

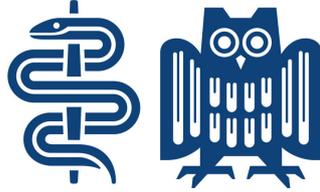
Aus der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
Universitätsklinik des Saarlandes Homburg/Saar
Direktor: Prof. Dr. med. T. Pohlemann

***Bestimmung der pelvinen Blutungsmenge bei polytraumatisierten
Patienten mit instabiler Beckenfraktur***

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
Homburg

2017

vorgelegt von Christoph Alexander Lahr
geboren am 04.10.1985 in Bonn



UNIVERSITÄT DES SAARLANDES
- MEDIZINISCHE FAKULTÄT HOMBURG/SAAR -

TAG DER MÜNDLICHEN PRÜFUNG :

BETREUER : DR. N. VEITH

DEKAN : PROF. DR. M. D. MENGER

BERICHTERSTATTER :

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG	1
1.1	ABSTRACT	3
2	EINLEITUNG	5
2.1	EPIDEMIOLOGIE DER BECKENFRAKTUREN	8
2.2	ANATOMIE DES BECKENS	10
2.2.1	<i>Knöcherner Aufbau</i>	10
2.2.2	<i>Gelenke & Bandapparat</i>	12
2.2.3	<i>Muskulatur</i>	14
2.2.4	<i>Topographie der Gefäße</i>	15
2.2.5	<i>Nerven</i>	18
2.2.6	<i>Organe</i>	19
2.2.7	<i>Biomechanik des Beckens</i>	19
2.3	DIE FRAKTUR DES BECKENS	21
2.3.1	<i>Ätiologie</i>	21
2.3.2	<i>Klassifikation der AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen)</i>	22
2.3.3	<i>Andere Klassifikationssysteme</i>	26
2.3.4	<i>Pathobiomechanik</i>	28
2.3.5	<i>Der Beckennotfall / Polytrauma-Patient / ISS</i>	30
2.3.6	<i>Die Pelvine Massenblutung</i>	32
2.3.7	<i>Begleitverletzungen</i>	35
2.4	DIAGNOSTIK VON BECKENFRAKTUREN	37
2.4.1	<i>Anamnese</i>	38
2.4.2	<i>Klinische Untersuchung</i>	38
2.4.3	<i>Labordiagnostik</i>	40
2.4.4	<i>Apperative Diagnostik</i>	41
2.5	THERAPIE DER BECKENFRAKTUR	44
2.5.1	<i>Notfallalgorithmus</i>	47
2.6	KOMPLIKATIONEN	49
2.6.1	<i>Akutes Respiratorisches Distress Syndrom - ARDS</i>	49
2.6.2	<i>Sepsis</i>	50
2.6.3	<i>Multiorganversagen - MOV</i>	50
2.6.4	<i>Koagulopathie</i>	50
2.7	FRAGESTELLUNG UND ZIEL DER UNTERSUCHUNG	51
3	MATERIAL UND METHODEN	52
3.1	PATIENTENGUT / AKTENRECHERCHE	52
3.2	CT DATENSÄTZE	54
3.3	MANUELLE CT-VOLUMETRIE	54
3.4	STATISTISCHE AUSWERTUNG	57

4	ERGEBNISSE	58
4.1	PATIENTENKOLLEKTIV	58
4.1.1	<i>Geschlecht und Alter</i>	58
4.1.2	<i>Unfallmechanismus</i>	59
4.1.3	<i>Begleitverletzungen</i>	60
4.1.4	<i>Frakturklassifikation (AO/OTA)</i>	61
4.1.5	<i>Ergebnisse der Hämoglobin- und Blutdruckwerte sowie ISS</i>	62
4.1.6	<i>Primärtherapie</i>	63
4.1.7	<i>Letalität</i>	63
4.2	ERGEBNISSE DER CT-VOLUMETRIE	64
4.2.1	<i>Flüssigkeitsansammlung intramuskulär</i>	65
4.2.2	<i>Freie Flüssigkeit</i>	66
4.3	BEARBEITUNGSZEIT UND ICC (INTRAKLASSEN-KORRELATIONSKOEFFIZIENT)	67
4.4	KORRELEATION DER BLUTUNGSMENGE MIT ZEITLICHEM VERLAUF	68
5	DISKUSSION	69
5.1	DISKUSSION DER METHODIK	70
5.2	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	74
5.3	ZUSAMMENFASSENDER BEURTEILUNG UND AUSBLICK	78
6	LITERATURVERZEICHNIS	80
7	DANKSAGUNG	90
8	VERÖFFENTLICHUNGEN	91
9	LEBENS LAUF	92

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
ARDS	Akutes Respiratorisches Distress Syndrom
ATLS	Advanced-Trauma-Life-Support
CT	Computertomographie
DGU	Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie
FAST	Focused Assessment with Sonography for Trauma
ISG/SIG	Iliosakralgelenk / Sakroiliakalgelenk
ISS	Injury Severity Score
Lig.	Ligamentum (Plural Ligg.)
M.	Musculus (Plural Mm.)
MOV	Multiorganversagen
N.	Nervus (Plural Nn.)
OTA	Orthopaedic Trauma Association
ROI	Region of Interest
sog.	sogenannt
SI-Gelenk	Sakroiliakal-Gelenk
Tab.	Tabelle
SBP	Systolic blood pressure
Hb	Haemoglobin

1 Zusammenfassung

Die knöchernen Verletzungen des Beckenrings ist eine seltene Frakturen des Menschen. Nur ca. 2%–8% aller Frakturen betreffen den Beckenring, wobei instabile Beckenringfrakturen hierbei eine erhöhte Mortalität aufweisen. Ursächlich hierfür ist ein hoher Energiefluss um den knöchernen Beckenring zu durchbrechen, welcher zusätzliche und potenziell tödliche Begleitverletzungen verursacht. So sind bei schweren Beckenverletzungen häufig intraabdominelle Organe, wie die Harnblase, das Colon aber auch die im Becken verlaufenden Gefäße betroffen. Die Fraktur begleitende, intrapelvine Massenblutung ist hierbei die führende Todesursache. Blutungen aus den Iliacalgefäßen sowie dem präsakralen Venenplexus und dem Knochen selbst führen rasch zu einer hämodynamischen Instabilität des Patienten.

Kenntnisse über den Unfallmechanismus, sowie klinische und radiologische Primärbefunde sind unerlässlich zur Primärevaluation und geben erste Hinweise über das Ausmaß der Verletzung sowie die notwendige Therapie. Dennoch bleibt die Einschätzung des potenziellen Blutverlustes häufig schwierig und folgt keinen regulierten Standards. Zur Abschätzung des akuten Blutverlustes werden vorrangig klinische Zeichen des Schocks verwendet welche jedoch häufig erst zeitverzögert Rückschlüsse auf den Blutverlust zulassen, da Kompensationsmechanismen des menschlichen Körpers ein imminentes Schockgeschehen überdecken.

Weitere Möglichkeiten, intrapelvine Blutverluste aufzudecken, bieten die Sonographie, die Computertomographie sowie die Angiographie. Diese Verfahren lassen konkretere Abschätzungen über das Ausmaß des Blutverlustes zu, benötigen jedoch eine eingehende Evaluation und Bearbeitung, um detaillierte Rückschlüsse auf die Blutungsmenge zu geben.

Ein Verfahren zur Volumenberechnung anhand von CT-Datensätzen ist die sogenannte CT-Volumetrie. Mit ihr kann durch Flächenmarkierung der Blutungsareale in den einzelnen Schnittbildern ein Volumen berechnet werden.

Die vorliegende Arbeit demonstriert, wie unter Zuhilfenahme des Verfahrens der CT-Volumetrie der Blutverlust bei instabilen Beckenverletzungen rekonstruiert und somit eine reelle Abschätzung der Blutungsmenge ermöglicht wird. Untersucht wurde zudem eine mögliche Korrelation des Frakturtyps nach AO/OTA (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen / Orthopaedic Trauma Association) mit der Blutungsmenge, zur Ermittlung des Frakturtyps als potenziellen Prädiktor für die Größenordnung der verletzungsbegleitenden Blutung. Somit könnte bereits die initiale Röntgendiagnostik, welche zur Standardprozedur der Schockraumdiagnostik gehört, den behandelnden Ärzten bereits nach Frakturklassifikation wertvolle Hinweise auf das Ausmaß der zu erwartenden Blutungsmenge sowie der daraufhin einzuleitenden weiteren Diagnostikmaßnahmen und Therapieschritte geben.

1.1 Abstract

Volume determination of pelvic blood loss in polytrauma patients with an unstable pelvic fracture

Fractures of the pelvic ring are rare, accounting for 2%-8% of all fractures. In particular unstable pelvic ring fractures go along with an increased mortality. The force necessary to disrupt the pelvic ring often causes additional damage to surrounding tissues including internal organs and vessels. Mass bleeding within the pelvis is the leading cause of mortality in patients with pelvic ring fractures. Common sources of bleeding are arterial bleeds in the iliac basin, the presacral venous plexus and cancellous bone surfaces, which can rapidly result in haemodynamical instability.

The history of the mechanism of trauma as well as the clinical and radiological findings, are essential for primary evaluation, providing information regarding the extent of the injury and the treatment needed. However, the assessment of the amount of primary blood lost into the pelvic cavity is difficult and does not follow any standard evaluation procedure.

In order to acutely assess the volume of total blood loss and haemodynamic status of the patient, clinical shock signs such as systolic blood pressure (SBP) and haemoglobin (Hb) concentration are utilized. However, homeostatic compensatory mechanisms may disguise an impending shock with normotension and initially normal haemoglobin values.

Alternative diagnostic modalities are able to determine the amount of bleeding. Ultrasound, computed tomography (CT) and angiography can visualize and estimate the extent of bleeding, but exact volume measurements can only be obtained with further computed reconstruction.

CT-Volumetry reconstructs a volume by measuring the areas of interest in each sectional image. Using CT-Volumetry to reconstruct the amount of blood loss in patients with unstable pelvic ring fractures, this thesis investigates a correlation between the type of pelvic fracture (AO/OTA) and the bleeding volume in order to utilize the fracture type as a potential predictor for the magnitude of its concomitant bleeding. As a consequence initially taken x-ray images, which are part of the standard trauma investigational protocol, may already provide treating physicians with valuable information about the magnitude of the forthcoming blood loss and guide us in initiating further diagnostics and life-saving therapy in a timely manner.

2 Einleitung

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine retrospektive Studie aus der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Universitätsklinik des Saarlandes Homburg/Saar.

Die Beckenverletzung entsteht in den meisten Fällen durch Hochrasanztraumata oder Stürzen aus großer Höhe (POHLEMANN et al., 1996b). Eine besondere Rolle nimmt hierbei die sogenannte komplexe Beckenfraktur ein welche durch zusätzliche, häufig lebensbedrohliche, peripelvine oder intrapelvine Weichteilschäden definiert ist (BOSCH et al., 1992a). Das klinische Bild von Patienten mit Beckenverletzungen kann sich jedoch, von der einfachen vorderen Beckenringfraktur bis zum polytraumatisierten Patienten mit lebensbedrohlichem komplexem Beckentrauma, sehr unterschiedlich darstellen. Dies stellt das behandelnde Ärzteteam vor eine besondere Herausforderung und erschwert die Diagnosefindung sowie die rasche Einleitung der adäquaten Therapie. Die genaue Kenntnis über Verletzungsart und die zeitnahe Durchführung der präklinischen und klinischen Notfallversorgung sind für das Outcome des Patienten jedoch von essenzieller Bedeutung (WARD, BIRCHER, 1996).

Bis in die 60er Jahre des 20. Jahrhunderts war eine konservative Therapie bevorzugtes Therapiekonzept bei instabilen Beckenfrakturen. Wurde bereits 1934 durch Lehmann eine offene transiliosakrale Schraubenosteosynthese zur Behandlung einer Luxation des SI-Gelenks und Symphysensprengung demonstriert (LEHMANN, 1934), dominierten jedoch Methoden wie geschlossene Repositionen kombiniert mit Hängemattenbehandlung (BÖHLER, 1963) oder Ruhigstellung in einer Gipshose (WATSON-JONES, 1938) das Bild der Behandlungskonzepte.

Judet und Letournel beschrieben in den 60er Jahren eine steigende Inzidenz von Acetabulumfrakturen, welche sie damals mit dem zunehmenden Straßenverkehr erklärten (JUDET et al., 1964). Die Mortalitätsrate von Patienten mit Beckenverletzungen wurde bis in die 70er Jahre, in einem retrospektiven Vergleich mehrerer Studien (GROTZ et al., 2005), mit bis zu 58% beschrieben.

Hauptsächlich hierfür sind retroperitoneale und intrapelvine Blutungen sowie ein sich hieraus entwickelndes hypovolämisches Schockgeschehen, mitsamt konsekutiver Komplikationen wie dem Multiorganversagen (EVERS et al., 1989; GILLILAND et al., 1982; MUCHA, FARNELL, 1984; ROTHENBERGER et al., 1978b).

Mit zunehmender Grundlagenforschung und Verständnis der Pathophysiologie des Schockgeschehens konnte die Traumaletalität ab den 70er Jahren reduziert werden (REGEL et al., 1993). Es entwickelten sich Standardisierungen der Primärbehandlung, operative Stabilisierungsmethoden und die Etablierung des Schockraum-Managements. Ein speziell hergerichteter Raum für Schwerverletzte, der sogenannte (sog.) Schockraum, dient hierbei als zentraler Punkt für einen multidisziplinären, simultanen Einsatz von Ärzten und Pflegepersonal. Hier empfängt das behandelnde Team den Patienten und führt erste diagnostische und therapeutische Schritte durch (TSCHERNE, REGEL, 1997). Ein diagnostisches Hilfsmittel, welches bereits Ende der 40er Jahre, sowohl von einem Engländer namens John Julian Wild und zwei US-Amerikanern Douglas H. Howry und Joseph H. Holmes, zur Darstellung intraabdomineller Flüssigkeiten fast zeitgleich entwickelt wurde, ist die sog. Sonographie. Diese findet noch heute in modern abgewandelter Form als FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma) ihren Einsatz im Schockraum und ermöglicht innerhalb weniger Sekunden, erste Hinweise auf Organ- oder Gefäßverletzungen darzustellen.

Die Abschätzung des primären Blutverlustes stellt sich im klinischen Alltag als besonders schwierig dar, ist jedoch ein wichtiger Bestandteil zur Entscheidungsfindung über das weitere therapeutische Vorgehen (BEN-MENACHEM et al., 1991; CRYER et al., 1988; POHLEMANN et al., 1994a). Probst et al. konnten 2007 zeigen, dass die frühzeitige operative Stabilisierung von instabilen blutenden Beckenfrakturen einen positiven Einfluss auf das Überleben der Patienten hat (PROBST et al., 2007). Vom Patienten noch kompensierte intrapelvine Blutverluste sind klinisch nur schwer zu evaluieren und bedürfen weiterführender apparativer Diagnostik, um einer akuten oder imminnten Kreislaufinstabilität rechtzeitig entgegenwirken zu können. Hierbei spielt insbesondere die Computertomographie eine wichtige Rolle, welche 1972 im Londoner Atkinson Morley Hospital erstmals klinische Anwendung fand (GAMBARELLI, 1977).

Diese auf Röntgenstrahlen basierende Technik erstellt multiple Schnittbilder des gesamten Körpers, welche detaillierte Einblicke auf von außen nicht ersichtliche Verletzungen ermöglichen. Mit Hilfe der CT-Volumetrie kann nun durch Flächenmarkierung der Blutungsareale in den einzelnen Schnittbildern ein Volumen rekonstruiert werden und somit eine reelle Abschätzung des intrapelvinen Flüssigkeitsverlustes erfolgen. Basierend auf diesen Informationen lassen sich nun gezielt weitere diagnostische sowie therapeutische Schritte planen. Weiter ergibt sich die Möglichkeit retrospektiv zu evaluieren, ob das Frakturmuster bereits erste Rückschlüsse auf die Menge des potenziellen Blutverlustes liefert.

2.1 Epidemiologie der Beckenfrakturen

Mit einer Inzidenzrate von 2%-8% aller Frakturen (BALOGH et al., 2007; POHLEMANN et al., 1996b) ist die Beckenfraktur relativ selten, stellt jedoch aufgrund ihrer hohen Letalitätsrate von 5%-26% eine akut lebensbedrohliche Verletzung dar (ABRASSART et al., 2013; BALOGH et al., 2007; GILLILAND et al., 1982; HAUSCHILD et al., 2008; JESKE et al., 2010; RIEMER et al., 1993; ROTHENBERGER et al., 1978b). Epidemiologisch zeigt sich eine zwei Altersgipfelhäufigkeit zwischen dem 20. - 30. sowie zwischen dem 60. - 70. Lebensjahr. Circa 70% der Beckenverletzten sind hierbei männlich (GABBE et al., 2011; WEINBERG, REILMANN, 1992). Verschiedene Studien zeigten, dass bei ca. 25% aller polytraumatisierter Patienten eine Beckenfraktur sowie bei 15% aller Patienten mit Beckenfraktur mindestens eine weitere Verletzung vorliegt (ABRASSART et al., 2013; MCMURTRY et al., 1980; SCHMAL et al., 2005). Hat der Patient eine sog. instabile Beckenfraktur, liegen in 80% der Fälle multiple Traumata vor (GUSTAVO PARREIRA et al., 2000). Tritt solch eine instabile Beckenfraktur zusammen mit peripelvinen oder intrapelvinen Weichteilschäden auf, spricht man von einer komplexen Beckenfraktur (BOSCH et al., 1992a). Burkhardt et al. ermittelten in einer Studie mit 344 Schwerverletzten, bei welcher zwischen komplexen Beckentraumata (KBT) und nicht-komplexen Beckentraumata (non-KBT) unterschieden wurde, bei 21% der Patienten eine komplexe Beckenverletzung (BURKHARDT et al., 2014). Circa. 23% hatten eine Typ A, 34% eine Typ B Verletzung, und bei 43% der Patienten mit Beckenfraktur lag eine Typ C Fraktur vor (BURKHARDT et al., 2014).

