender Vielfachpunktionsen auf der Suche nach periphervenösen Zugängen stellt der intraossäre Zugang insbesondere für die Medikamentengabe als ein einfach handhabbares Hilfsmittel mittlerweile eine durchaus ernsthafte Alternative bei der Notfallversorgung dar.

Da insbesondere die blaue Bone Injection Gun für Erwachsene für militärische Zwecke und vom Hersteller zur Anwendung bei Erwachsenen und Kindern im Alter über 6 Jahren entwickelt wurde, ist durchaus eine gewisse Lagerhaltung, vor allem bei speziellen Organisationen wie Bundeswehr, Katastrophenschutz, Erdbebenhilfe, Wasserrettung, Berg- und Höhlenrettung, Zivilschutz sowie diversen Rettungsdiensten denkbar und sinnvoll [68].

Alle einschlägigen Studien demonstrieren, dass der intraossäre Zugang selbst mit herkömmlichen Nadeln eine sehr bereichernde Methode für die Notfallversorgung darstellt, da es auch weniger geübtem Personal möglich wird, bei vital gefährdeten Patienten schnell und sicher einen Zugang zu legen. Die gute Durchführbarkeit lässt sich mittels der Bone Injection Gun noch weiter verbessern. Auf diese Weise kann selbst bei Ungeübten eine 100%ig erfolgreiche Applikation erreicht werden. Die geringe Komplikationsrate des intraossären Zugangs kann mit der Bone Injection Gun nochmals reduziert werden. Langzeitschäden sind nur in seltenen Ausnahmefällen zu erwarten und zwar dann, wenn die Nadel zu lange im Patienten verbleibt. Mit der Bone Injection Gun könnten somit viele Leben gerettet werden, insbesondere beim Massenansturm von Verletzten. Wenn man das minimale Risiko von Komplikationen mit dem enormen Benefit der Methode vergleicht, wird nochmals deutlich, dass der intraossäre Zugang mit der Bone Injection Gun sicherer, leichter und schneller möglich ist als der zentralvenöse in einer Notfallsituation [84].

Die Gesamtheit dieser Vorteile begründet die berechtigte Forderung, die Bone Injection Gun im Rettungswesen flächendeckend einzusetzen. Jeder Rettungswagen und jede Notfallambulanz könnte mit dem Gerät ausgestattet werden und das dortige Personal sollte im Umgang mit dem Gerät geschult werden. Eine Begrenzung der Anwendung der Bone Injection Gun liegt derzeit lediglich an deren Preis.

## 6. Zusammenfassung

Zur Medikamenten- und Flüssigkeitsapplikation in medizinischen Notfallsituationen ist im Einzelfall ein intraossärer Zugang notwendig. Ziel der Analyse war die Untersuchung der Bone-Injection-Gun® der Fa. Waismed aus Israel, hinsichtlich deren Praktikabilität an der proximalen Tibia bei Erwachsenen am Knochenmodell.

Die Untersuchungen der ‚Bone Injection Gun‘ wurden an Tibiaknochen von Verstorbenen vorgenommen, die tiefgefroren oder in Formaldehyd eingelegt waren. Im Zeitraum von August 2001 bis März 2002 wurden insgesamt 18 tiefgefrorene Tibiaknochen und weitere 16 in Formaldehyd gelagerte Tibiaknochen in der Zeit von Februar/März 2002 in die Studie aufgenommen. Zwei tiefgefrorene Tibiaknochen wurden im Oktober und Dezember 2001 in der Untersuchung verwendet. Das Durchschnittsalter der Verstorbenen lag bei  $75,5 \pm 15,6$  Jahre (20 männliche und 14 weibliche Patienten). Das Alter der Verstorbenen übte im Hinblick auf die Art der Lagerung der Tibiaknochen (tiefgefroren, Formaldehyd) auf die Untersuchung keinen Einfluss aus.

Sowohl im Gesamtkollektiv als auch beim jeweiligen Geschlecht korrelierte die Knochendichte an der Soll-Einstichstelle sowie die Knochendichte 10 mm caudal davon signifikant mit dem Alter der Patienten. Je älter männliche oder weibliche Patienten waren, desto mehr nahm die Knochendichte an diesen beiden Einstichstellen ab. Es sank mit zunehmendem Alter der Patienten primär die Knochendichte an der Applikationsstelle.