Die meisten Todesfälle bei Patienten mit Beckenfraktur sind auf eine retroperitoneale oder intrapelvine Massenblutung zurückzuführen (EVERS et al., 1989; GILLILAND et al., 1982; MUCHA, FARNELL, 1984; ROTHENBERGER et al., 1978b), wobei 50% der Todesfälle innerhalb der ersten 24 Stunden eintreten (BURKHARDT et al., 2014; GILLILAND et al., 1982; SCHUTZ et al., 1996). Hierbei kann die pelvine Massenblutung sowohl primär zum Verblutungstod als auch sekundär durch Folgeerkrankungen wie dem Multiorganversagen (MOV) oder dem akuten respiratorischen Distress-Syndrom (ARDS) zum Tode führen (EULER, 1995; GILLILAND et al., 1982).

Die meisten Beckenverletzungen resultieren aus Verkehrsunfällen sowie Stürzen aus großer Höhe - sogenannte Hochrasanztraumata, welche aufgrund der hohen Gewalteinwirkung häufig mit zusätzlichen Verletzungen einhergehen. Pohlemann et al. dokumentierten mit 40,5% den Anprallmechanismus als häufigste Unfallursache einer Beckenfraktur, gefolgt von 32,5% durch Einklemmungen und 27% durch Überrolltraumata (POHLEMANN et al., 1994b).

Tabelle 1 (Tab.1) gibt einen Überblick über verschiedene Arten von Beckenverletzungen nach Pohlemann und Tscherne unter Angabe ihrer Häufigkeit und Letalität.

Typ	Erläuterung	Häufigkeit	Letalität
Beckenfraktur/ Luxation	Stabile oder instabile Beckenverletzung ohne wesentliche Weichteilbeteiligung	90,7%	7,1%
Komplexe Beckenfraktur	Beckenverletzung mit zusätzlichem pelvinem Weichteilschaden (Muskulatur, Gastrointestinaltrakt, Dermis, Urogenital, Nerven)	9,3%	21,3%
Offene Beckenfraktur	Komplexe Beckenfraktur mit zusätzlich interner oder externer Durchbrechung der Körpergrenzen (Rektum, Haut, Vagina)	4,3%	17,7%
Traumatische Hemipelvektomie	Traumatischer Ausriß einer Beckenschaufel, hintere Diastase (circa 3cm) sowie vollständige Unterbrechung der neurogenen sowie vaskulären Strukturen	0,6%	60%

Tab. 1: Verletzungsbilder am Beckenknochen nach Pohlemann und Tscherne, 1996

Das Traumaregister der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU®) stellt zudem, seit seiner Gründung 1993, nicht nur ein Instrument zur standardisierten externen Qualitätssicherung dar, sondern trägt zusätzlich zur Datenerfassung seltener Verletzungen bei, um auch bei diesen Rückschlüsse auf Demographie, Verletzungsmuster, Komorbiditäten, Management und klinischen Verlauf ziehen zu können.

2.2 Anatomie des Beckens

Der Beckenknochen fungiert als Verbindungsglied von Wirbelsäule und den unteren Extremitäten und ist somit zentrale Schaltstelle der Kraftübertragung zwischen Rumpf und den Beinen (HELLER, BLANKE, 1998). Darüber hinaus bietet es knöchernen Schutz für Organe, Gefäße und Nerven als auch Ansatzpunkte für Sehnen und Muskulatur. Enge Lagebeziehungen zu großen Gefäßen und venösen Gefäßflechten sowie die Anatomie der Beckenregion bergen die Gefahr einer pelvinen Massenblutung mit hämodynamischer Instabilität.

Eine besondere Bedeutung kommt dem Raum hinter dem Bauchfell (Peritoneum) zu. Während das Bauchfell die meisten Organe unterhalb des Zwerchfells umgibt, beinhaltet dieser sog. Retroperitonealraum jene Strukturen, die hinter dem Peritoneum liegen. Dazu gehören unter anderem auch der abdominelle Teil der Aorta, die Vena cava inferior und deren jeweilige pelvinen Äste, welche bei einem Trauma ihre Integrität verlieren können und diesen Raum mit Blut füllen. Auf Grund der nicht vorhandenen Kompartimentierung des Retroperitonealraumes kann das Prinzip der sog. Selbsttamponade hier nicht suffizient greifen. (GRAY et al., 2005)

2.2.1 Knöcherner Aufbau

Der Beckengürtel ist ein knöchernes Gebilde bestehend aus den zwei Hüftbeinen (Ossae coxae), welche gemeinsam mit dem Kreuzbein (Os sacrum) den Beckengring bilden. Die drei Anteile des Hüftbeins, Os ischia, Os illi und das Os pubis, verschmelzen während der Pubertät im Bereich der Hüftgelenkpfanne (Acetabulum) zu einem einheitlichen Knochen (GRAY et al., 2005).

Das Os illi nimmt jeweils den kraniellen Teil des Os coxae ein und verfügt mediodorsal über eine L-förmige Facies auricularis, welche beidseitig die Verbindung zum Os sacrum darstellt. Direkt anliegend zwischen Crista iliaca und Facies auricularis erstreckt sich die Tuberositas iliaca, die als Ansatzfläche für den starken Bandapparat zur Unterstützung des Iliosakralgelenks dient.

Nach kranial entfaltet sich das Os illi zu den Darmbeinschaukeln und bietet neben Muskelansatzpunkten einen trichterförmigen Raum zum Schutz sowie zur anatomischen Aufnahme des unteren Abdomens mit seinen Organen. (GRAY et al., 2005)

Den anterioren Bereich des Beckenknochens stellt das Os pubis dar. Ventral bildet es zusammen mit dem Os pubis der kontralateralen Seite die Symphysis pubica und erstreckt sich von dort über den Ramus superior ossis pubis Richtung Os illi und den ramus inferior ossis pubis, welcher sich mit dem Ramus ossis ischii vereint. Unter topographischen Gesichtspunkten spricht man oberhalb der Beckeneingangslinie (Linea terminalis) vom Pelvis major, unterhalb vom Pelvis minor. (GRAY et al., 2005)

Das dreieckförmige Os sakrum entsteht aus der Verschmelzung fünf sakraler Wirbelkörper. Dorsal schließt es zwischen den beiden Os coxae über das Iliosakralgelenk den Beckenring. Nach kranial steht es in Verbindung mit dem fünften Lendenwirbel der Wirbelsäule, caudal mit dem Os coccyx. (GRAY et al., 2005)

2.2.2 Gelenke & Bandapparat

Das Iliosakralgelenk als Amphiarthrose wird von einem starken Bandgeflecht zusammengehalten und ist somit in seiner Beweglichkeit stark eingeschränkt. Die Verbindung zwischen Os sakrum und Os pubis wird durch das Lig. sacroiliacum anterius, die Ligg. sacroiliaca interossea und das Lig. sacroiliacum posterius stabilisiert. Abbildung 1 zeigt die hängebrückenartige Konfiguration dieser Bandstrukturen des sogenannten „posterior sacroiliac complex“. Diese wirken einer axialen Verschiebung des Sakroilialgelenks (SI-Gelenk) entgegen.

Zwischen Spina ischiadica des Os ischii und dem lateralen Rand des Os sacrum spannt sich das Lig. sacropsinale auf. Zusammen mit dem Lig. sacrotuberale, welches von der Spina iliaca posterior superior zum Tuber ischiadicum zieht, bilden diese Ligamente das Foramen ischiadicum majus an der Incisura ischiadica major und das Foramen ischiadicum minus an der Incisura ischiadica minor. (GRAY et al., 2005)

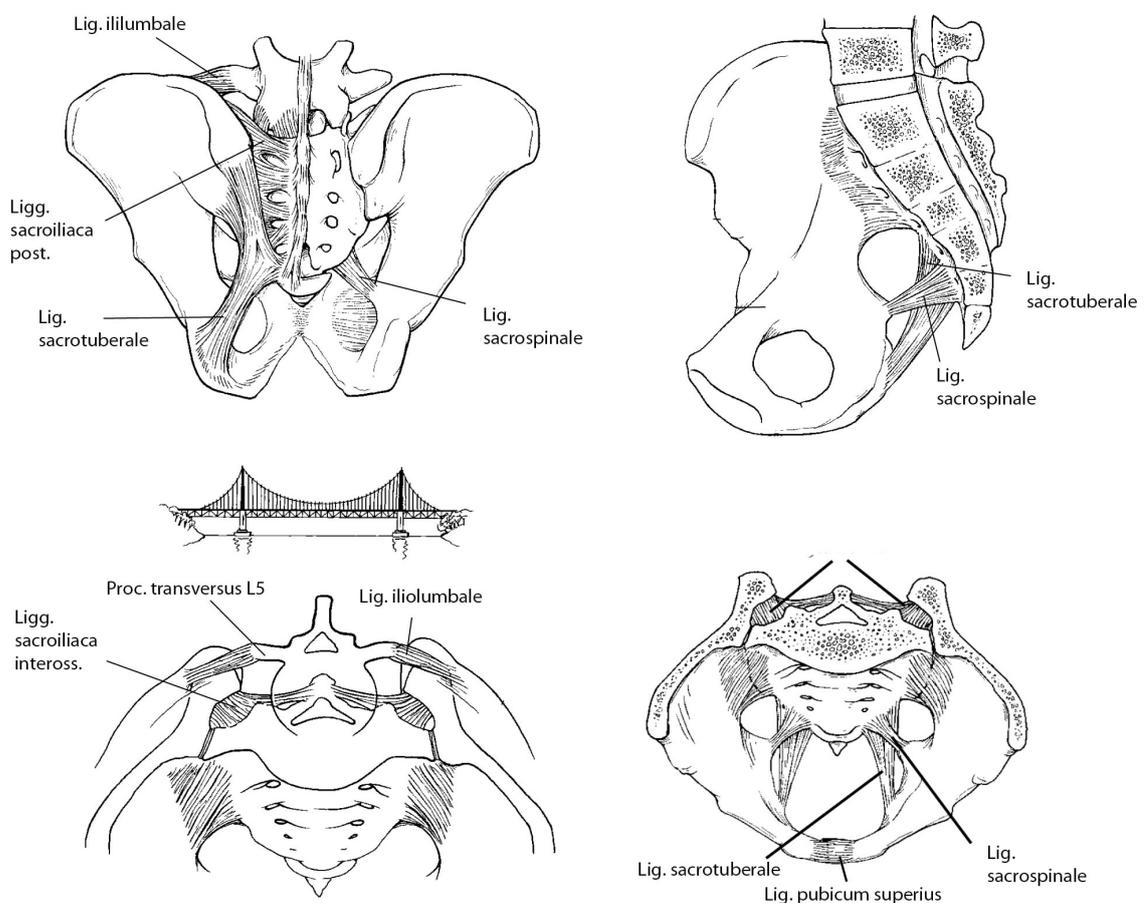


Abb. 1: Anatomie des Beckens inkl. Bandstrukturen nach (TILE, 1996) modifiziert durch LAHR 2016

Zur zusätzlichen Fixierung der Beckenschaufeln und Optimierung der Druckübertragung, zieht das Lig. iliolumbale vom Processus transversus (Querfortsatzes) des vierten und fünften Lendenwirbels zur Crista iliaca. Diese Verbindung hat eine besondere klinische Relevanz, da der Abriss des Processus transversus vom fünften Lendenwirbel als „indirektes“ radiologisches Zeichen zur Differenzierung zwischen Becken B oder Becken C Verletzung dient. Zusammen mit Avulsionsfrakturen der Ligg. sacrotuberale und sacrospinale weisen diese Zeichen auf eine vollständige Bandzerreiung und somit eine Becken C Verletzung hin. (TSCHAUNER, 2004)

Ventral treffen sich die beiden von hyalinem Knorpel überzogenen Gelenkflächen der Schambeine und bilden die Symphysis pubica, inmitten welcher sich der Discus interpubicus befindet. Die Symphyse wird an Oberseite sowie Vorderseite jeweils durch das Ligamentum pubicum superius sowie das Ligamentum arcuatum pubis verstärkt. (GRAY et al., 2005)

2.2.3 Muskulatur

Der Beckenknochen dient als Ansatzpunkt und Ursprung verschiedener Muskelgruppen. Orientierend an ihrer Funktion und Lokalisation kann zwischen folgenden Muskelgruppen unterschieden werden:

- Gesäßmuskulatur (M. gluteus maximus, medius et minimus)
- Außenrotatoren (M. quadratus femoris, M. gemellus superior et inferior, M. obturator externus et internus, M. piriformis)
- Adduktoren (M. pectineus, adductor longus et brevis et magnus, M. gracilis)
- Ventrale Muskelgruppe (M. iliopsoas., M. tensor fascia lata, M. sartorius, M. quadriceps femoris)

Die beiden Muskelbäuche des Iliopsoas entstehen getrennt voneinander. Während der mediale Bauch an der Lendenwirbelsäule beginnt, entsteht der lateral gelegene Muskelbauch in der Fossa iliaca. Zusammen verlaufen beide Muskeln unterhalb des Lig. inguinale Richtung Oberschenkel und inserieren mit einer gemeinsamen Sehne am Trochanter minor. Der M. iliopsoas ist ein starker Hüftbeuger und wirkt zusätzlich bei der Außenrotation mit.

- Ischiokrurale Muskulatur (M. biceps femoris, semitendinosus und der M. semimembranosus)
- Beckenbodenmuskulatur (M. Levator ani, M. coccygeus)

Die Muskulatur des Beckenbodens trennt die Beckenhöhle vom Perineum. Den größten Teil des Beckenbodens werden von den Mm. levator ani gebildet. Sie sind jeweils seitlich am Beckenknochen befestigt und bilden mit dem ihm gegenüberliegenden Partner ein trichterförmiges Trapez. Am Hinterrand des M. levator ani ist der M. coccygeus lokalisiert. Entlang des mit ihm verwachsenen Lig. Sacrospinale zieht er von der Spina ischiadica zum Os coccygis. Durch den Beckenboden treten drei Strukturen: von anterior nach posterior sind dies Urethra, Vagina sowie der Anus.

Die einzelnen Muskeln und Muskelgruppen werden von dichten, faserreichen Bindegewebsschichten durchzogen und umschlossen. Diese Hüllschichten, sog. Faszien dienen dem morphologischen Zusammenhalt der einzelnen Muskelfasern eines Muskels. Darüber hinaus durchziehen multiple Arterien und Arteriolen die Faszien und die gut durchblutete Muskulatur der Beckenregion, so dass bei Verletzung dieser Gefäße durch ein adäquates Trauma auch intramuskuläre, durch Faszien abgekapselte Blutungen entstehen können. (GRAY et al., 2005)

2.2.4 Topographie der Gefäße

2.2.4.1 Arterielle Gefäße

Im Bereich des Beckens kann es bei Verletzungen, neben Blutungen aus den Frakturflächen, verletzten Organen oder Muskulatur, auf Grund enger anatomischer Lagebeziehungen vor allem zu direkten arteriellen oder venösen Blutungen kommen.

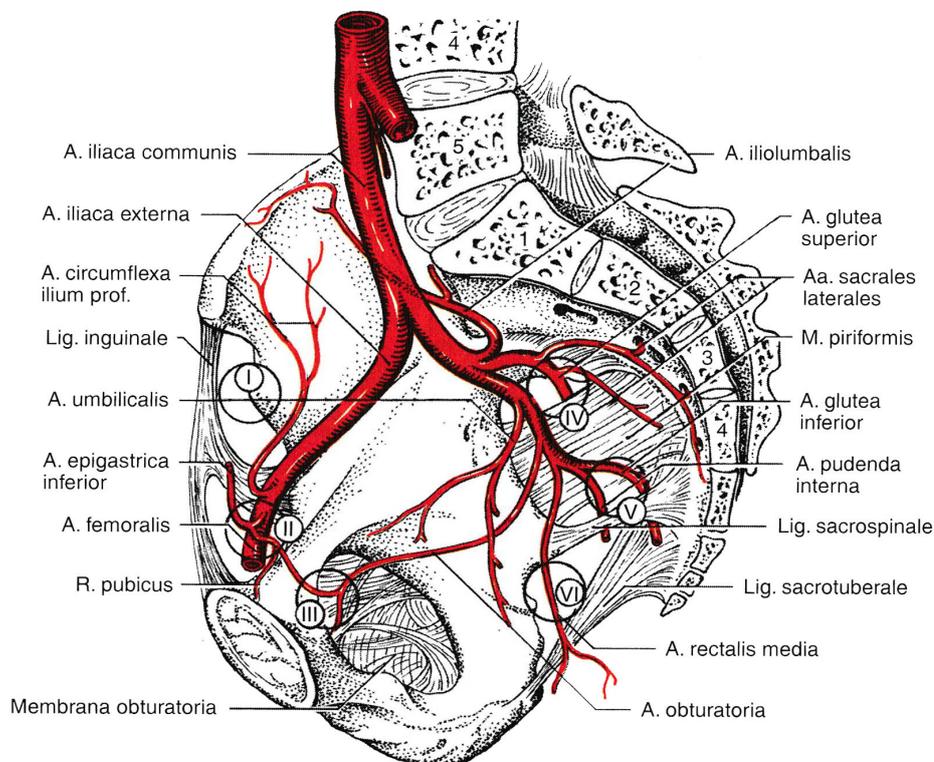


Abb. 2: Topographie arterieller Gefäße des Beckens nach (SCHUMACHER, AUMÜLLER, 2004) : I) Lacuna musculorum, II) Lacuna vasorum, III) Canalis obturatorius, IV) Foramen suprapiriforme, V) Foramen infrapiriforme, VI) Foramen ischiadicum

Zur Versorgung der unteren Extremität, der Beckenorgane sowie der umgebenden Weichteilgewebe teilt sich die Aorta abdominalis auf Höhe des vierten Lendenwirbelkörpers in die beiden Arteriae iliaca communes. Die Arteria iliaca communis gelangt jeweils medial vom M. psoas in das kleine Becken und teilt sich wiederum auf Höhe des Sakroiliakalgelenks in die Arteria iliaca interna sowie die Arteria iliaca externa auf. (GRAY et al., 2005)

Während die A. iliaca externa nach dem Durchtritt durch die Laguna vasorum als A. femoralis die unteren Extremitäten versorgt, stellt die A. iliaca interna mitsamt ihrer abgehenden intrapelvinen Äste die arterielle Hauptversorgung der pelvinen Organe sicher. Auf Höhe der Incisura ischiadica unterteilen sich die Äste der A. iliaca interna in eine anteriore und eine posteriore Gruppe. Zu der anterioren Gruppe zählen die Ae. obturatoria, umbilicalis, pudenda, glutea inferior, rectalis media und vesicalis. (GRAY et al., 2005)

Die A. pudenda sowie die A. obturatoria verlaufen in enger Lagebeziehung zu den rami pubis und können bei Frakturen der Schambeinäste in Mitleidenschaft gezogen werden. Die posteriore Gruppe gibt die A. glutea superior, A sacralis lateralis sowie die A. iliolumbalis ab, deren Hauptaufgabe in der Versorgung der dort lokalisierten Muskelgruppen besteht. (GRAY et al., 2005)

Neben der A. iliaca interna befindet sich auch die A. iliaca externa in anatomisch enger Beziehung zum Sakroiliakalgelenk. Von chirurgisch großer Bedeutung ist die Anastomose zwischen den Seitenästen der A. epigastrica inferior und der A. obturatoria. Bei Verletzung dieser sog. *Corona mortis* kann es zu massiven, schwer kontrollierbaren Blutungen kommen. (DÄUBLER et al., 2004; GRAY et al., 2005)

2.2.4.2 Venöse Gefäße und Venenplexus

Die Arterien begleitend finden sich die gleichnamigen venösen Gefäße. Darüber hinaus ummanteln ausgeprägte, untereinander verknüpfte Venengeflechte, der Plexus venosus vesicalis, rectalis, prostaticus (beim Mann) und uterinus (bei der Frau) die zugehörigen Organe. Der Plexus venosus sacralis läuft entlang der ventralen Fläche des Os sacrum. (GRAY et al., 2005)

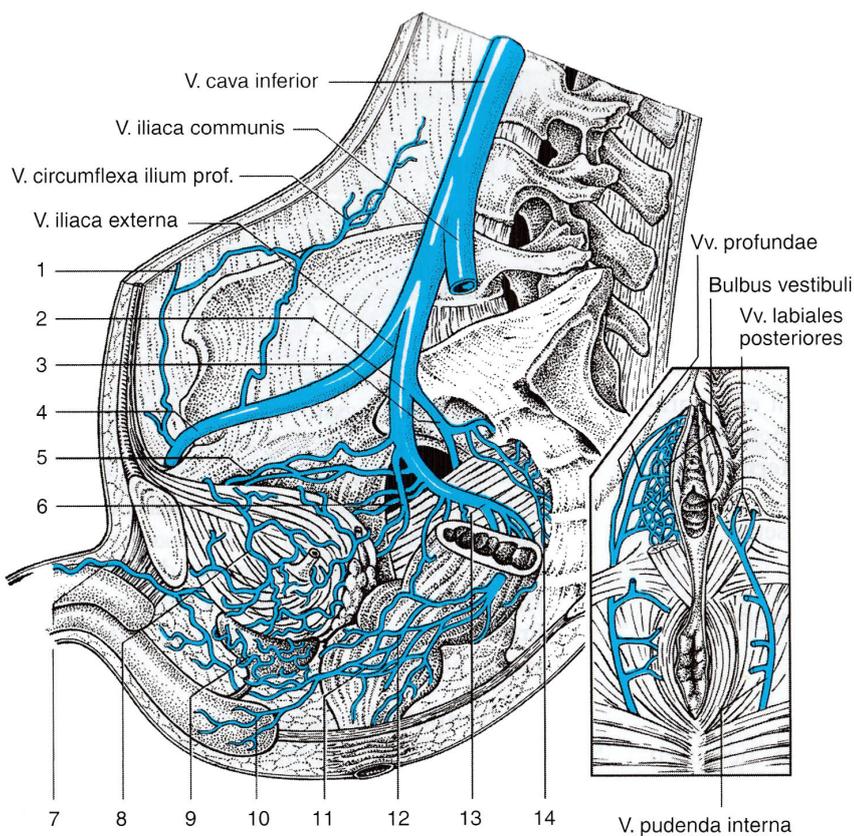


Abb. 3: Topgraphie venöser Gefäße des Beckens nach (SCHUMACHER, AUMÜLLER, 2004) : 1) *V. epifastrica inferior*, 2) *V. iliaca interna*, 3) *Vv. gluteae superiores*, 4) *V. femoralis*, 5) *Vv. obturatoriae*, 6) *Vv. vesicales*, 7) *V. dorsalis, profunda penis*, 8) **Plexus venosus vesicalis**, 9) **Plexus venosus prostaticus**, 10) *V. bulbi penis*, 11) *Vv. rectales inferiores*, 12) *Vv. rectales mediae*, 13) *Vv. gluteae inferiores*, 14) **Plexus venosus sacralis**

2.2.5 Nerven

Im Bereich des Beckens befinden sich große Nervenstränge, die bei Verletzung des Beckens in Mitleidenschaft gezogen werden können. Beim erwachsenen Menschen endet das Rückenmark mit dem sog. Conus medullaris auf Höhe des zweiten Lendenwirbelkörpers. Von hier aus distal erstreckt sich eine Ansammlung intradural verlaufender Spinalnervenwurzeln (Cauda equina). (GRAY et al., 2005)

Nach dem Verlassen des Spinalkanals durch die Foramina intervertebralis ziehen Fasern des Plexus lumbosacralis, des Plexus pudendus und des Plexus coccygeus in Richtung kaudal durch das Becken, um dasselbige sowie die unteren Extremitäten sowohl motorisch als auch sensorisch zu versorgen. Der Plexus lumbosacralis besteht aus dem Plexus lumbalis, welcher die Fasern von Th12 – L4 führt, und dem Plexus sacralis, welcher aus einem Konglomerat multipler Fasern von L5 – S3 entsteht. (GRAY et al., 2005)

Der Plexus lumbalis teilt sich weiter von kranial nach kaudal in den N. iliohypogastricus, cutaneus femoris lateralis, ilioinguinalis, obturatorius, femoralis und den N. genitofemoralis. Ventrale Anteile des L4 Spinalnervs bilden zusammen mit L5 Fasern auf der Vorderseite des M. piriformis den Truncus lumbosacralis, welcher eine Verbindung zum Plexus sacralis darstellt. (GRAY et al., 2005)

Die Hauptäste des Plexus sacralis setzen sich zusammen aus dem N. gluteus superior, gluteus inferior, cutaneus femoris posterior, ischiadicus sowie dem Nervus pudendus. Aus dem paarigen N. pudendus entsteht ein Schamgeflecht, der sog. Plexus pudendus (S3-S5). Zusammen mit dem Nervus coccygeus der Gegenseite verbinden sich die Fasern des vierten und fünften Sakralnervs zum Plexus coccygeus (S4-S5). (GRAY et al., 2005)

2.2.6 Organe

Neben Gefäßen und Nerven bietet das Becken Raum und Schutz für einige Organe. Im dorsalen Bereich des Pelvis minor windet sich das Rektum entlang des Sakrums Richtung Beckenboden. Zwischen Rektum und der Symphyse pubica findet sich beim Mann die Harnblase zusammen mit der kaudal an ihr angrenzenden Prostata. Bei der Frau ist zwischen Rektum und Blase die Vagina und der an ihr anschließende Uterus mit seinen Adnexen lokalisiert. Geschlechtsunabhängig entspringt aus den beiden Nierenbecken auf Höhe des zweiten Lendenwirbelkörpers jeweils ein Harnleiter, welcher den Urin von der jeweiligen Niere in die Harnblase leitet. Zusätzlich befindet sich ein kurzer Teil der Harnröhre noch innerhalb des Beckens, bevor diese den Beckenboden durchbricht und ihren Verlauf außerhalb des kleinen Beckens fortführt. Der Pelvis major unterstützt zusammen mit der muskulären Bauchwand das Ileum und das Colon sigmoideum. Ähnlich wie bei der Muskulatur sind auch die Organe gänzlich oder teilweise von Bindegewebsmembranen umgeben. Die einzelnen Organe besitzen jeweils spezifische Namen ihrer viszeralen Faszien, welche wiederum bei Verletzung von Organen Blutungen bis zu einem gewissen Punkt lokal eingrenzen können. (GRAY et al., 2005; SCHUMACHER, AUMÜLLER, 2004)

2.2.7 Biomechanik des Beckens

Neben multipler Ansatzpunkte für Muskulatur, welche unter anderem einen aufrechten Gang ermöglichen, dient der Beckenknochen als knöcherner Schutz innerer Organe. Als Bindeglied zwischen Rumpf und unterer Extremität ist das Becken zentraler Koordinationspunkt für Statik, Bewegungen und hohe Kraftübertragungen. (HELLER, BLANKE, 1998)

Die Hauptaufgabe des Beckens aus biomechanischer Sicht besteht in der Übertragung hoher Krafteinwirkungen vom Rumpf auf die Beine. Für Statik und Dynamik sind hierbei Druck- und Schubbelastungen sowie Scher- und Zugkräfte von Bedeutung. Nicht nur der Knochen, sondern auch ligamentäre und muskuläre Strukturen spielen eine wichtige supportive Rolle in der Kraftübertragung. (EULER, 1995)

Das Becken lässt sich in einen ventralen und einen dorsalen Ringabschnitt untergliedern. Den vorderen Teil bildet die Symphyse mit den angrenzenden Schambein- und Sitzbeinanteilen. Durch die Unterstützung der verstärkenden Bandzüge kann die Symphyse auch beim Gehen und Stehen den auf sie einwirkenden Belastungen standhalten. Im Hinblick auf die mechanische Stabilität des Beckengürtels spielt die Symphyse hingegen eine untergeordnete Rolle (EULER, 1995). Frakturen in diesem Bereich werden als „stabile Frakturen“ klassifiziert.

Die biomechanisch-funktionell relevanten Strukturen finden sich im dorsalen Beckenringabschnitt. Unterbrechungen der Kontinuität in diesem Teil des Ringsystems resultieren in einem instabilen Beckenring und sind daher als „instabile Frakturen“ einzuordnen. Bereits 1995 zeigte Vrahas in einer biomechanischen Studie an 13 Kadavern die besondere Bedeutung des *posterioeren sacroiliacalen Komplex* für die Beckenringstabilität (VRAHAS et al., 1995).

Nach kranial an das Becken angrenzend findet sich die bewegliche Wirbelsäule mit ihrer segmentalen Anordnung. Das gesamte Gewicht des Oberkörpers sowie Bewegungskräfte der oberen Extremität und des Rumpfes werden entlang der Wirbelsäule über die Lendenwirbelsäule auf den dorsalen Beckenring übertragen. Von hier an gilt der Beckenring als Kraftaufnehmer, welcher die entstehenden Kräfte über die untere Extremitäten ableitet. (HELLER, BLANKE, 1998; SCHIEBLER, W. SCHMIDT, 1999)

2.3 Die Fraktur des Beckens

Die Beckenfraktur ist ein Bruch des knöchernen Beckenrings. Man unterscheidet zwischen Frakturen, welche die Stabilität des Beckenrings beeinträchtigen, partiell beeinträchtigen und solchen, die keinen Einfluss auf dessen Stabilität haben. Darüber hinaus können sich einzelne Fragmente in anatomisch vorgesehener Position befinden oder disloziert sein. Sind neben der Beckenverletzung zusätzlich Nerven, Gefäße, Weichteile oder pelvine Organe betroffen, so spricht man von einer komplexen Beckenfraktur. Bosch et al. konnten zeigen, dass Patienten mit einer Kombination aus Beckenfraktur und begleitendem peripelvinen Weichteilschaden, im Vergleich zu Patienten mit unkomplizierten Beckenfrakturen, eine bis zu 20% höhere Letalität aufweisen. Ursächlich finden sich hierbei am häufigsten venöse Blutungen oder Blutungen aus den Frakturflächen, seltener solche aus arteriellen Gefäßen (BOSCH et al., 1992a).

2.3.1 Ätiologie

Knochenbrüchen können verschiedene Ursachen zu Grunde liegen. Hierbei differenziert man zwischen Frakturen, bei denen inadäquate, zu hohe Belastungen den Knochen zum Brechen zwingen und Frakturen, die bei physiologischer Belastung aufgrund pathologischer Veränderung des Knochens zustande kommen. Zu letzterem zählt die altersbedingte Osteoporose sowie Krankheiten, welche die Mineralisation des Knochens beeinflussen, wie zum Beispiel die Osteomalazie. Auch Tumore und Tumormetastasen können die Struktur des Knochens so verändern, dass dieser selbst unter geringer Belastung den auf ihn wirkenden Kräften nicht standhalten kann. Im Gegensatz dazu ist der gesunde Knochen alltäglichen Belastungen gewachsen, er kann jedoch bei übermäßiger Krafteinwirkung auch zu Schaden kommen. Die Mehrzahl der Beckenfrakturen wird durch stumpfe Gewalteinwirkung verursacht und resultiert am häufigsten durch Verkehrsunfälle. Insbesondere jüngere Patienten erleiden auf diesem Weg eine Beckenverletzung, während bei älteren Patienten zumeist ein Sturz die Ursache darstellt (O'BRIEN D et al., 2002; WUBBEN, 1996).

2.3.2 Klassifikation der AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen)

Bereits 1980 teilte Tile die Beckenfraktur anhand ihrer Stabilität in drei große Frakturtypen ein. Er unterschied zwischen der stabilen Beckenverletzung (Typ A), der rotationsinstabilen Beckenringverletzung (Typ B) und der rotations- und vertikal instabilen Beckenringverletzung (Typ C). (TILE, 1996) In Deutschland hat sich die 1991 von Tile für die AO (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) / OTA (Orthopaedic Trauma Association) überarbeitete Klassifikation durchgesetzt.

2.3.2.1 Typ A – Stabile Verletzungen des Beckenrings

Typ A Frakturen behalten einen intakten hinteren Beckenring und halten somit eine stabile vertikale Kraftübertragung bei. Als Subtypen der Typ A Frakturen beschrieb Tile die apophysären Abriss-Frakturen (Typ A1), Frakturen der Beckenschaufeln (Typ A2), transversale Sakrumfrakturen sowie Frakturen des Os coccyx (Typ A3).

Typ A - Beckenringfraktur	Stabiler Beckenring, minimale Dislokation
A - 1	Ausrissfrakturen der Spina iliaca anterior superior / inferior oder des Tuber ossis ischii
A - 2	Darmbeinschaufelfraktur +/- Beteiligung des Beckenrings jedoch ohne Dislokation
A - 3	Transverse Sakrumfrakturen ohne Beteiligung des Beckenrings, Fraktur des Os coccygis

Tab. 2: Subtypen der Beckenringfrakturen Typ A nach AO/OTA

2.3.2.2 Typ B – Rotationsinstabile Verletzungen des Beckenrings

Wie bei Typ A Frakturen sind Typ B Frakturen in ihrer vertikalen Kraftübertragung stabil, jedoch tritt bei ihnen eine Rotationsinstabilität auf. Die „Open-Book Injury“ (Typ B1) ist durch die Unterbrechung des vorderen Beckenbogens, entweder durch die Symphysis pubis oder des Os pubis, gekennzeichnet. Hierbei bedeutet eine Symphysendistraktion von mehr als 2,5 cm eine Teilerreißung des Iliosakralgelenks. Typ B2 Frakturen sind laterale Kompressionsfrakturen mit Innenrotationsfehlstellung, die mit einer Teilerreißung des ipsilateralen hinteren Beckenrings einhergehen. Liegt eine bilaterale, inkomplette Unterbrechung des hinteren Beckenrings vor, so teilt man dieses Verletzungsbild als Typ B3 ein.

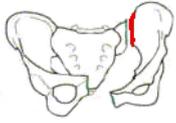
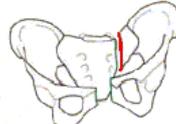
Typ B - Beckenringfraktur	Rotationsinstabile Frakturen des Beckenrings
B1	„Open-book“ (Außenrotation)
B2	Laterale Kompressionsverletzung (Innenrotation)
B3	Bilaterale Typ-B-Fraktur

Tab. 3: Subtypen der Beckenringfrakturen Typ B nach AO/OTA

2.3.2.3 Typ C – Rotations- und vertikal instabile Verletzungen des Beckenrings

Beckenfrakturen vom Typ C sind durch eine komplette Zerreißung des hinteren Beckenrings charakterisiert, aus welcher eine Dislokation in vertikaler und horizontaler Richtung resultiert. Hierbei beschreibt Typ C1 die unilaterale und Typ C2 die bilaterale Läsion. Während bei der C2 Fraktur eine der beiden betroffenen Seiten lediglich eine Typ B Fraktur aufweist und somit eine Teilstabilität behält, sind bei der Typ C3 Fraktur beide Seiten instabil.

Eine detaillierte Unterteilung der Subtypen findet sich in folgender Tabelle (Tab. 4).