Weder die Knochendicke noch die Knochendichte waren bei den Knochen der Verstorbenen, die ohne Vorerkrankung gewesen, an Tumorleiden oder Unfall bzw. Trauma verstorben waren, signifikant unterschiedlich. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Art der Vorerkrankung des Patienten und somit die Dicke und Dichte des Knochens keinen relevanten Einfluss bezüglich des Eindringens der Nadel der Bone Injection Gun ausübt. Mit der 22 kp-Feder konnte eine Eindringtiefe von durchschnittlich 26,8 mm erreicht werden, die signifikant (ca. 4%) grösser ausfiel als jene, die mit der 18 kp-Nadel zu erreichen gewesen war.

Im Gesamtkollektiv war sowohl bei der 18- als auch der 22-Kilopond-Nadel die Applikation an der Soll-Einstichstelle möglich. Die Applikation der mit unterschiedlicher Schlagstärke eingesetzten Bone-Injection-Guns war in der Regel problemlos möglich. Weder unter 18- noch 22-Kilopond war eine Korrektur der Nadel notwendig oder kam es zu Komplikationen während der Applikation. Ebenso war in jedem Fall eine Aspiration sowie die Injektion von Aqua in den liegenden Zugang möglich.

Kritisch ist zu bemerken, dass die Schussrichtung der Bone Injection Gun nicht in ausreichendem Maße gekennzeichnet ist. Bisher ist die Schussrichtung der Nadel lediglich durch einen farblich nicht deutlich abgehobenen Pfeil auf dem Gerät markiert. Dies kann in einer Notsituation übersehen werden oder zu Fehlanwendungen führen. Hier ist eine bessere, farblich kontrastierendere Markierung für die Schussrichtung zu fordern.

Der Vergleich mit der Literatur zeigt, dass der intraossäre Zugang selbst mit herkömmlichen Nadeln eine praktikable Methode darstellt, die es auch weniger geübtem Personal ermöglicht, bei vital gefährdeten Patienten schnell und sicher einen Zugang zu legen. Die Komplikationsrate ist gering, Langzeitschäden sind ausgesprochen selten. Die gute Durchführbarkeit lässt sich mittels der Bone Injection Gun noch weiter verbessern. Auf diese Weise kann selbst bei Ungeübten eine 100%ig erfolgreiche Applikation erreicht werden. Die geringe Komplikationsrate von 0.6% des intraossären Zugangs kann mit der Bone Injection Gun noch reduziert werden. Langzeitkomplikationen sind nur auf Ausnahmefälle beschränkt.

Die Bone Injection Gun stellt eine Bereicherung des notärztlichen Instrumentariums des Rettungswesens dar, das mit einer hohen Anwendungssicherheit verbunden ist.

## 7. Literaturverzeichnis

1. Andropoulos, D. B., Scott, J. S., Schreiber, M. D. (1990) Plasma epinephrine concentrations after intraosseous and central venous injection during cardiopulmonary resuscitation in the lamb. *J Pediatr* **116**: 312-315
2. Arbeiter, H. I., Greengard, J. (1944) Tibial bone marrow infusions in infancy. *J Pediatr* **25**: 1-12
3. Bailey, H. (1946) Cannulation of the sternum. *Br Med J* **1**: 661
4. Bailey, H. (1958) *Emergency Surgery*. John Wright & Sons, Bristol, 7th Ed., S.17
5. Begg, A. C. (1954) Intraosseous venography of the lower limb and pelvis. *Br J Radiol* **27**: 318-324
6. Brickman, K. R., Rega, P., Guinness, M. (1987) A comparative study of intraosseous versus peripheral intravenous infusion of diazepam and phenobarbital in dogs. *Ann Emerg Med* **16**: 1141-1144
7. Brickman, K. R., Rega, P., Choo, M., Guinness, M. (1990) Comparison of serum phenobarbital levels after single versus multiple attempts at intraosseous infusion. *Ann Emerg Med* **19**: 31-33
8. Bunatyan, A. (1977) Intraosseal anaesthesia. *Moscva Med* **1**: 249
9. Calkins MD, Fitzgerald G, Bentley TB, Buvais D, Dutrich MA, Holcomb JB (2000) Intraosseous infusion devices: a comparison for potential use in special operations. *J Trauma* **48**: 1068-1074
10. Cameron, J. L., Fontanarosa, P. B., Passalacqua, A. M. (1989) A comparative study of peripheral to central circulation delivery time between intraosseous and intravenous injection using a radionuclide technique in normovolemic and hypovolemic canines. *J Emerg Med* **7**: 123-127
11. Claudet, I., Alberge, C., Bloom, M. C., Fries, F., Lelong-Tissier, M. C. (1999) Vie intraosseuse chez l'enfant. *Ann Fr Anesth Reanim* **18**: 313-318
12. Claudet, I., Fries, F., Bloom, M. C., Lelong-Tissier, M. C. (1999) Etude retrospective de 32 cas de perfusion intraosseuse. *Acta Pediatr* **6**: 516-519
13. Drinker C. K., Drinker, K. R., Lund, C. C. (1922) The circulation in the mammalian bone marrow. *Am J Physiol* **62**: 1-92

14. Dubick, M. A., Kramer, G. C. (1997) Hypertonic saline dextran (HSD) and intraosseous vascular access for the treatment of haemorrhagic hypotension in the far-forward combat arena. *Ann Acad Med Singapore* **26**: 64-69
15. Dubick, M. A., Holcomb, J. B. (2000) A review of intraosseous vascular access: current status and military application. *Mil Med* **165**: 552-559
16. Dubick MA, Pfeiffer JW, Clifford CB, Runyon DE, Kramer GC (1992) Comparison of intraosseous and intravenous delivery of hypertonic saline/dextran in anesthetized, euvoletic pigs. *Ann Emerg Med* **21**: 498-503
17. Ellison, J.B. (1945) Osteomyelitis after bone marrow transfusion. *Br Med J* **1**: 342
18. Elston JT, Jaynes RV, Kaump DH (1947) Intraosseous infusions in infants. *Am J Clin Pathol* **17**: 143-150
19. Fiallos, M., Kisson, N., Abdelmoneim, T., Johnson, L., Murphy, S., Lu, L., Masood, S., Idris, A. (1997) Fat embolism with the use of intraosseous infusion during cardiopulmonary resuscitation. *Am J Med Sci* **314**: 73-79
20. Fiser, D. H. (1990) Intraosseus infusion. *New Engl J Med* **322**: 1579-1581
21. Fiser, R. T., Walker, W. M., Seibert, J. J., McCarthy, R., Fiser, D. H. (1997) Tibial length following intraosseus infusion: a prospective, radiographic analysis. *Pediatr Emerg Care* **13**: 186-188
22. Flake, F. (2002) Intraossärer Zugang. *Rettungs-Magazin*, Juli/August, 54-56
23. Foex, B. A. (2000) Discovery of the intravenous route for fluid administration. *J Accid Emerg Med* **17**: 136-139
24. Glaeser, P. W., Losek, J. D. (1986) Emergency intraosseous infusions in children. *Am J Emerg Med* **4**: 34-36
25. Glaeser, P., Losek, J. D., Nelson, D. B. (1988) Pediatric intraosseous infusions: impact on vascular access time. *Am J Emerg Med* **6**: 330-332
26. Glaeser, P. W., Hellmich, T. R., Szweczuga, D. (1993) Five-year experience in pre-hospital intraosseous infusion in children and adults. *Ann Emerg Med* **22**: 1119-1127
27. Goldstein, B., Doody, D., Briggs, S. (1990) Emergency intraosseous infusion in severely burned children. *Pediatr Emerg Care* **6**: 195-197
28. Gongolsky, M. (2000) B.I.G. Bone Injection Gun. Intraossäre Infusion und Analgesie, nicht nur für Kinder. <http://www.rettungsdienst.de/2000/2005/big.html>