Typ C – rotatorisch & vertikal instabile Beckenfraktur		
C 1	unilateral rotations- und vertikal instabil	
	C 1.1 	Komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei unilateraler Iliumfraktur
	C 1.2 	Komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei unilateraler Sakroiliakalfugenerreißung
	C 1.3 	Komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei unilateraler Sakrumfraktur
C 2	einseitig komplett, Gegenseite inkomplett	
	C 2.1 	Komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei Iliumfraktur, Gegenseite inkomplett
	C 2.2 	Komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenringes bei Sakroiliakalfugenerreißung
	C 2.3 	Komplette Unterbrechung des dorsalen Beckenrings bei Sakrumfraktur
C 3	bilateral rotations und vertikal instabil	
	C 3.1 	Komplette bilaterale Unterbrechung des dorsalen Beckenrings bei extrasakraler Fraktur beidseitig
	C 3.2 	Komplette bilaterale Unterbrechung des dorsalen Beckenrings bei unilateraler Sakrumfraktur und extrasakraler Fraktur kontralateral
	C 3.3 	Komplette bilaterale Unterbrechung des dorsalen Beckenrings bei bilateraler Sakrumfraktur

Tab. 4: Subtypen der Beckenfrakturen Typ C nach AO/OTA, Tabelle aus (STOECKLE, 2001) - editiert durch LAHR 2016

2.3.2.4 Sakrumfrakturen

Das Kreuzbein (Os sacrum) nimmt aufgrund seiner Stellung nach dem Schlußsteinprinzip dorsal zwischen den beiden Beckenschaufeln eine Schlüsselrolle ein. Aufgrund enger Lagebeziehungen zu Nerven, Gefäßen und Beckeneingeweiden hat die Fraktur des Kreuzbeins biomechanisch und auch klinisch eine hohe Bedeutung und wird daher separat klassifiziert. Denise et al. unterscheiden zwischen drei typischen Frakturzonen (Abb. 4):

- 1) die transalare Zone,
- 2) die transforaminale Zone sowie
- 3) die zentrale Zone

Die transalaren Frakturen sind mit ca. 50% die am häufigsten auftretenden Frakturen. Diese werden allerdings durch die dorsalen Sakroilikalbänder überbrückt und stabilisiert. Mit 15% sind zentrale Sakrumfrakturen eher selten, gehen jedoch mit einer hohen Rate an Nervenschädigungen einher. Die größte Bedeutung kommt jedoch den mit 34% relativ häufig auftretenden transforaminalen Sakrumfrakturen zu. Neben erheblicher Instabilität des Beckenrings weisen Patienten mit diesem Frakturtyp eine hohe Rate an neurologischen Schädigungen auf (DENIS et al., 1988).

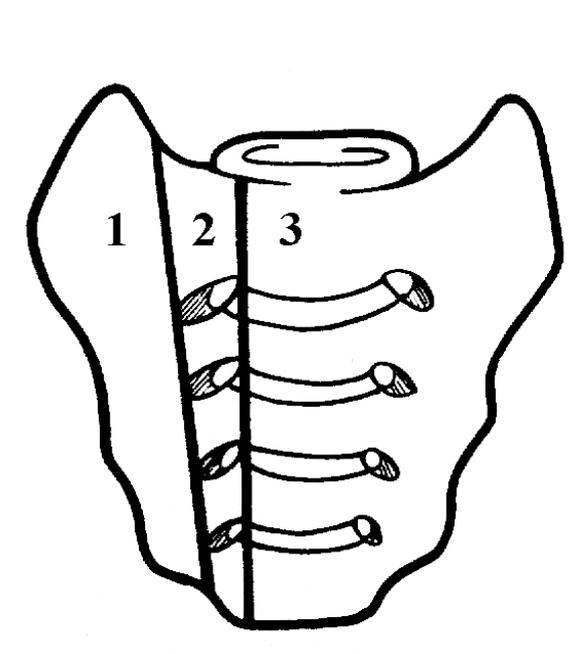


Abb. 4: Frakturzonen des Os sacrum nach (DENIS et al., 1988) -
1=Frakturzone 1, 2=Frakturzone 2, 3=Frakturzone 3

2.3.3 Andere Klassifikationssysteme

Klassifikation nach Pannel et al. (1980):

Pannel et al. berücksichtigten in einer Klassifikation der Beckenfrakturen die Richtung der Krafteinwirkung. Hierbei wurden die

- anterior-posteriore Kompression
- laterale Kompression
- vertikalen Scherkräfte

als Ursachen der Frakturentstehung beschrieben. Weiter folgte die Einteilung der lateralen Kompressionsfrakturen in 4 Kategorien A - D.

Typ A – anteriore & posteriore Läsion - ipsilateral

Typ B – anteriore & posteriore Läsion - kontralateral (z.B. “bucket-handle” Läsion)

Typ C – Läsion aller 4 Schambeinäste und posteriore Läsion (z.B. “straddle fracture”)

Typ D – Mischformen

Diese Klassifikation soll dem Chirurgen präzise Hinweise auf die Verletzung und den Unfallmechanismus geben, um dementsprechend geeignete Gegenmaßnahmen einzuleiten (PENNAL et al., 1980). Aus dieser Einteilung nach Pannel et al. erstellte Tile 1988 eine modifizierte Klassifikation. 1991 wurde diese Klassifikation wiederum dem Einteilungsprinzip der AO angepasst und findet bis heute Anwendung.

Young-Burgess Klassifikation 1990:

1990 erstellten Young und Burgess eine Klassifikation, welche auf dem Frakturmuster basierend eine Aussage über die Stabilität des Beckenrings erlaubt. Orientierend an der Richtung, aus welcher die Energie auf den Beckenknochen einwirkte, wurden die in Tabelle 5 aufgelisteten Typen unterschieden.

Typ	Antero-Posteriore Kompression (APC)	Laterale Kompression (LC)	Vertikale Schwerkkräfte (VS)
I	Symphysenweite < 2,5cm	Schambeinastfraktur und ipsilaterale anteriore sakrale Ala Kompressionsfraktur	nach posterior und superior gerichtete Kraft
II	Symphysenweite > 2,5cm Verletzung des Lig. sacrospinus + sacrotuberale Anteriore ISG Diastase	Schambeinastfraktur und ipsilaterale posteriore dislozierte Os ilium Fraktur	
III	ISG Dislokation + Gefäßverletzung	Ipsilaterale Kompression und kontralaterale APC	

Tab. 5: Klassifikation der Beckenfraktur nach Young & Burgess (BURGESS et al., 1990)

2.3.4 Pathobiomechanik

Bei einer Gewalteinwirkung auf eine Ringstruktur wie dem Beckenring resultieren auf Basis statischer sowie mechanischer Gesetzmäßigkeiten Läsionen an zwei Stellen (TILE, 1988). Huittinen und Slätis zeigten in einer vereinfachten Darstellung die Hauptvektoren einer Gewalteinwirkung auf den Beckenring (SLATIS, HUITTINEN, 1972).

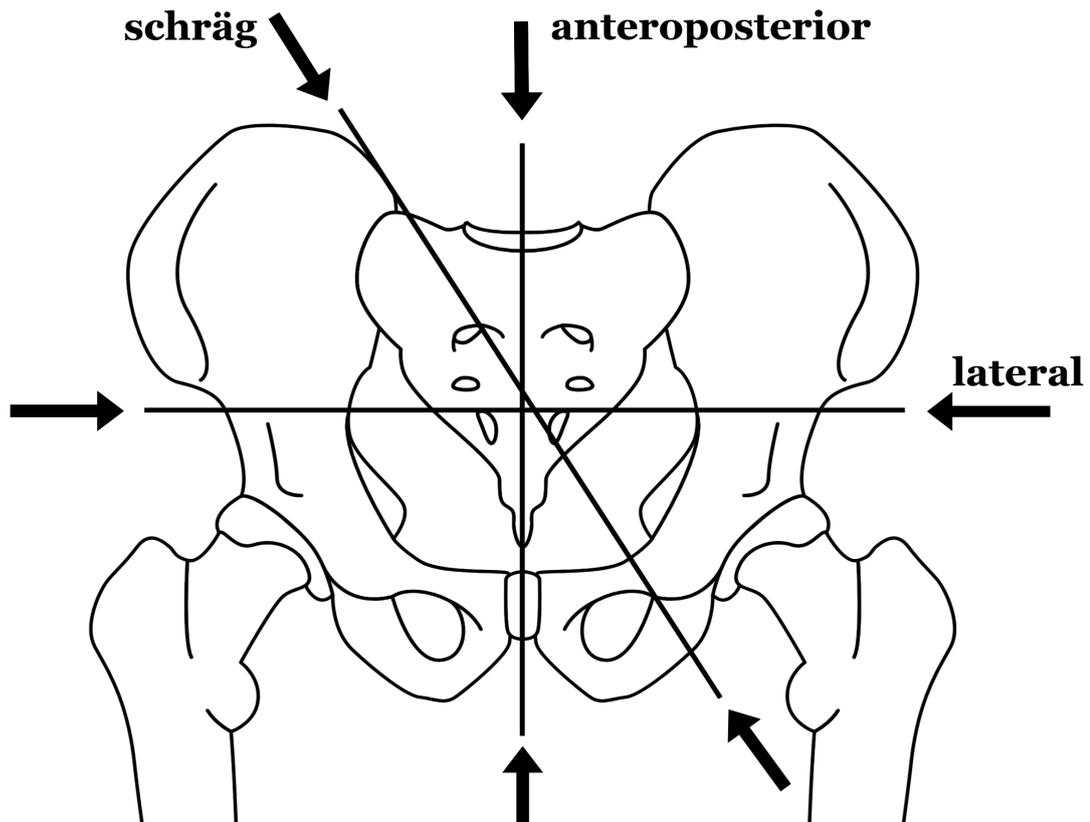


Abb. 5: Hauptvektoren der Gewalteinwirkungen auf den Beckenring nach (SLATIS, HUITTINEN, 1972)

Bei der anteroposterioren Krafteinwirkung kommt es zu einer Außenrotation beider Beckenhälften bei üblich parallel auftretender Symphysenläsion. Bleiben die dorsalen Bandstrukturen intakt, so spricht man von einer "Open-Book-Verletzung". Bei höheren Gewalteinwirkungen zerreißen auch das Lig. sacroiliacum anterius sowie das Lig. sacrospinale. Dies resultiert in einem instabilen Hemipelvis. Bleiben Scherkräfte aus, bleibt der posteriore Bandapparat der SI-Verbindung gewöhnlich intakt. Daher spricht man bei einer a.p. Kompressions-Verletzung von einer rotationsinstabilen, jedoch vertikal stabilen Verletzung. (EULER, 1995; GEBELE, 2007)

Wirkt die Kraft wie bei den meisten Beckenfrakturen seitlich auf den Beckenknochen ein, führt dies zu einer Innenrotationsbewegung der jeweiligen Beckenhälfte und konsekutiv zu einer Symphysensprengung oder ipsilateralen Fraktur der Rami pubici. Zusätzlich können Kompressionsverletzungen des posterioren Komplexes auftreten. Bei extrem hoher Gewalteinwirkung können alle 4 Äste des Os pubis brechen (sog. "straddle-fracture"). In seltenen Fällen tritt eine Symphysenruptur mit Überlappung der Rami pubici auf. (GEBELE, 2007; GORDON, MEARS, 1991)

Trifft die Kraft den Beckenring im Sinne einer Scherkraft, hat dies eine Läsion der vorderen und hinteren Ringstrukturen zur Folge. Die ventrale Läsion kann hierbei ligamentär oder ossär auftreten. Die posteriore Läsion ist entweder eine Fraktur durch das Sakrum, das Os ilium oder eine Zerreißung des SI-Gelenks. Eine beidseitig auftretende knöcherne Verletzung im dorsalen Beckenring stellt den instabilsten Frakturtyp dar. (GEBELE, 2007)



Abb. 6: Krafteinwirkung bei Beckenfrakturen nach Young & Burgess aus (TILE, 1996)

Burgess et al. zeigten, dass die Energie der auf das Becken auftreffenden Kraft zusammen mit der Richtung, aus welcher sie auf das Becken einwirkt, mit dem Grad der Weichteilverletzung und dem Risiko einer arteriellen Gefäßverletzung korreliert (BURGESS et al., 1990).

2.3.5 Der Beckenotfall / Polytrauma-Patient / ISS

Als Polytrauma bezeichnet man in der Medizin die Verletzungen mehrerer Körperregionen oder Organsysteme, von denen eine oder die Kombinationen mehrerer Verletzungen lebensbedrohlich ist (TSCHERNE, 1998). Ein Polytrauma-Patient mit komplexer Beckenverletzung wird als sog. "Beckenotfall" eingestuft. Eine lebensbedrohliche Situation ergibt sich insbesondere bei Schädel-Hirn-Traumata sowie bei hohem Blutverlust und der sich anschließenden hämodynamischen Instabilität (EULER, 1995).

Bei den Haupttodesursachen bei Beckenotfällen unterscheidet man zwischen Früh- und Spätphase. Die pelvine Massenblutung gilt hierbei noch immer als die Hauptursache der hohen Letalität während der Frühphase eines Beckenverletzten. In der Spätphase führen insbesondere das Akute Respiratorische Distress Syndrom (ARDS) und das Multiorganversagen (MOV) zum tödlichen Ausgang dieser Verletzung (BOSCH et al., 1992b; CRYER et al., 1988; GILLILAND et al., 1982; POHLEMANN et al., 1996b; SLATIS, HUITTINEN, 1972).

Injury Severity Score:

Unter dem sogenannten Injury Severity Score (ISS) versteht man eine klinische Einteilung (nach BAKER et al., 1974) zur numerischen Darstellung des Verletzungsgrades. Der ISS-Wert umfasst hierbei Werte von 0 bis 75. Es ergeben sich jeweils Werte für die 6 Körperregionen Gesicht, Kopf (inkl. Hals), Thorax, Abdomen, Extremitäten, Weichteile (Tab. 6). Der Beckenknochen wird in der Extremitäten-Kategorie geführt. Jeder Körperregion wird je nach Schwere der Verletzung ein Zahlenwert zwischen 1 (geringgradige Verletzung) und 6 (maximales Verletzungsausmaß) zugeordnet. Hat eine Körperregion keine Verletzung erlitten, erhält diese den Wert 0. Der ISS wird dann aus der Summe der Quadrate der 3 höchsten Werte errechnet. Findet sich in einer Körperregion der maximale Wert von 6, so beträgt der ISS in diesen Fällen definitionsgemäß automatisch 75. Ab einem ISS von über 15 gilt ein Patient laut dieser Einteilung als polytraumatisiert (BAKER et al., 1974).

Körperregion	Schweregrad der Verletzung (SG)
1. Kopf und/oder Hals	0 = keine Verletzungen
2. Gesicht	1 = leichte Verletzungen
3. Thorax	2 = mäßige Verletzungen
4. Abdomen inkl. intraabdominelle Organe	3 = ernste Verletzungen
5. Extremitäten inkl. Beckengürtel	4 = schwere Verletzungen
6. äußere Verletzungen	5 = lebensbedrohliche Verletzungen
	6 = tödliche Verletzungen

Tab. 6: *Injury Severity Score (ISS)*

$$ISS = (SG_{Gruppe1})^2 + (SG_{Gruppe2})^2 + (SG_{Gruppe3})^2$$

2.3.6 Die Pelvine Massenblutung

Gilliland zeigte bereits 1982, dass sich bei bis zu 52% der Patienten mit Beckenfraktur, welche über die Notaufnahme eingeliefert wurden, ein hämorrhagischer Schock mit konsekutiver Minderperfusion von Gewebe und Organen entwickelt (GILLILAND et al., 1982). Auch heute muss bei jedem Patienten mit Verdacht auf eine Beckenfraktur, bis zum Beweis des Gegenteils, mit einer pelvinen Massenblutung gerechnet werden.

Bei weitgehender Uneinigkeit über die Ursache des Verblutungstodes bei Beckentraumata besteht überwiegender Konsens, dass die frühzeitige Blutungsstillung in der Akutversorgung bei Patienten mit komplexer Beckenfraktur eine zentrale Rolle einnimmt (BURKHARDT et al., 2005; ERTEL et al., 2001; MORENO et al., 1986; POHLEMANN et al., 1994b; SEEKAMP et al., 2004; TSCHERNE et al., 1987; WOLINSKY, 1997).

Die differenzierte Aufschlüsselung der potenziellen Blutungsquellen gestaltet sich schwierig und Literaturvergleiche sind kaum möglich (POHLEMANN et al., 1996a). Orientierend an der Menge des Blutverlustes ordneten Bone et al. 1992 der Volumenmenge den Schweregrad sowie die entsprechenden Symptome zu (Tab. 7).

Grad I	Blutverlust <15% Blutdruck und Puls normal
Grad II	Blutverlust 15%-30% (800ml-1500ml) Tachykardie, Oligurie (20ml/h-30ml/h)
Grad III	Blutverlust 30%-40% (2000ml) Tachykardie, Hypotension, Tachypnoe
Grad IV	Blutverlust > 40% akute Lebensgefahr

Tab. 7: Schweregrad einer Blutung nach (BONE, BROWNER B, 1992)

Grundsätzlich lassen sich bei den Blutungsquellen drei Gruppen unterscheiden: Blutungen aus arteriellen Gefäßen, Blutungen aus venösen Gefäßen und venösen Plexus sowie Blutungen aus dem frakturierten, spongiösen Knochen. Es ist schwer zu evaluieren, zu welchen Anteilen der Gesamtblutungsquelle welche Blutungsquelle verantwortlich ist. Im Gegensatz zu sich selbst limitierenden Blutungen an den Extremitäten können sich Blutungen bei Beckenfrakturen durch den sog. "Kamineffekt" rasch nach kranial ausbreiten. Eine Selbsttamponade bleibt hierbei aufgrund der fehlenden Stabilität des Beckenrings sowie Zerstörung der Kompartimentgrenzen aus und führt nicht selten zum Tod (BOSCH et al., 1992a; POHLEMANN et al., 1994b; POHLEMANN et al., 1996a).

2.3.6.1 Arterielle Blutungen

Multiple arterielle Blutgefäße verschiedener Größe durchziehen die Beckenregion, um Organe, Muskulatur und Bindegewebe mit Sauerstoff und Nährstoffen zu versorgen. Denck et al. haben 1975 in einer Studie mit 1623 Beckenfrakturen folgende arterielle Gefäßverletzungen aufschlüsseln können:

Arteria iliaca communis	21
Arteria iliaca interna	16
Arteria femoralis	8
Arteria iliaca externa	5
Arteria obturatoria	4
Arteria glutealis	1
Arteria pudenda	1

Tab. 8: Verletzung arterieller Blutgefäße bei Beckenfrakturen nach (DENCK et al., 1975). Demnach gehören die Arteria iliaca communis und ihre Abzweigung Arteria iliaca interna zu den am häufigsten verletzten arteriellen Gefäßen bei einer Beckenfraktur.