29. Guy, I., Haley, K., Zuspan, S. J. (1993) Use of intraosseous infusion in pediatric trauma patients. *J Pediatr Surg* **28**: 158-162
30. Halm B., Yamamoto L. G. (1998) Comparing case of intraosseous needle placement: Jamshidi versus Cook. *Am J Emerg Med* **16**: 420-421
31. Halvorsen, L., Bay, B.K., Perron, P.R., Gunther, R.A., Holcroft, J.W., Blaisdell, F.W., Kramer, G.C. (1990) Evaluation of an intraosseous infusion device for the resuscitation of hypovolemic shock. *J Trauma* **30**: 652-659
32. Heinild, S., Sondergaard, T., Tudvald, F. (1947) Bone marrow infusion in childhood: experiences from a thousand infusions. *J Pediatr* **30**: 400-412
33. Henning, N. (1943) Über die intrasternale bzw. intraossale Injektion und Infusion. *Dtsch Med Wschr* **69**: 720-722
34. Henning, N. (1945) Intrasternal injections and transfusions. *J Am Med Assoc* **128**: 240
35. Heyrouti H. W., Deutsch J. (1947) Bone marrow infusions in childhood. *Ann Pediatr (Paris)* **169**: 325-336
36. Hubble, M. W., Trigg, D. C. (2001) Training prehospital personnel in saphenous vein cutdown and adult intraosseous access techniques. *Prehosp Emerg Care* **5**: 181-189
37. Hurren, J. S., Dunn, K. W. (1995) Intraosseous infusion for burns resuscitation. *Burns* **21**: 285-287
38. Hurren, J. S. (2000) Can blood taken from intraosseous cannulations be used for blood analysis? *Burns* **26**: 727-730
39. International Consensus on Science (2000): Guidelines 2002 for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation* **102** (Suppl.8): 1-65
40. Iwama, H., Katsumi, A., Shinohara, K., Kawamae, K., Ohtomo, Y., Akama, Y., Tase, C., Okuaki, A. (1994) Clavicular approach to intraosseous infusion in adults. *Fukushima J Med Sci* **40**: 1-8
41. Joffe, M. (1990) Blasts in peripheral blood with intraosseous infusion. *Pediatr Emerg Care* **6**: 106-107
42. Josefson, A. (1934) A new method of treatment - intraosseal injections. *Acta Med Scand* **81**: 550-563
43. Katan, B. S., Olshaker, J. S., Dickerson, S. E. (1988) Intraosseous infusion of muscle relaxants. *Am J Emerg Med* **6**: 353-354

44. Kramer, G. C., Walsh, J. C., Hands, R. D., Perron, P. R., Gunther, R. A., Mertens, S. Holcroft, J. W., Blaisdell, F. W. (1989) Resuscitation of hemorrhage with intraosseous infusion of hypertonic saline/dextrane. *Brazilian J Med Biol Res* **22**: 283-286
45. Krausz, M. M. Intraosseous infusion for trauma casualties. 8 Inbar Street, Caesarea 38900 Israel
46. Krupko, I., Vorontzoff, A., Tkachenka, C. (1969) Intraosseal anesthesia. Leningrad, Medicine Academy, The Working Physician's Library, COD UDK 61700-15-089-5-032, 611-671
47. Kruse, J. A., Vyskocil, J. J., Haupt, M. T. (1994) Intraosseous infusions: a flexible option for the adult or child with delayed, difficult, or impossible conventional vascular access. *Crit Care Med* **22**: 728-729
48. Macht, D. I. (1943) Studies on intraosseous injections of epinephrine. *Am J Physiol* **138**: 269-272
49. McNamara, R. M., Spivey, W. H., Unger, H. D., Malone, D. R. (1987) Emergency applications of intraosseous infusion. *J Emerg Med* **5**: 97-101
50. Meyer, L. M., Perlmutter, M. (1943) The absorption rate from the bone marrow. *Am J Med Sci* **205**: 187-190
51. Mofenson, H. C. (1988) Guidelines for intraosseous infusions. *J Emerg Med* **6**: 143-146
52. Moscati, R., Moore, G. P. (1990) Compartment syndrome with resultant amputation following intraosseous infusion. *Am J Emerg Med* **8**: 470-471
53. Neish, S. R., Macon, M. G., Moore, J. W. M., Graeber, G. M. (1988) Intraosseous infusion of hypertonic glucose and dopamine. *Am J Dis Child* **142**: 878-880
54. Olsen, D., Diplomat, M. S., Packer, B. E., Perrett, J. (2001) Evaluation of the Bone Injection Gun for intraosseous infusion therapy in adult canines. *Vet Surg* **30**: 487
55. Orłowski, J. P., Julius, C. J., Petras, R. E., Porembka, D. T., Gallagher, J. M. (1989) The safety of intraosseous infusions: risks of fat and bone marrow emboli of the lungs. *Ann Emerg Med* **18**: 1062-1067
56. Orłowski, J. P., Porembka, D. T., Callagher, J. M. (1989) The bone marrow as a source of laboratory studies. *Ann Emerg Med* **18**: 1348-1351
57. Orłowski, J. P., Porembka, D. T., Gallagher, J. M., Lockrem, J. D., VanLente, F. (1990) Comparison study of intraosseous, central intravenous, and peripheral intravenous infusions of emergency drugs. *AJDC* **144**: 112-117