Andere Literaturquellen benennen zwei Äste der Arteria iliaca interna als die am häufigsten verletzten Arterien bei Beckenfraktur. Zum einen die Arteria glutea superior, der größte Ast der Arteria iliaca interna, aufgrund ihrer engen Lagebeziehung zum SI-Gelenk sowie zur Piriformis-Faszie. Zum anderen die Arteria pudenda interna aufgrund ihres Verlaufes an den unteren Ligamenten des Beckens, durch den Alcocks Kanal entlang am Ramus ossis pubis (BRUMBACK, 1990; KAM et al., 1981; SMITH et al., 1976). Eine Verletzung der Arteria glutea inferior ist eher selten und zeigt sich am häufigsten bei Patienten, bei welchen die inferioren Ligamente eine Verletzung aufweisen (KAM et al., 1981).

Die Inzidenz einer diagnostizierten arteriellen Blutung unterliegt in der Literatur einer hohen Variation von 1%-27%. Trotz der unterschiedlichen Ergebnisse lässt sich zusammenfassend feststellen, dass eine Verletzung der großen Gefäße eher selten auftritt (CRYER et al., 1988; FAILINGER, MCGANITY, 1992; PEREZ et al., 1998; ROTHENBERGER et al., 1978b).

Grundsätzlich zeigt sich, dass je instabiler die Fraktur, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer schweren Blutung (GILLILAND et al., 1982). Dennoch garantiert auch eine stabile Fraktur keine Immunität vor einer signifikanten arteriellen Blutung (SMITH et al., 1976).

2.3.6.2 Venöse Blutungen / Blutungen aus einem Plexus

Ausgeprägte venöse Netzwerke (sog. Venöse Plexus) durchziehen das kleine Becken und leiten venöses Blut über die Hauptstämme zurück Richtung Herz. Als mögliche Blutungsquellen kommen hier im Wesentlichen der Plexus paravesicalis sowie der Plexus sacralis in Betracht (GILLILAND et al., 1982; MORENO et al., 1986; MOSS, BIRCHER, 1996).

2.3.6.3 Blutung aus Frakturflächen

Die schwer beherrschbaren Blutungen aus den spongiösen Frakturflächen werden in der Literatur ebenfalls zu den bedeutsamen Blutungsquellen gezählt (DYER, VRAHAS, 2006; EVERS et al., 1989; GILLILAND et al., 1982; HANSON et al., 1991; SLATIS, HUITTINEN, 1972; WOLINSKY, 1997). Auch wenn sich eine genaue Quantifizierung sowie Lokalisation der ursprünglich ossären Blutungen als sehr schwierig herausstellt, postulierten Slätis und Huittinen (1972), dass bei 84%-88% ihrer Patienten die Fraktur als alleinige Blutungsquelle in Frage kam (SLATIS, HUITTINEN, 1972).

2.3.7 Begleitverletzungen

Die Begleitverletzungen bei Patienten mit Beckenfrakturen entstehen in aller Regel durch ein stumpfes Trauma mit hoher Gewalteinwirkung und eher selten durch Penetrationsverletzungen (JONAS, WRUHS, 1975; SCHWEMMLE, SCHULTHEIS, 1985). Bei 16% - 26% der Patienten mit Beckenfrakturen finden sich intraabdominelle Verletzungen (MURR et al., 1980; PANETTA et al., 1985). Liegt eine instabile Beckenfraktur vor, muss man sogar bei bis zu 55% der Patienten mit intraabdominellen Begleitverletzungen rechnen (CRYER et al., 1988).

Relativ häufige Verletzungen mit ca. 7% Inzidenz bei Beckenfrakturen und bis zu 36% Inzidenz bei polytraumatisierten Patienten sind Schädigungen des Urogenitaltraktes (DALAL et al., 1989; PAAR et al., 1990). Sie treten insbesondere bei Verletzungen durch a.p. Kompression und vertikale Scherkräfte auf. Männer sind aufgrund anatomischer Gegebenheiten häufiger betroffen als Frauen. Besteht der begründete Verdacht einer Urogenitalverletzung bei einem Patienten mit Beckenfraktur, so werden Harnröhre und Harnblase mittels Zysturethrogramm dargestellt. Auch Blasenrupturen und Harnröhrenabriss werden hierbei beschrieben, was bei Verdacht eine digital-rektale Untersuchung zur weiteren Abklärung unabdingbar macht. Eine der am häufigsten durchgeführten Eingriffe bei Harnröhrenverletzungen ist die suprapubische Harnableitung (COLAPINTO, 1980; FOLLIS et al., 1992; PAAR et al., 1990).

Einen großen Einfluss auf die Prognose haben sog. Nervenläsionen (DRAIJER et al., 1997). In der Literatur werden Nervenläsionen mit einer Häufigkeit von bis zu 50% mit einer Becken- oder Acetabulumfraktur in Verbindung gebracht (BOSCH et al., 1992a; POHLEMANN et al., 1996b; SIEGMETH et al., 2000). Entsprechend anatomischer Lagebeziehungen sind bei vorderen Beckenringverletzungen öfters der N. femoralis und der N. obturatorius, bei Sakrumfraktur häufiger der Plexus lumbosakralis und bei Acetabulumfrakturen der N. ischiadicus betroffen. Die Inzidenz einer Nervenläsion nimmt mit dem Ausmaß der Verletzung des hinteren Beckenrings zu, wobei die Frakturlokalisation bereits Anhalt auf die Chance einer möglichen Ausheilung der entsprechenden Läsion gibt (HERSCHE et al., 1993). Läsionen der Nervenbahnen bleiben im Rahmen der Primärdiagnostik oft unentdeckt, da andere Verletzungen das Krankheitsbild dominieren und alle nicht lebensbedrohlichen Verletzungen in den Hintergrund geraten. Elementar für das vorzeitige Erkennen solcher Verletzungen ist eine komplette neurologische Untersuchung. Ein wichtiger und schnell durchzuführender Test ist die Überprüfung des Sphinkter Ani. Die wesentliche Therapie besteht in der Dekomprimierung der betroffenen Nerven (BOSCH et al., 1992b; POHLEMANN et al., 1994a; POHLEMANN, TSCHERNE, 1992).

Neben urologischen Begleitverletzungen und Nervenläsionen lässt sich in entsprechenden Fällen mittels digital-rektaler Untersuchung auch eine pelvine Darmverletzung diagnostizieren. Blut am Fingerling zusammen mit der Interpretation eines Röntgenbildes lassen erste Rückschlüsse auf eine mögliche Darmverletzung zu. Eine zeitnahe operative Intervention ist hierbei anzustreben, da Darmkeime sterile Regionen des menschlichen Körpers infiltrieren und schwerwiegende Komplikationen wie eine Sepsis verursachen können (BONE et al., 1992; BOSCH et al., 1992a; SIEGMETH et al., 2000).

Bei groben Kräften, wie sie beispielsweise bei einem Verkehrsunfall auf den menschlichen Körper wirken, muss grundsätzlich mit Verletzungen aller Körperregionen gerechnet werden. Durch Anpralltraumata können von Kopf über den Thorax bis hin zu den Füßen sämtliche Weichteile, Organe und Knochen in Mitleidenschaft gezogen und zur tödlichen Bedrohung werden.

2.4 Diagnostik von Beckenfrakturen

In der Akutphase der Polytraumaversorgung hat die möglichst früh durchgeführte und präzise Diagnostik insbesondere bei Beckenfrakturen höchste Priorität. Sie entscheidet über die fortführende Therapie und beeinflusst maßgeblich das Outcome der Patienten. Um ein bestmögliches Outcome dieser Patientengruppe zu gewährleisten, spielt zudem die rasche Diagnosestellung mit konsequenter Erstversorgung eine zentrale Rolle (WARD, BIRCHER, 1996). Erste Zeichen einer vitalen Bedrohung müssen früh erkannt werden, um daraufhin notwendige Therapieschritte einzuleiten. Neben Patientenalter, Injury Severity Score, Glasgow Coma Scale score, systolischem Blutdruck sowie Atemfrequenz gilt hierbei die Beckenfraktur als unabhängiger Mortalitätsprädiktor (SCHULMAN et al., 2010). Darüber hinaus bildet die genaue Klassifikation der Fraktur die Grundlage einer prioritätenorientierten Therapie (CULEMANN et al., 2003).

Das Abschätzen des primären Blutverlustes ist ein weiterer Eckpfeiler bei der Entscheidung über erforderliche Versorgungsstrategien, stellt sich jedoch im klinischen Alltag als besonders schwierig dar (BEN-MENACHEM et al., 1991; CRYER et al., 1988; POHLEMANN et al., 1994a).

2.4.1 Anamnese

Die Anamneseerhebung mit Informationen zum Patienten sowie zum Unfallhergang ergeben erste wertvolle Details über das potenzielle Ausmaß der Verletzung. Bereits hier können bei kooperativen, bewusstseinsklaren Patienten Medikamenten-Anamnese erhoben, Vor- und Grunderkrankungen eruiert sowie Fragen zum Unfallhergang und -ablauf geklärt werden. Mit Angabe der Schmerzlokalisierung durch den Patienten kann spezifisch nach Läsionen gesucht werden. Eine auf die Anamnese fokussierte Untersuchung darf eine systematische klinische Untersuchung jedoch niemals ersetzen.

2.4.2 Klinische Untersuchung

Bei der klinischen Untersuchung wird im Rahmen der Inspektion auf Prellmarken, Hämatome, Blutungsquellen, Schürfwunden sowie auf periphere Durchblutung, Motorik und Sensibilität im Bereich des Plexus lumbosakralis geachtet. Dazu gehört insbesondere die zusätzliche Inspektion der Anogenitalregion mitsamt Beurteilung der Orifizien mittels vaginaler und rektaler Untersuchung sowie der Ausschluss einer Beinlängendifferenz oder Rotationsfehlstellung im Bereich des Beckens. Die Palpation und die kontrovers diskutierte Möglichkeit der nur einmalig durchgeführten klinischen Stabilitätskontrolle des Beckenrings geben weitere Hinweise auf eine mögliche Beckenbeteiligung (TSCHERNE et al., 2000).

Evidenz der Bedeutsamkeit der klinischen Untersuchung konnte Gonzales in einer Studie an 2176 Patienten mit stumpfen Beckentrauma und einem GCS von 14-15 erbringen. Er demonstrierte eine Sensitivität von 93% und sah somit die klinische Untersuchung der radiologischen Untersuchung mit einer Sensitivität von nur 87% überlegen (GONZALEZ et al., 1999).

Pehle zeigte jedoch 2003 in seiner Studie an 979 Patienten mit einem durchschnittlichen GCS von 10, dass die klinische Untersuchung mit einer Sensitivität von nur 44% und einer Spezifität von 99% eine Beckenfraktur erkennt. Ein Großteil der Beckenfrakturen wird somit insbesondere bei beatmeten Patienten nicht primär nach klinischer Untersuchung erkannt (PEHLE et al., 2003). Die insgesamt niedrige Sensitivität bei heterogenem Patientenkollektiv veranschaulicht die Notwendigkeit additiver Diagnostik.

Schockindex nach Allgöwer:

Da Patienten mit Beckenfrakturen auch potenziell innere Verletzungen davon tragen, welche durch die klinische Untersuchung nur schwer zu ermitteln sind, werden weitere Hilfsmittel benötigt, um das klinische Bild des Patienten zu vervollständigen. Zur einfachen und raschen Darstellung der Kreislaufsituation errechneten Allgöwer und Burri 1967 den sog. Schockindex (SI). Der SI dient zur Abschätzung der Diagnose eines vorliegenden Schocks, welcher als unzureichende Versorgung des Körpergewebes mit Sauerstoff definiert ist (ALLGOWER, BURRI, 1967). Berechnet wird der SI aus dem Quotienten von Puls und systolischen Blutdruck (RR).

$$SI = Puls / RR$$

Ein SI-Wert unter 1 gilt hierbei als physiologisch. Bei einem Gesunden liegt der Schockindex üblicherweise zwischen 0,4 und 0,7. Ab einem SI-Wert über 1 spricht man von einem manifesten Schockgeschehen. Aufgrund menschlicher Kompensationsmechanismen, welche vorwiegend Einfluss auf die Pulsfrequenz haben, hat der Schockindex, insbesondere zur Beurteilung des Blutverlustes in der Akutbehandlung, seit einigen Jahren an Bedeutung verloren (MACKWAY-JONES et al., 1999; RIDDEZ et al., 1997).

Kühle Extremitäten, eine verzögerte Rekapillarierungszeit und eine beschleunigte Atmung können Hinweise auf einen noch kompensierten Schockzustand sein. Da die Gerinnung vor allem bei Unterkühlung in ihrer Funktionsweise verändert wird, ist auch die Körpertemperatur ein weiterer zu erhebender Parameter (HOLSTEIN et al., 2012).

2.4.3 Labordiagnostik

Die zu erfassenden Laborparameter folgen den Vorgaben des Polytraumamanagements und beinhalten üblicherweise ein Blutbild, die arterielle Blutgasanalyse, Laktat und Base Excess sowie die Gerinnungsdiagnostik und Abnahme von Blutproben für die Blutgruppenbestimmung. Zur Abschätzung des Blutverlustes hat sich die Evaluation des Hämoglobingehaltes (Hb) oder des Base Excesses (BE) bewährt. Bei einem Hb-Wert unter 6mg/dl sowie ein BE unter -6mmol/l kann von einem relevanten Blutverlust ausgegangen werden (BRUNS et al., 2007; KNOTTENBELT, 1991; RIXEN et al., 2001).

2001 korrelierten Ertel et al. die Schwere einer Beckenverletzung im Verlauf mit dem Lactatspiegel ihrer Patienten. Sie ermittelten bei erhöhten Lactatwerten von 2.0 mmol/L - 8.0 mmol/L eine Mortalität von bis zu 90% und postulierten, dass hierbei eine umgehende chirurgische Intervention mittels Beckenzwinge oder Laparotomie erfolgen sollte (ERTEL et al., 2001).

2.4.4 Apperative Diagnostik

Durch moderne, computerunterstützte Technik lassen sich heute Bilder rekonstruieren, welche auf Gewebe und Organzustand schließen lassen. Es lassen sich innere Strukturen wie Knochen, Gefäße sowie Organe beurteilen und dreidimensionale Modelle erstellen, welche einen wertvollen Informationsgewinn für das behandelnde Team bedeuten und eine zielgerichtete Therapie für den Patienten ermöglichen.

2.4.4.1 Sonografie und FAST

Die Sonografie ist ein Verfahren, bei welchem mittels Quatzkristallen Schallwellen erzeugt und deren Reflexionen als Echo von einer Sonde gemessen werden. Die so gewonnenen Daten dienen bei diesem Verfahren als Grundlage der Visualisierung von tiefer liegenden Gewebsschichten. Mit Hilfe der Sonografie ergeben sich wichtige Kenntnisse über das intraabdominelle Geschehen. Hier können Verletzungen von Organen sowie Gefäßen potenziell schnell erkannt und größere Flüssigkeitsansammlungen diagnostiziert bzw. ausgeschlossen werden. Im Rahmen der Schockraumdiagnostik eines polytraumatisierten Patienten hat sich die sog. FAST – Sonografie (Focus Assessment with Sonography for Trauma) durchgesetzt. Sie gibt einen schnellen Überblick, ob eine intraabdominelle Blutung oder ggf. eine Perikardtampnade vorliegt (SCALEA et al., 1999). Die Beurteilung erfolgt mittels 4 hintereinander durchgeführten Schnittbildern: diese sind der nach kranial gerichtete Oberbauch-Querschnitt zur Beurteilung des Perikards, der suprapubische Längs- und Querschnitt zur Einsicht ins kleine Becken mitsamt Douglas Raum sowie der rechtsseitige und linksseitige Flankenschnitt zur Beurteilung des Morison-Pouch (hepatorenale Grube) und des Koller-Pouch (splenorenale Grube). Auch ein negatives FAST Resultat schließt eine intraabdominelle oder intrapelvine Blutung nicht aus, macht die Notwendigkeit einer operativen Intervention jedoch sehr unwahrscheinlich (VERBEEK et al., 2014).

2.4.4.2 Konventionelle Röntgendiagnostik

Die radiologische Diagnostik stellt zusammen mit dem klinischen Befund die Basis für die Klassifikation und das einzuleitende Therapiekonzept dar (TSCHERNE et al., 2000). Für die Beurteilung des Beckenrings werden üblicherweise neben einer a.p.-Aufnahme zusätzlich Inlet- und Outletaufnahmen als Standardprojektion angefertigt. Für die Inletaufnahme wird die Strahlenquelle 30°-45° kraniokaudal eingekippt, um den Beckenring plan zur Abbildungsebene zu erfassen. In dieser Ansicht lassen sich insbesondere ventrodorsale Verschiebungen des Beckenrings erkennen. Bei der um 30°-45° kaudokranial eingekippten Outletaufnahme ergibt sich eine verbesserte Möglichkeit zur Beurteilung der kraniokaudalen Verschiebung des Beckenrings sowie des Sakrums. Eine Betrachtung dieser 3 Ebenen lässt in den meisten Fällen eine erste Beurteilung auf die Stabilität und das Ausmaß der knöchernen Verletzung zu. Da heutzutage die Computertomographie fest Einzug in die Schockraumprotokolle erhalten hat, haben beide konventionellen Schrägaufnahmetechniken an Bedeutung verloren. Zusätzliche indirekte Hinweise auf eine Verletzung des hinteren Beckenrings (sogenannte posterior radiologische Zeichen) können eine Querfortsatzfraktur des 5. Lendenwirbels, eine Inkongruenz der Neuroforamina oder eine Rotationsfehlstellung der Beckenschaufeln sein. Insbesondere hier empfiehlt sich die weiterführende Diagnostik mittels Computertomographie zur detaillierteren Betrachtung des Verletzungsausmaßes.

2.4.4.3 Computertomographie

Da insbesondere Beckenringverletzungen vom Typ C zumeist Folge eines Hochrasanztraumas mit begleitender Polytraumatisierung sind, müssen im Rahmen der frühklinischen Akutversorgung mögliche intra- und extrapelvine Verletzungen sowie potenziell aktive Blutungsquellen schnellstmöglich erkannt werden, um eine zeitnahe Therapie zu gewährleisten (POHLEMANN et al., 1996b; TSCHERNE et al., 2000; WARD, BIRCHER, 1996). Hierzu gilt bis heute die Computertomographie (CT) als Goldstandard. Die Computertomographie ist ein bildgebendes Verfahren der Radiologie zur Erstellung multipler Schnittbilder eines Objektes. Eine um den Patienten rotierende Kombination aus Detektor und Röntgenquelle erstellt hierbei eine Serie von Rohdaten, welche mit Hilfe eines Computers zu den jeweiligen Schnittbildern verarbeitet werden. Zur verbesserten Kontrastdarstellung anatomischer Strukturen sowie zur Darstellung von Gefäßen und möglicher Blutungen kann den Patienten ein Kontrastmittel über einen peripheren Venenkatheter mittels Hochdruckpumpe appliziert werden.

Hämodynamisch stabile Patienten mit stumpfen Beckentraumata erhalten im Regelfall im Rahmen des Schockraumprotokolls ein Crash-CT, welches eine CT- Spirale des gesamten Körperstammes umfasst, um das Ausmaß der Verletzungen zu visualisieren. Ein CT-Scan von Abdomen und Becken zusammen mit einer intravenösen Kontrastmittelgabe kann hierbei nicht nur frische Blutungsquellen zuverlässig aufdecken und präzise lokalisieren (PEREIRA et al., 2000; SHANMUGANATHAN et al., 1993; SHERIDAN et al., 2002; YOON et al., 2004), sondern stellt zusätzlich die Grundlage dar für anschließende Therapieverfahren, wie der transarteriellen Katheterembolisation (TAE) von Gefäßen und Organen (KROTZ et al., 2005). Darüber hinaus ermöglicht dieses Verfahren die zwei- und dreidimensionale Darstellung räumlicher Lagebeziehungen von Frakturen, Frakturfragment, Organen, Gefäßen und ist somit ein wertvolles Hilfsmittel zur Planung des Therapiekonzeptes.

2.5 Therapie der Beckenfraktur

Für die Behandlung der Beckenfraktur stehen sowohl konservative als auch operative Verfahren zur Verfügung. Für die Therapie des polytraumatisierten Patienten, bei welchem multiple Faktoren die optimale Reihenfolge möglicher Therapieoptionen beeinflussen, wurden fortlaufend Notfallalgorithmen erstellt und optimiert. Das optimale Behandlungskonzept dieser anspruchsvollen Frakturen, respektive der mit ihr einhergehenden instabilen Kreislaufsituation, ist bis heute Diskussionsthema unter Gefäßchirurgen, Unfallchirurgen, Orthopäden sowie interventionellen Radiologen. Bei einer Vielzahl unterschiedlicher Therapiekonzepte weltweit zeigt sich bei der Auswertung multizentrischer Untersuchungen, dass sich die Therapie der Beckenringfraktur anhand der Kreislaufstabilität des Patienten sowie an der biomechanischen Stabilität des Beckenrings orientieren sollte (BURKHARDT et al., 2012; CULEMANN et al., 2014; HAUSCHILD et al., 2008; HOLSTEIN et al., 2012; POHLEMANN et al., 2011).

Nach möglichst umfangreicher, an den klinischen Zustand des Patienten angepasster Diagnostik steht bei hämodynamischer Instabilität zunächst die Blutungskontrolle sowie die Volumensubstitution an erster Stelle. Während in der präklinischen Phase das Anlegen eines Beckengurtes sowie die intravenöse Volumengabe die wichtigsten Maßnahmen darstellen, kommen bei der klinischen Versorgung vor allem der supraacetabuläre Fixateur externe und die Beckenzwinge sowie die pelvine extraperitoneale Tamponade zum Einsatz. Die meisten Autoren sind sich einig, dass bei stumpfen Beckentraumata mit instabilen Beckenringverletzungen die externe Stabilisierung die sowohl schnellste, einfachste und auch die am meisten geeignete Stabilisierungsmethode darstellt (GANSSLEN et al., 2012; POHLEMANN et al., 1996a; WARD, BIRCHER, 1996). Primäre Stabilisierungsverfahren im Sinne einer inneren Osteosynthese kommen aufgrund der meist vordergründigen Behandlung eines Schocks sowie Begleitverletzungen in der Regel nicht in Betracht (POHLEMANN et al., 1996a).

Ist bei den rotationsinstabilen Typ B Frakturen eine alleinige ventrale Stabilisierung des Beckenrings ausreichend, benötigt man nach einer vertikal- und rotationsinstabilen Typ C Fraktur häufig eine kombinierte dorsale und ventrale Fixation, um die notwendige Stabilität sowie anatomische Verhältnisse wiederherzustellen (TSCHERNE et al., 2000). Pohlemann et al. empfehlen auf der Basis biomechanischer Untersuchungen bei instabilen Typ C Beckenverletzungen eine Versorgung mittels Beckenzwinge dem Fixateur externe vorzuziehen (POHLEMANN et al., 1994c). Im Vergleich zum Fixateur externe bietet die Beckenzwinge den Vorteil der schnelleren Anlagezeit (auch vom ungeübten Anwender) sowie der lokalen mechanischen Stabilisierung im Bereich des hinteren Beckenringes (HOFMANN, 1988). Darüber hinaus könnte ein ventral angebrachter Fixateur externe weitere therapeutische Maßnahmen wie z.B. eine Laparotomie behindern (WARD et al., 1997). Insbesondere bei Sprengung des hinteren Beckenrings können durch die Anlage einer Beckenzwinge lebensbedrohliche Blutungen durch Kompression und mechanische Reposition bekämpft werden (SADRI et al., 2005; SHAW et al., 1985; SLATIS, KARAHARJU, 1980). Ganz et al. zeigten 1996 bei 10 von 18 hämodynamisch instabilen Patienten mit instabiler Fraktur die hämodynamische Effektivität der Beckenzwinge als Primärstabilisierungsmethode (HEINI et al., 1996).

Probst et al. konnten 2007 darüber hinaus zeigen, dass die frühzeitige Stabilisierung von instabilen blutenden Beckenfrakturen einen positiven Einfluss auf das Überleben der Patienten hat (PROBST et al., 2007).

Ist durch die mechanische Stabilisierung des Beckenrings keine hämodynamische Stabilität zu erreichen, steht als blutstillendes Verfahren zunächst die chirurgisch durchgeführte pelvine extraperitoneale Tamponade zur Verfügung (COTHREN et al., 2007; TOTTERMAN et al., 2007). Eine weitere Möglichkeit der Blutungskontrolle bei arterieller Blutung, welche sich Ende des 20. und Anfang des 21. Jahrhunderts besonders im englischsprachigen Raum ausweitete, ist die interventionelle Notfallembolisation. Hierzu bedient man sich der Daten der im Rahmen der Traumadiagnostik durchgeführten kontrastmittelunterstützten Computertomographie. Anhand von Hämatomen und Kontrastmittelaustritt lassen sich Blutungen mittels sog. Angiographie zuverlässig lokalisieren (PEREIRA et al., 2000; SHERIDAN et al., 2002; YOON et al., 2004).

Die so diagnostizierten Blutungen können nun in Form einer transarteriellen Katheterembolisation (TAE) in minimal-invasiver Technik kontrolliert und gestoppt werden. Die TAE gilt als komplikationsarmes Verfahren mit hoher Erfolgsrate zur Blutungskontrolle (AGOLINI et al., 1997; KIMBRELL et al., 2004; MILLER et al., 2003; PANETTA et al., 1985; PEREZ et al., 1998; WONG et al., 2000). Welches dieser Verfahren wann anzuwenden ist wird weiterhin kontrovers diskutiert.

Trotz modernster Diagnostik, Stabilisierungsmöglichkeiten und Therapiemaßnahmen zur Behandlung eines hämodynamischen Schocks bleibt die Mortalität dieses Krankheitsbildes auch innerhalb der letzten Jahrzehnte hoch (BURKHARDT et al., 2015; BURLEW et al., 2011; POHLEMANN et al., 2011).

2.5.1 Notfallalgorithmus

Die Schockraumversorgung erfolgt nach ATLS® -Standard (STYNER, 2006) unter Anwendung des klinikeigenen Algorithmus. Im Rahmen des “primary surveys” wird nach ABCDE-Schema eine prioritätenorientierte Untersuchung des Patienten durchgeführt, welche sich zunächst auf lebensbedrohliche Verletzungen fokussiert:

- A- Airway (Atemweg)
- B- Breathing (Atmung/Belüftung der Lungen)
- C- Circulation (Blutzirkulation)
- D- Disability (neurologischer Status)
- E- Environment (Exposition, Umfeld)

Hierbei erkennbare Probleme werden der Reihenfolge nach unmittelbar solange angegangen bis sich die Vitalparameter stabilisieren. Währenddessen werden parallel Zugänge gelegt, Blut abgenommen, ein FAST durchgeführt und weitere notwendige Schritte vorbereitet (STYNER, 2006).

Im “secondary survey” erfolgt nun am “stabilen Patienten” eine genauere Befunderhebung, um mögliche Verletzungen aufzudecken. Es schließen sich genaue Anamneseerhebung, eine ausgiebige klinische Untersuchung sowie weiterführende radiologische Diagnostik an (STYNER, 2006).

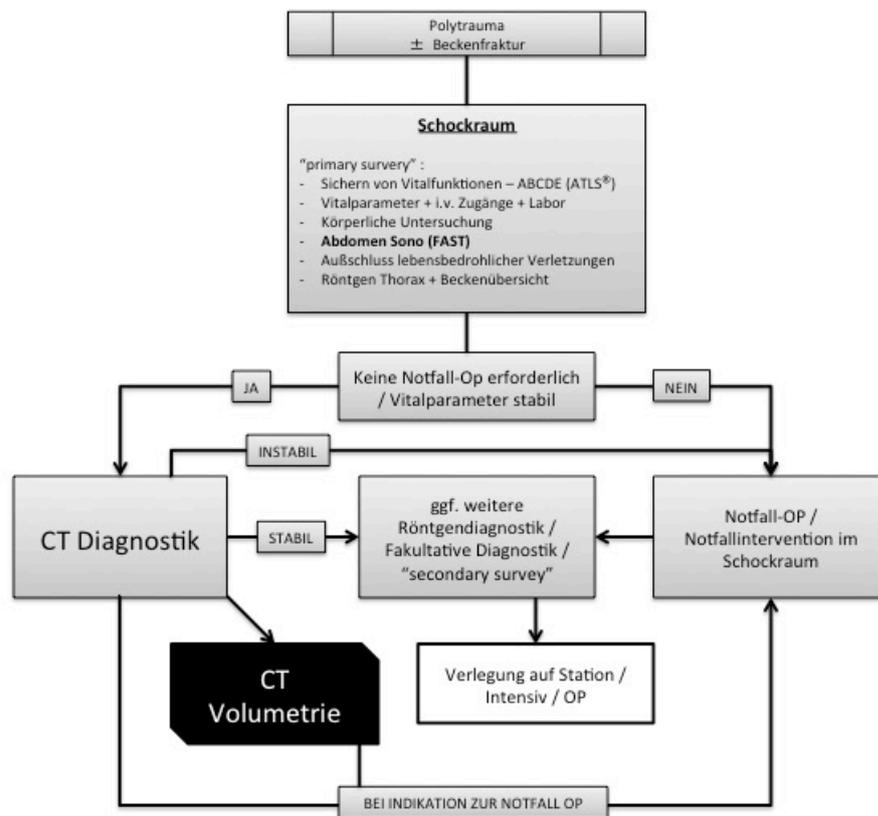


Abb. 7: Diese Abbildung zeigt eine beispielhafte Darstellung von einem Notfallalgorithmus im Rahmes des Polytraumamanagements

2.6 Komplikationen

Das Beckentrauma ist eine Verletzung, welche häufig mit Begleitverletzungen und Komplikationen einhergeht. Durch Verletzung multipler Organe, hohe Blutverluste, Stress- und Kompensationsreaktionen des Körpers, können primär oder sekundär Krankheitsbilder entstehen, welche den gesamten Körper auf eine große Belastungsprobe stellen.

2.6.1 Akutes Respiratorisches Distress Syndrom - ARDS

Ein häufig sekundär in Leidenschaft gezogenes Organ bei Patienten mit komplexen Beckentraumata ist die Lunge. Ashbaugh und Petty legten 1967 mit ihrer Beschreibung der klinischen Symptome, eines nun als Akuten Respiratorischen Distress Syndroms bekannten Krankheitsbildes, die Grundlage für die später folgende und am weitesten verbreitete Definition (ASHBAUGH et al., 1967). Die American European Consensus Conference (AECC) empfahlen (1994) Patienten nach spezifischen Kriterien dem ARDS zuzuordnen, welche (2012) von der European Society of Intensive Care Medicine als die sog. „Berlin Kriterien“ überarbeitet deklariert wurden (siehe Tabelle 9) (BERNARD et al., 1994; FERGUSON et al., 2012).

1	Auftreten innerhalb von einer Woche
2	Beidseitige Infiltrate in Roentgenbild oder CT
3	Respiratorisches Versagen ist nicht erklärt durch Herzversagen oder Hypervolämie
4	Oxygenierung bei einem PEEP von $> 5\text{cm H}_2\text{O}$ $< 300\text{mmHg}$

Tab. 9: Berlin Kriterien des ARDS (FERGUSON et al., 2012)

2.6.2 Sepsis

Eine weitere Komplikationsmöglichkeit ist die sog. Sepsis. Die Sepsis ist eine sehr schwere, potenziell tödliche Erkrankung des gesamten Körpers, ausgelöst durch eine massive Reaktion auf ein Infektionsgeschehen. Sie entsteht, wenn bestimmte chemische Botenstoffe bzw. Transmitter in die Blutbahn freigesetzt werden, um eine bestimmte Infektion zu bekämpfen (BONE, 1991). Um einem tödlichen Ausgang entgegenzuwirken, stehen üblicherweise eine frühe Gabe eines Antibiotikums sowie die intravenöse Flüssigkeitssubstitution im Vordergrund. Bei zusätzlichem Abfall des Blutdrucks spricht man vom sog. „Septischen Schock“. Nicht selten endet das Bild eines Septischen Schocks in einem Multiorganversagen (BONE, 1991; BONE et al., 1992; VINCENT et al., 1996).

2.6.3 Multiorganversagen - MOV

Das Multiorganversagen (MOV oder MODS, „multiple organ dysfunction syndrom“) wird vom TraumaRegister DGU[®] mit dem sog. SOFA-(„sequential-organ-failure-assessment“) Score ermittelt. Wird für mindestens 2 Organe ein Organversagen festgestellt liegt dementsprechend ein MOV vor (FERREIRA et al., 2001; VINCENT et al., 1996).

2.6.4 Koagulopathie

Eine weitere zu benennende Komplikation, welcher häufig multifaktorielle Ursachen zu Grunde liegen, ist die Gerinnungsstörung. So können Verbrauchskoagulopathien aber auch thrombotische Verschlüsse im Sinne von tiefen Beinvenenthrombosen (TVT) entstehen und zu weiterführenden Komplikationen wie massiven, nur schwer zu kontrollierenden Blutungen oder auch Lungenembolien führen (SPAHN et al., 2013). Laut Literatur erreichen ein Drittel aller Traumapatienten den Schockraum eines Traumazentrums mit einer Gerinnungsstörung (MAEGELE et al., 2007; PEINIGER, MAEGELE, 2012; WAYDHAS, GORLINGER, 2009).

2.7 Fragestellung und Ziel der Untersuchung

Die Abschätzung des Blutverlustes bei Beckenfrakturen ist - wie bereits beschrieben - ein wichtiger Eckpfeiler in der Planung des weiteren Therapiekonzeptes. Indirekte Hinweise auf pelvine bzw. intraabdominelle Blutungen stützen sich auf Labor- und Messparameter, welche sich in der Anfangsphase aufgrund von Kompensationsmechanismen des menschlichen Körpers zunächst als unauffällig darstellen können.

Die im Rahmen der Schockraumdiagnostik durchgeführte Computertomographie bietet die Möglichkeit, auch diese „verdeckten“ Blutungen zu visualisieren und mittels CT-Volumetrie die Blutungsmenge zu quantifizieren.

Ziel dieser wissenschaftlichen Studie war es mithilfe der der CT-Volumetrie bei hämodynamisch stabilen Patienten mit Becken C Fraktur die Blutungsmenge zu quantifizieren und auf eine mögliche Korrelation mit dem Frakturtyp nach AO/OTA zu überprüfen. Somit könnte ein im Schockraum angefertigtes a.p. Röntgenbild vom Becken anhand der Frakturklassifikation bereits vor einer eventuellen CT-Diagnostik wertvolle Hinweise auf den potenziellen Blutverlust des Patienten geben.

Bei der Untersuchung wurden folgende Fragestellungen analysiert:

1. Gibt es eine Korrelation des Frakturtyps einer Becken C Fraktur nach AO/OTA mit dem intrapelvinen Blutverlust?
2. Eignet sich die CT-Volumetrie zur Bestimmung des Blutverlustes in der Akutversorgung polytraumatisierter Patienten mit Becken C Fraktur?

3 Material und Methoden

Nach Selektierung des Patientenguts wurden die CT-Datensätze der in die Studie inkludierten Patienten mit Hilfe des DICOM Viewers OsiriX® untersucht. Mit dem Verfahren der CT-Volumetrie wurden anschließend die verschiedenen Volumina berechnet, welche den intrapelvinen Flüssigkeitsverlusten entsprachen.

Zur Bestimmung der Intraobserver-Variabilität, Evaluation der gesamten Messdauer, der Messdauer pro ROI, Dauer der Datenübertragung in Excel sowie Berechnungen der Volumina wurden 3 zufällig ausgewählte CT-Datensätze (jeweils ein CT pro Gruppe C1 - C3), deren Volumenwert ungleich null waren, in einer zweiten Messung unter gleichen Bedingungen wiederholt und ausgewertet.