58. Pillar, S. (1954) Re-emphasis on bone marrow as a medium for administration of fluids. *New Engl J Med* **251**: 846-851
59. Pollack, C. V., Pender, E. S., Woodall, B. N., Tubbs, R. C., Iyer, R. V., Miller, H. W. (1992) Long-term local effects of intraosseous infusion on tibial bone marrow in the weanling pig model. *Am J Emerg Med* **10**: 27-31
60. Prete, M. R., Hannan, C. J., Burkle, F. M. (1987) Plasma atropine concentrations via intravenous, endotracheal and intraosseous administration. *Am J Emerg Med* **5**: 101-104
61. Ribeiro, J. A., Price, C. T., Knapp, D. R. (1993) Compartment syndrome of the lower extremity after intraosseous infusion of fluid. *J Bone Joint Surg* **75(A)**: 430-433
62. Rimar, S., Westry, J. A., Rodriguez, R. L. (1988) Compartment syndrome in an infant following emergency intraosseous infusion. *Clin Pediatr* **27**: 259-260
63. Rooney, E. F. (1944) Bone marrow infusion with two cases of localized osteomyelitis. *Arch Pediatr* **61**: 611-616
64. Ros, S. P., McMannis, S. I., Kowal-Vern, A. (1991) Effect of intraosseous saline infusion on hematologic parameters. *Ann Emerg Med* **20**: 243-245
65. Rosetti, V. A., Thompson, B. M., Miller, J., Mateer, J. R., Aprahamian, C. (1985) Intraosseous infusion: an alternative route of pediatric intravascular access. *Ann Emerg Med* **14**: 885-888
66. Sawyer, R. W., Bodai, B. I., Blaisdell, F. W., McCourt, M. M. (1994) The current status of intraosseous infusion. *J Am Coll Surg* **179**: 353-360
67. Seefelder, C., Ahnefeld, F. W. (1992) Die Stellung der intraossären Injektion und Infusion bei pädiatrischen Notfällen. *Notarzt* **8**: 175-183
68. Seibert, F. J., Schatz, B., Greching, W., Kaimbacher, M., Gerstenberger, M., Tesch, N. P. (2001) Bone Injection Gun (B.I.G.) im Test. *Notarzt* **17**: 1-3
69. Shoor, P. M., Berryhill, R.E., Benumof, J. L. (1979) Intraosseous infusions: pressure flow relationships and pharmacokinetics. *J Trauma* **19**: 772-774
70. Simmons, C. M., Johnson, N. E., Perkin, R. M., van Stralen, D. (1994) Intraosseous extravasation complication reports. *Ann Emerg Med* **23**: 363-366
71. Spivey, W. H. (1987) Intraosseous infusions. *J Pediatr* **111**: 639-643
72. Spriggs, N. M., White, L. J., Martin, S. W., Brawley, D., Chambers, R. M. (2000) Comparison of two intraosseous techniques in an EMT training program. *Acad Emerg Med* **7**: 1168