3.1 Patientengut / Aktenrecherche

Die kontinuierliche, prospektive Eingabe von Patientendaten Schwerstverletzter in das Traumaregisters der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU®) bildet die Grundlage der hier ausgewerteten Patienten. Im Zeitraum zwischen 2007 und 2011 wurden für die Universitätsklinik Homburg 126 Patienten mit einer Beckenfraktur Typ C registriert. Es folgte zunächst die Recherche der primären Akten mit anschließender Auswertung der CT-Datensätze. Aufnahmekriterien für diese Studie waren ein Alter über 18 Jahre, Primärversorgung an der Universitätsklinik Homburg, AO/OTA Typ C Beckenringverletzung sowie die vollständige CT-Diagnostik innerhalb 2 Stunden nach Trauma.

Ausschlusskriterien waren Patienten über 75 Jahre, vorbekannte Gerinnungsstörungen und Erkrankungen, welche den Knochenmetabolismus beeinflussen. Von 126 registrierten Patienten erfüllten 42 Patienten die vorgenannten Kriterien. Alle Patienten waren hämodynamisch stabil und erhielten ein Polytrauma-CT-Scan mit Applikation von intravenösem Kontrastmittel innerhalb der ersten 2 Stunden nach dem Unfallereignis. Die Patienten wurden anhand ihres Frakturtyps (nach AO/OTA) in 3 Gruppen (C1 bis C3) aufgeteilt.

Nach Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien (Mehrfachnennung möglich) disqualifizierten sich 39 Patienten durch ihr Alter (29 Patienten überschritten die Altersgrenze, 10 Patienten hatten das 18 Lebensjahr noch nicht erreicht), 16 Patienten wurden zuverlegt, 26 Patienten hatten einen unzureichenden oder nicht auswertbaren Datensatz, 5 Patienten disqualifizierten sich durch Vorerkrankungen und bei einem Patienten wurde die Fraktur falsch klassifiziert.

Zur Bestimmung der erhobenen Parameter wurden die archivierten Akten der inkludierten Patienten studiert und ausgewertet. Ausgewertet wurden hierbei:

- Alter, Geschlecht, Nebenerkrankungen
- Fraktur Klassifikation AO/OTA
- Unfallursachen
- Begleitverletzungen + Verletzungsschwere nach ISS
- Hämoglobinwert bei Eintreffen im Schockraum
- Zeit von Unfalluhrzeit bis zur Durchführung CT
- Primäres OP Verfahren am Tag des Unfalls
- Letalität

3.2 CT Datensätze

Zur Auswertung standen Spiral-CT Datensätze der inkludierten Patienten zur Verfügung mit 5 mm Schichtdicke (Brilliance 64 Slice scanner; Philips Healthcare; Hamburg; 1mm Schichtdicke) bei zusätzlich durchgeführter intravenöser Kontrastmittelapplikation (Imeron 400, Bracco Imaging; Konstanz).

3.3 Manuelle CT-Volumetrie

Unter Verwendung des DICOM Viewers OsiriX® (Version 5.8; Pixmea; Genf, Schweiz) wurde mittels manueller CT-Volumetrie die Berechnung der Blutungsmenge durchgeführt. Hierbei wurden in den einzelnen Schnittbildern der portalvenösen CT-Phase unter Zuhilfenahme eines Markierungs-Tools die Kontur der einzelnen Flüssigkeitsansammlungen umfahren und als Region Of Interest (ROI, cm²) markiert (Abb. 8). Als Eingabeinstrument zum Umfahren der Konturen wurde ein elektromagnetisches Stifttablet (Wacom CTH-460-DE Bamboo Pen & Touch) verwendet.

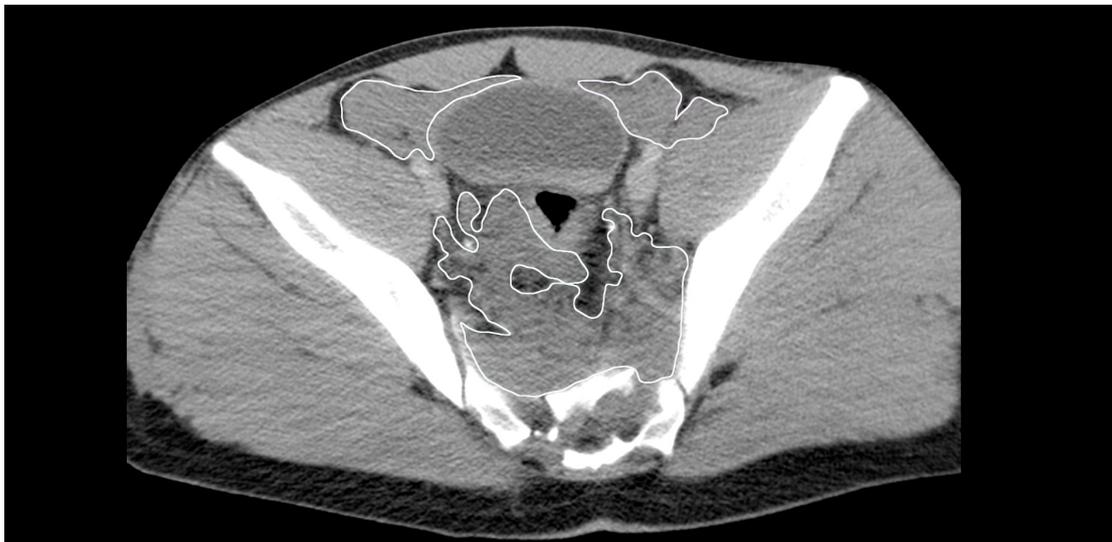


Abb. 8) Diese Abbildung zeigt die Einzeichnung von drei ROIs hier mit weißer Grenzmarkierung. Ebenfalls deutlich zu sehen die Trümmerzone des Os sacrum sowie die unregelmäßige Konturierung der Blutungsareale.

Das finale Volumen (V_{Gesamt}) resultierte aus Multiplikation der einzelnen ROIs mit der jeweiligen Schichtdicke des CT-Datensatzes (5 mm) und darauf folgender Addition der resultierenden Volumina (V_1 bis V_n).

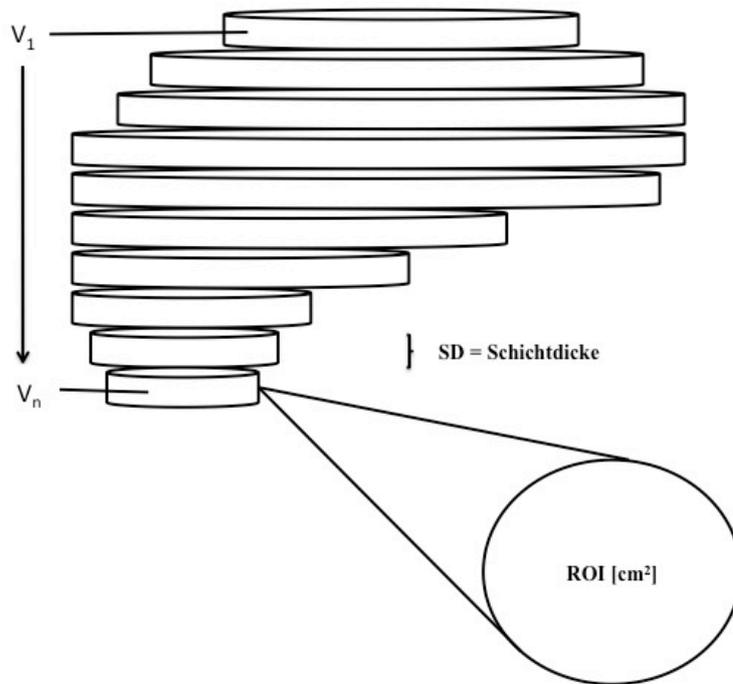


Abb. 9: Schematische Darstellung der Volumenberechnung $V_x = ROI \times SD$

$$V_{\text{Gesamt}} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

Zur Berechnung einer intramuskulären Blutung (ROID/im) wurden jeweils eine ROI/imA des betroffenen Muskels sowie eine ROI/imB des unveränderten kontralateralen Muskels erstellt und subtrahiert ($\text{ROI/imA} - \text{ROI/imB}$). Das hierbei ermittelte Volumen wurde als intramuskulärer Flüssigkeitsverlust definiert.

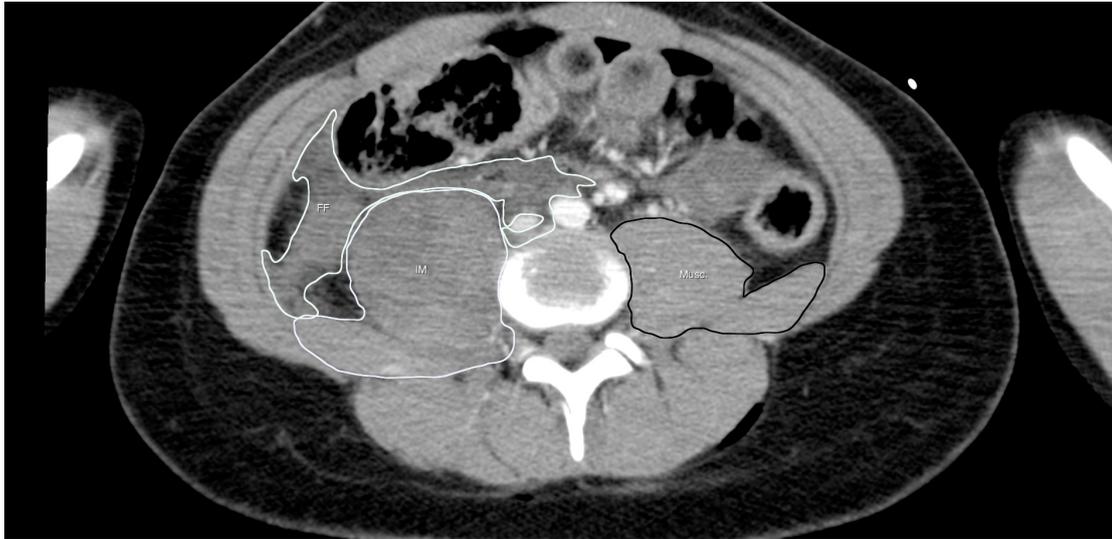


Abb. 10: Diese Abbildung demonstriert die *Ermittlung verschiedener ROIs* ;
FF = freie Flüssigkeit; IM = intramuskuläre Blutung im Musc. Iliopsoas;
Musc. = kontralateraler Muskelpartner des Musc. Iliopsoas

Die Benutzung der Software OsiriX® sowie die anschließende Erfassung der ROIs wurde zunächst mit Hilfe eines erfahrenen Radiologen der Universitätsklinik Homburg (OA Dr. med. Alexander Maßmann) erlernt. Unklare Blutungsareale sowie Besonderheiten wurden im Verlauf der Auswertung gesondert besprochen. Das Erstellen der ROIs sowie die Berechnung der Blutungsvolumina mit anschließender Korrelationsauswertung erfolgte durch Christoph Lahr.

3.4 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten sowie die berechneten Flächen (ROIs) je Schnittbild wurden in Microsoft Excel (ME for Mac 2011) eingetragen und das Volumen nach zuvor beschriebener Methode berechnet. Anschließend wurden Mittelwerte, Standardabweichungen (SD) und Quartile berechnet. Die statistische Auswertung erfolgte mittels SigmaPlot[®] unter Zuhilfenahme der ANOVA one-way Analyse. Weiter kamen der Kruskal-Wallis-Test sowie die Dunn's-Methode zum Einsatz. Die Intra-Klassen-Korrelation zur Bestimmung des Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) erfolgte unter IBM[®] SPSS[®] Statistics (Version 24 for Mac). Der ICC ist ein Maß der Beobachterübereinstimmung. Er kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen und entsprechend üblicher Korrelationskoeffizienten interpretiert werden. Das heißt, je höher der positive Wert desto besser die Übereinstimmung. Somit entspricht der Wert 1 einer perfekten Übereinstimmung. Das Signifikanzniveau wurde für alle Vergleiche auf $p < 0,05$ festgelegt.

Die Erstellung der Grafiken erfolgte mit Hilfe von Microsoft Excel (ME for Mac 2011) sowie Graph Pad Prism (Version 6.0; GraphPad Software Inc.; La Jolla CA; USA).

4 Ergebnisse

4.1 Patientenkollektiv

In dem Zeitraum von 2007 bis 2011 wurden im DGU[®] Traumaregister 126 Patienten mit Becken C Fraktur für die Universitätsklinik Homburg registriert. Davon konnten 42 Patienten in diese Studie eingeschlossen werden.

4.1.1 Geschlecht und Alter

40% (17/42) der Patienten waren weiblichen, 60% (25/42) waren männlichen Geschlechts (Abb. 11).

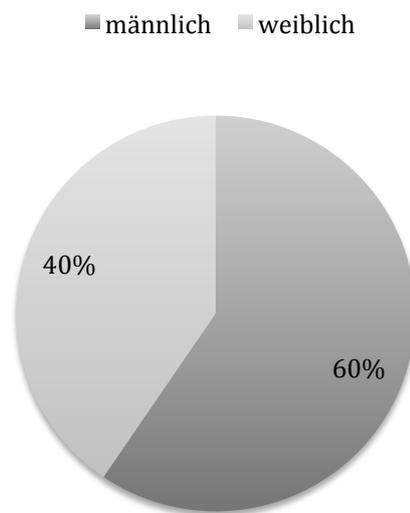


Abb. 11: Geschlechterverteilung bei Becken C Fraktur

Das Durchschnittsalter am Tag des Unfallereignisses lag bei 46,76 Jahren. Der jüngste Patient war 18 Jahre alt, der älteste Patient hatte ein Alter von 75 Jahren. Im Rahmen der Altersverteilung zeigte sich eine Zweigipfelhäufigkeit zwischen dem 18. und 30. Lebensjahr sowie dem 50. und 60. Lebensjahr (Abb. 12).

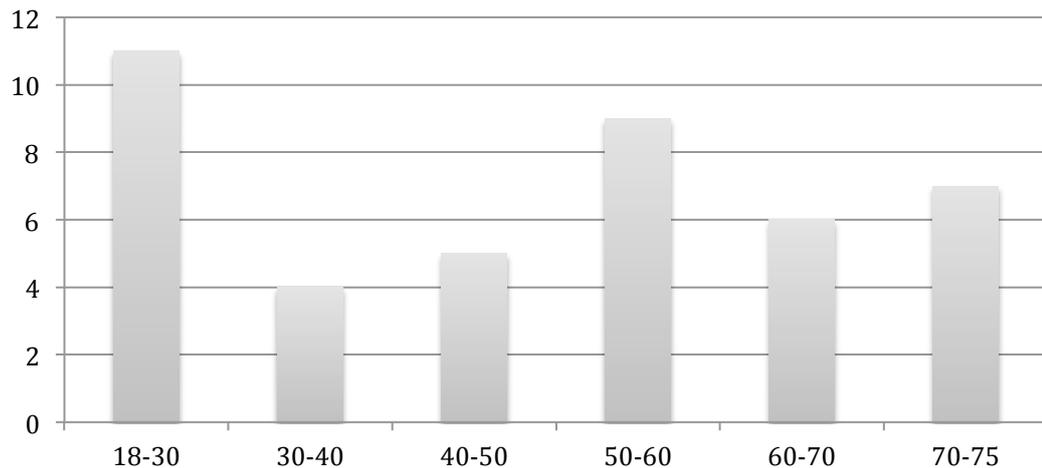


Abb. 12: Altersverteilung bei Becken C Frakturen

4.1.2 Unfallmechanismus

Als Hauptursache der Beckenfraktur in diesem Patientenkollektiv zeigten sich bei 43% (18/42) der Patienten die Verwicklung in einen Verkehrsunfall. Acht der Patienten saßen hierbei in einem Auto, fünf auf einem Motorrad und weitere fünf Patienten wurden als Passant von einem Auto erfasst. 33% (14/42) der Patienten erlitten einen Sturz aus einer Höhe von über drei Metern. Bei drei Patienten reichte bereits ein Sturz aus weniger als drei Metern aus, um den Beckenknochen im Sinne einer Typ C Verletzung zu brechen. Fünf Patienten erlitten ein Überroll- bzw. Quetschungstrauma, ein Patient warf sich in suizidaler Absicht vor einen Zug und ein weiterer Patient stürzte beim Fahrradfahren.

4.1.3 Begleitverletzungen

Bei den Begleitverletzungen zeigte sich die Verletzung des Thorax mit 19 Fällen (45,24% der Patienten) als die häufigste Verletzungsart. Neben Rippenserienfrakturen waren Lungenkontusionen hier die am meisten gestellte Diagnose. Bei 38,09% lag eine komplexe Beckenringfraktur vor. Ossäre Verletzungen der Wirbelsäule traten bei fünfzehn Patienten (35,71%) auf. Querfortsatzfrakturen des 4. und 5. Lendenwirbelkörpers als Hinweis auf eine Beckenbeteiligung zeigten sich bei acht Patienten (19,05%). Somit lag bei circa der Hälfte (53,33%) der Patienten mit ossärer Wirbelsäulenläsion das sog. "indirekte" Zeichen einer Beckenfraktur vor. Eine offene Fraktur wurde bei vier Patienten (9,52%) diagnostiziert. Eine Plexusläsion lag zweimal (4,76%) vor. Eine der Plexusläsionen wurde als postoperativer Dehnungsschaden gewertet. In drei Fällen (7,14%) lag eine Verletzung der Milz vor. Zwei Patienten hatten eine Leberläsion. Eine Verletzung des Gastrointestinaltrakts wurde einmal dokumentiert. Die Vagina wurde ebenfalls einmal verletzt. Ein retroperitoneales Hämatom lag dreimal vor. Bei einem Patienten wurde an der A. pudenda eine arterielle Verletzung festgestellt.