73. Tarrow, A. B., Turkel, H., Thompson, M. S. (1952) Infusion via the bone marrow and biopsy of the bone and bone marrow. *Anaesthesiology* **13**: 501-509
74. Thompson, B. M., Rossetti, V., Miller, J. (1984) Intraosseous administration of sodium bicarbonate: an effective means of pH normalization in the canine model. *Ann Emerg Med* **13**: 405
75. Tocantins, L. M. (1940) Rapid absorption of substances injected into the bone marrow. *Proc Soc Exp Biol Med* **45**: 292-296
76. Tocantins, L. M., O'Neill, J. F. (1940) Infusion of blood and other fluids into the circulation via the bone marrow. *Proc Soc Exp Biol Med* **45**: 782-783
77. Tocantins, L. M., O'Neill, J. F. (1941) Infusion of blood and other fluid into the circulation via the bone marrow. *Surg Gynecol Obstet* **73**: 281-287
78. Tocantins, L. M., O'Neill, J. F. (1945) Complications of intraosseus therapy. *Ann Surg* **122**: 266-277
79. Tocantins, L. M., O'Neill, J. F., Jones, H. W. (1941) Infusions of blood and other fluids via the bone marrow: application in pediatrics. *J Am Med Assoc* **117**: 1229-1234
80. Tocantins, L. M., Price, A. H., O'Neill, J. F. (1943) Infusion via the bone marrow in children. *Penn Med J* **46**: 1267-1273
81. Uranga, E. O., Navarro, A. M., De Haro, M. S. (2001) The intraossal route. When the veins have disappeared. *Enferm Intensiva* **12**: 31-40
82. Vidal R, Kisson N, Gayle, M. (1993) Compartment syndrome following intraosseous infusion. *Pediatrics* **91**: 1201-1202
83. Vreede, E., Bulatovic, A., Rosseel, P., Lassalle, X. (2000) Intraosseous infusion. [http://units.ox.ac.uk/departments/anaesthetics/wfa/html/u12/u1210\\_01.htm](http://units.ox.ac.uk/departments/anaesthetics/wfa/html/u12/u1210_01.htm), Issue 12
84. Waisman, M., Waisman, D. (1997) Bone marrow infusion in adults. *J Trauma* **42**: 288-293
85. WaisMed (2002) Leading Intraosseous Devices. <http://www.waismed.com/longBones.asp>, 2002
86. Waismed.com (2002) Is using the B.I.G. painful for the patient? <http://www.waismed.com/faq/aq.asp?QuestionId=11>, 2002

87. Waismed.com (2002)  
Long bone physiology and the principle behind intraosseous infusion.  
<http://www.waismed.com/longBones.asp>, Ausdruck vom 04.04.2002
88. Waismed: Intraosseus infusion in the pediatric population. A literature survey  
Waismed Ltd., Postbox 3582, Caesarea 38900, Israel
89. Wallden, L. (1947) On injuries of bone and bone marrow after intraosseous injections.  
An experimental investigation. *Acta Chir Scand* **96**: 152-162
90. Warren, D. W., Kisson, N., Mattar, A. (1994) Pharmacokinetics from multiple  
intraosseous and peripheral intravenous site injections in normovolemic and hypo-  
volemic pigs. *Crit Care Med* **22**: 838-843
91. Zenk, K. E. (1990) Use of intraosseous infusions in infants and children. *Clin Pharm*  
**9**: 90-91

## 8. Anhang: Datenerhebungsbogen

### 1. Allgemeine Daten

- a. Geschlecht des Patienten: männlich [1] - weiblich [2]  
b. Alter des Patienten: ..... Jahre  
c. Sektionsnummer: .....

### 2. Vorerkrankungen

- a. Osteoporose: ja [1] - nein [2]  
b. sonstige, den Knochen beeinflussende Vorerkrankung: .....

### 3. XCT-Ergebnisse

- a. Knochendick an der Soll-Einstichstelle: ..... mm  
b. Knochendichte an der Soll-Einstichstelle: ..... mg/cm<sup>3</sup>  
c. Knochendicke 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle: ..... mm  
d. Knochendichte 10 mm cranial der Soll-Einstichstelle: ..... mg/cm<sup>3</sup>  
e. Knochendicke 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle: ..... mm  
f. Knochendichte 10 mm caudal der Soll-Einstichstelle: ..... mg/cm<sup>3</sup>

### 4. Applikation der Nadel durch die ‚Bone Injection Gun‘

#### 4.1. Applikation der 18-Kilopond-Nadel

- a. Eindringtiefe: ..... mm (Knochendicke - Überstand)  
b. Applikation an der Soll-Einstichstelle möglich? ja [1] - nein [2]  
c. Korrektur notwendig? ja [1] - nein [2]  
d. Komplikationen bei der Applikation? ja [1] - nein [2]  
e. Aspiration möglich? ja [1] - nein [2]  
f. Injektion von Aqua möglich? ja [1] - nein [2]  
g. Stabilität der Nadel bzw. fester Sitz? ja [1] - nein [2]  
h. Auftreten von Extravasaten? ja [1] - nein [2]  
i. Verbiegung der Nadel während der Applikation? ja [1] - nein [2]  
j. Dauer der Applikation: ..... Sekunden

#### 4.2. Applikation der 22-Kilopond-Nadel

- a. Eindringtiefe: ..... mm (Knochendicke - Überstand)  
b. Applikation an der Soll-Einstichstelle möglich? ja [1] - nein [2]  
c. Korrektur notwendig? ja [1] - nein [2]  
d. Komplikationen bei der Applikation? ja [1] - nein [2]  
e. Aspiration möglich? ja [1] - nein [2]  
f. Injektion von Aqua möglich? ja [1] - nein [2]  
g. Stabilität der Nadel bzw. fester Sitz? ja [1] - nein [2]  
h. Auftreten von Extravasaten? ja [1] - nein [2]  
i. Verbiegung der Nadel während der Applikation? ja [1] - nein [2]  
j. Dauer der Applikation: ..... Sekunden

### 5. Bemerkungen: .....

## Danksagung

Herzlich zu danken habe ich Herrn Prof. Dr. med. Peter Sefrin für die Überlassung des Themas und seine geduldige Begleitung mit konstruktiver und spontaner Kritik während der Erstellung der Arbeit.

Für die Überlassung der Tibiaknochen danke ich Herrn Prof. Dr. med. Otto Dvorák, Leitender Arzt der Pathologie des Klinikums Fürth, Herrn Prof. Dr. med. Hermann Koepsell, Leiter des Institutes für Anatomie der Universität Würzburg und Herrn Prof. Dr. med. Dieter Patzelt, Leiter des Institutes für Rechtsmedizin der Universität Würzburg.

Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Peter Schneider, Oberarzt der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin der Universität Würzburg, danke ich für die geduldige Einweisung in die Computertomographie, die Bereitstellung des XCT, die tatkräftige Unterstützung und unkomplizierte Behebung von Problemen während der Auswertung.

Herrn Reuben MD von der Firma Waismed, Caesarea/Israel, danke ich für die schnelle und präzise Beantwortung von Fragen hinsichtlich der Bone-Injection-Gun.

## Lebenslauf

Name: Fiedler  
Vorname: Falk  
Geburtsdatum: 24. April 1971  
Geburtsort: Landstuhl  
Familienstand: ledig  
Eltern: Dr. med. Adalbert Fiedler, Internist  
Almut Fiedler-Junghanns, Rektorin

### **Schulischer Werdegang**

1977-1981 Grundschule Queidersbach  
1981-1990 Altsprachliches Gymnasium Kaiserslautern, Heinrich-Heine-Gymnasium, Allgemeine Hochschulreife

### **Grundwehrdienst**

1990-1991 Grundwehrdienst (Sanitäter)

### **Hochschulbildung**

1991-1998 Studium der Humanmedizin an der Universität Hamburg  
Mai 1998 Staatsexamen

### **Beruflicher Werdegang**

1998-1999 Arzt im Praktikum an der Inneren Abteilung des Krankenhauses  
Rothenburg o. T.  
1999-2000 Assistenzarzt an der Inneren Abteilung des Stiftungskrankenhauses  
Nördlingen  
2000-2001 Assistenzarzt an der Inneren Abteilung des Kreiskrankenhauses  
Roth  
ab 01.02.2002 Assistenzarzt an der Inneren Abteilung des Klinikums Starnberg