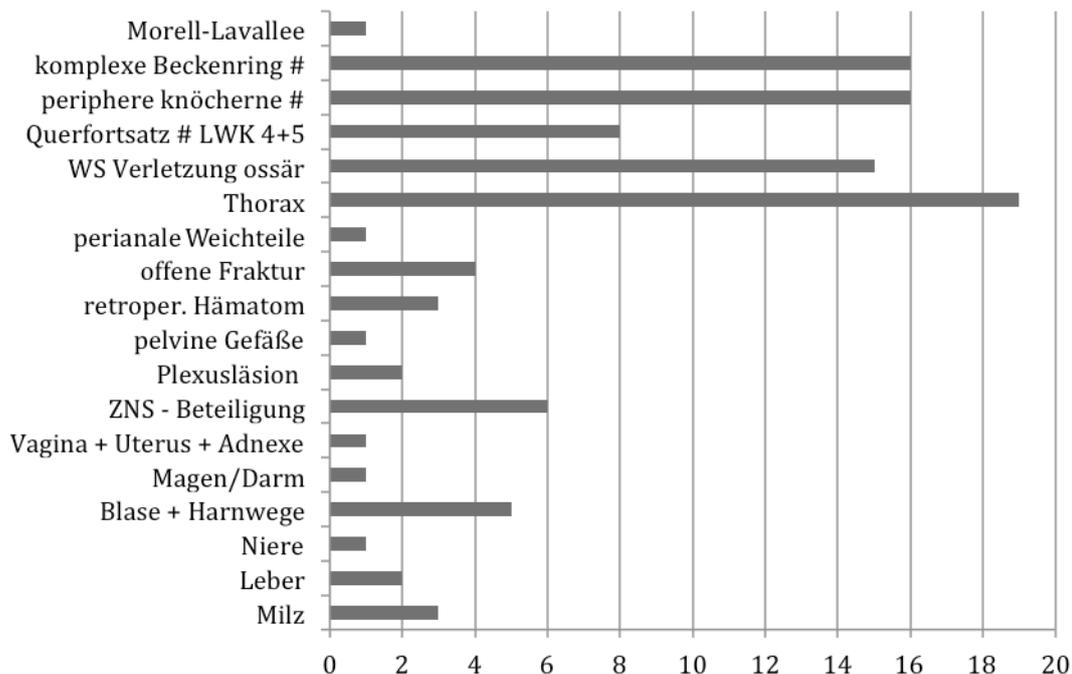


Abb. 13: Anzahl der Begleitverletzungen bei 42 Patienten mit Becken C Fraktur (Mehrfachnennung möglich) ; Das Symbol "#" steht hierbei für : "Fraktur"

4.1.4 Frakturklassifikation (AO/OTA)

Bei der Aufschlüsselung der Becken-C-Frakturen zeigten sich 69,05% (29/42) C1-Frakturen, 9,52% (4/42) C2-Frakturen und 21,43% (9/42) Patienten wiesen eine C3-Fraktur auf (Abb. 15).

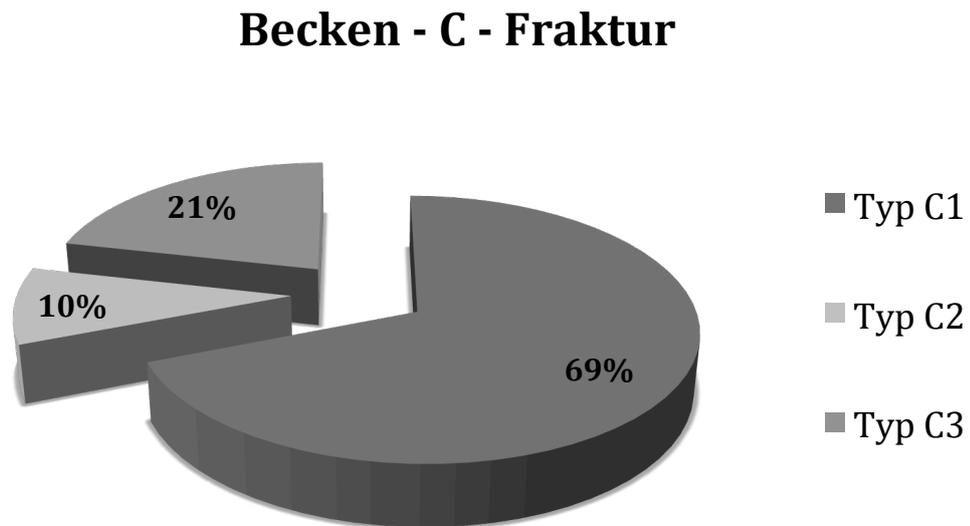


Abb. 14: Häufigkeiten der Subtypen einer Becken C Fraktur

4.1.5 Ergebnisse der Hämoglobin- und Blutdruckwerte sowie ISS

Der durchschnittliche gemessene Hämoglobin-Wert bei Aufnahme betrug $11,03 \text{ g/dl} \pm 4,40$ ($11.3 \text{ g/dl} \pm 2.4$; $11.2 \text{ g/dl} \pm 1.5$; $10.1 \text{ g/dl} \pm 2.3$; $p > 0.43$). Im Vergleich dazu hatten im Verlauf verstorbene Patienten bei Einlieferung einen Hb-Wert von durchschnittlich $8,3 \text{ g/dl} \pm 1,90$.

Der systolische Blutdruck bei den Gruppen C1 bis C3 lag bei $115.8 \text{ mmHg} \pm 28.8$; $102.5 \text{ mmHg} \pm 23.6$; $91 \text{ mmHg} \pm 13.4$; $p > 0.19$. Weder Blutdruck- noch Hämoglobinwerte zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen C1 - C3.

Der durchschnittliche ISS betrug $28,88$ (27.3 ± 10.4 ; 32.0 ± 6.5 ; 32.6 ± 10.8 ; $p > 0.28$). Vier Patienten wiesen einen ISS > 45 auf. 14 Patienten hatten einen ISS zwischen 30 und 45 und 23 Patienten einen ISS zwischen 16 und 30. Der höchste ISS-Wert lag bei 50, der niedrigste bei 16. Der durchschnittliche ISS-Wert der verstorbenen Patienten lag bei $42,4$.

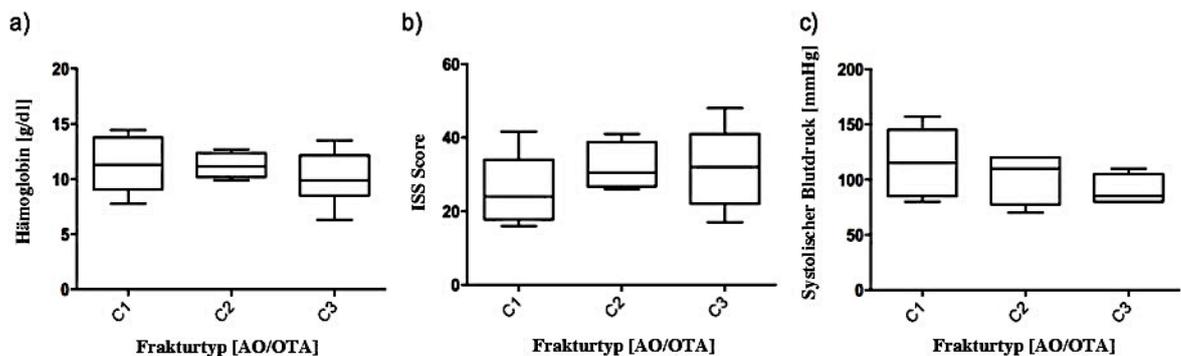


Abb. 15: Hämoglobinwerte, ISS Score und Blutdruckwerte bei Beckenfrakturen AO/OTA C1 bis C3. Die Boxen rahmen die Werte zwischen erster und dritter Quartile ein. Die Whisker zeigen Minimum- und Maximumwerte. Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede.

4.1.6 Primärtherapie

28 Patienten (66,67%) erhielten am Unfalltag einen supraacetabulären Fixateur externe. In sieben dieser Fälle (16,67%) wurde zusätzlich eine dorsale Beckenzwinge angelegt. Eine Schraubenosteosynthese des Iliosakral-Gelenks erhielten vier Patienten (9,52%). Neunmal wurde eine Beckentamponade durchgeführt. Eine primäre Plattenosteosynthese konnte dreimal als Primärtherapie angewandt werden.

4.1.7 Letalität

Die Letalität in dieser Studie betrug 11,90% (5/42). Das Durchschnittsalter der Verstorbenen lag bei 49 Jahren. Die beiden ältesten hatten ein Alter von 70 Jahren, der jüngste verstorbene Patient war 22 Jahre alt. Viermal war ein Verkehrsunfall die Unfallursache, ein Patient stürzte aus circa 8 Metern Höhe.

4.2 Ergebnisse der CT-Volumetrie

Das durchschnittlich gemessene Gesamtvolumen des intrapelvinen Flüssigkeitsverlustes betrug $476\text{ml} \pm 535$ für C1 Frakturen. C2 Frakturen zeigten einen gesamten Flüssigkeitsverlust von $931\text{ml} \pm 1137$. Bei C3 Frakturen trat mit $1005\text{ml} \pm 649$ durchschnittlich der größte intrapelvine Volumenverlust auf. Der Unterschied zwischen C1 und C3 Frakturen ist als signifikant anzusehen ($p < 0,05$).

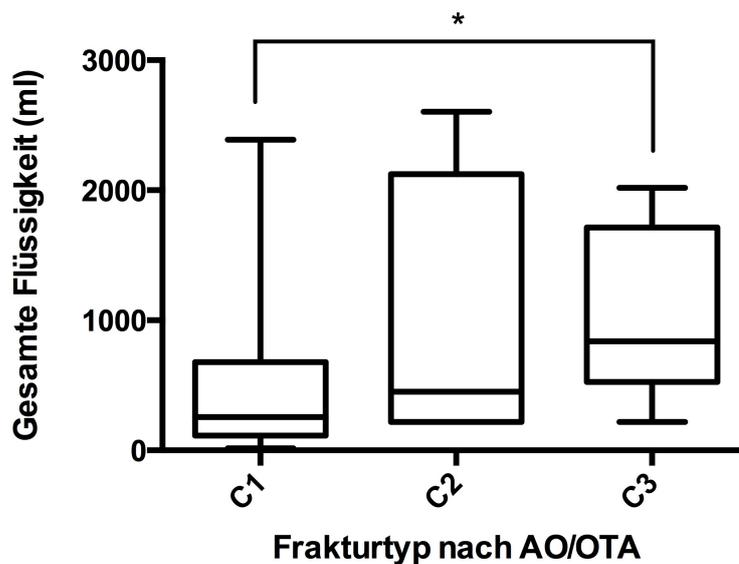


Abb. 16: Darstellung der ermittelten Gesamtvolumina bei C1, C2 und C3 Frakturen
* $p < 0,05$

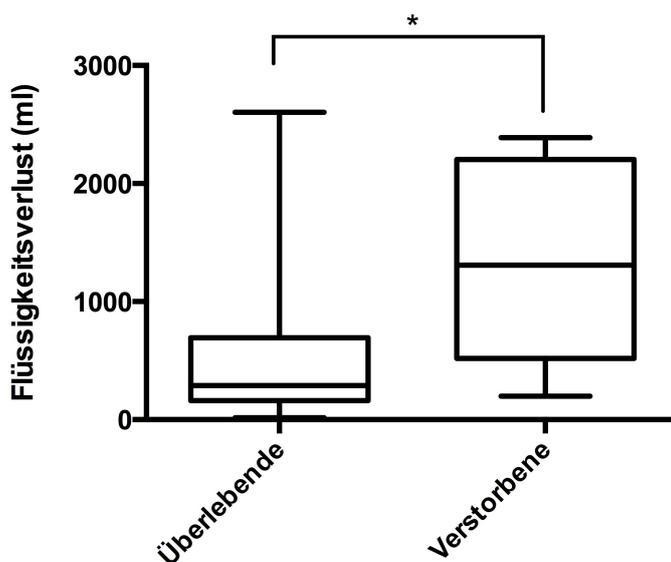


Abb. 17: Flüssigkeitsverlust überlebender Patienten sowie verstorbener Patienten mit signifikantem Unterschied ($535,4\text{ ml} \pm 565,9$ vs. $1351\text{ ml} \pm 882,7$; * $p < 0,05$)

4.2.1 Flüssigkeitsansammlung intramuskulär

Für intramuskuläre Flüssigkeitsansammlungen ergaben sich durchschnittlich $51\text{ml} \pm 55$ bei C1, $77\text{ml} \pm 81$ bei C2 und $117\text{ml} \pm 133$ bei C3 Frakturen. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt werden.

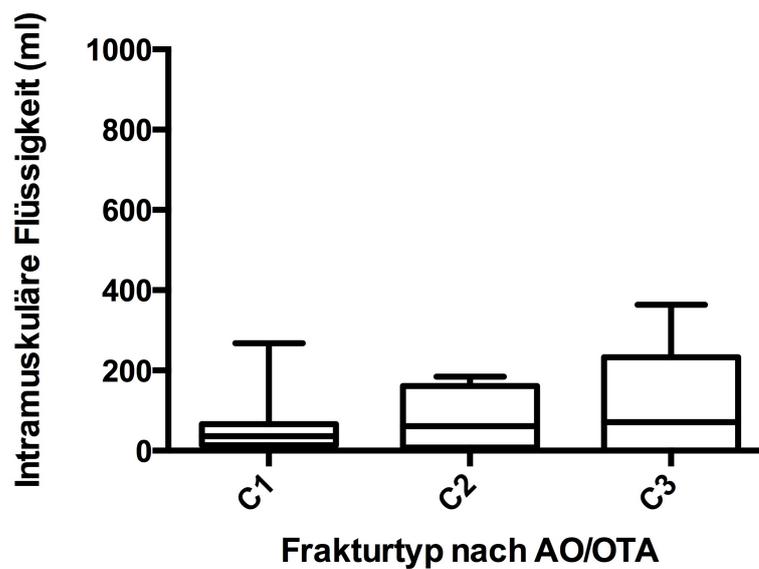


Abb. 18: Darstellung der ermittelten intramuskulären Flüssigkeitsansammlungen bei C1, C2 und C3 Frakturen

4.2.2 Freie Flüssigkeit

Für die Menge der intrapelvinen freien Flüssigkeit wurden durchschnittlich $418\text{ml} \pm 502$ für C1, $854\text{ml} \pm 1198$ für C2 und $888\text{ml} \pm 663$ für C3 Frakturen ermittelt. Der Unterschied zwischen C1 und C3 Frakturen ist als signifikant anzusehen ($p < 0,05$).

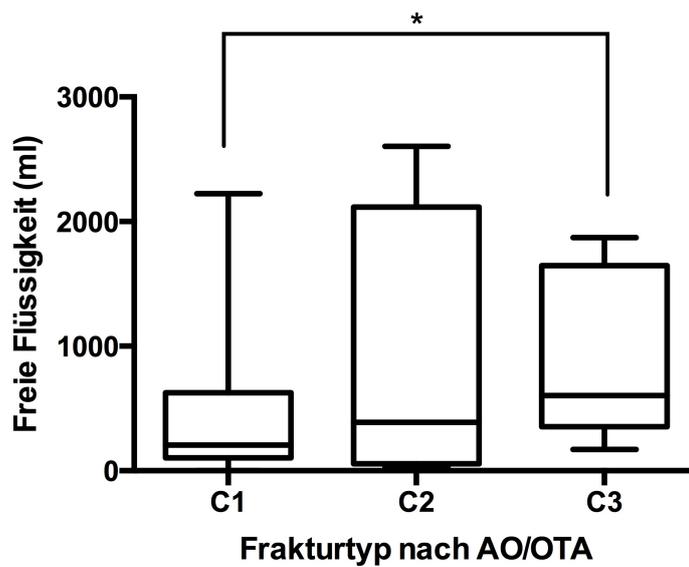


Abb. 19: Darstellung der ermittelten freien Flüssigkeit bei C1, C2 und C3 Frakturen
* $p < 0,05$

4.3 Bearbeitungszeit und ICC (Intraklassen-Korrelationskoeffizient)

Die durchschnittliche Bearbeitungszeit der Grenzmarkierungen pro CT-Datensatz betrug $44,33 \pm 9,5$ Minuten. Für das Eintragen der Messwerte in eine Excel Tabelle sowie zur Errechnung der verschiedenen Volumina wurden durchschnittlich $24,33 \pm 3,5$ Minuten pro CT benötigt. Somit konnten die Gesamtvolumina pro CT-Datensatz innerhalb von $68,67 \pm 12,5$ Minuten ermittelt werden. Im Schnitt wurden 139 ROIs pro CT ermittelt und die Bearbeitungszeit pro ROI lag bei $0,32 \pm 0,0275$ Minuten.

Der ermittelte ICC zwischen den Ergebnissen der ersten Messung (Messung 1) sowie der Wiederholungsmessung (Messung 2) lag bei 0,997. Tabelle 10 demonstriert die Messergebnisse der Messwiederholungen.

	Messung 1 (ml)	Messung 2 (ml)	Zeit - Volumetrie (min)	Zeit Excel + Berechnung (min)	Zeit gesamt (min)	Anzahl ROIs	Zeit-Volumetrie / ROI (min)
Patient 1	126	120	35	20	55	111	0,315
Patient 2	326	359	54	26	80	156	0,346
Patient 3	630	593	44	27	71	151	0,291

Tab. 10: Messwiederholung und Bearbeitungszeit

4.4 Korrelation der Blutungsmenge mit zeitlichem Verlauf

Betrachtet man das Zeitfenster zwischen Eingang des Notrufs und der Durchführung der CT-Diagnostik so zeigt sich, dass bei diesem Patientenkollektiv die Schnittbild-Diagnostik 87 ± 30 Minuten nach Notrufeingang erfolgte. Patienten mit einem Blutverlust von über 1 Liter erhielten ihre CT-Diagnostik nach 67 ± 22 Minuten, während die Durchführung bei Patienten mit Blutverlusten von weniger als 1 Liter im Durchschnitt 15 Minuten später erfolgte. Es zeigte sich keine Korrelation von Blutungszeit und ermitteltem Flüssigkeitsverlust.

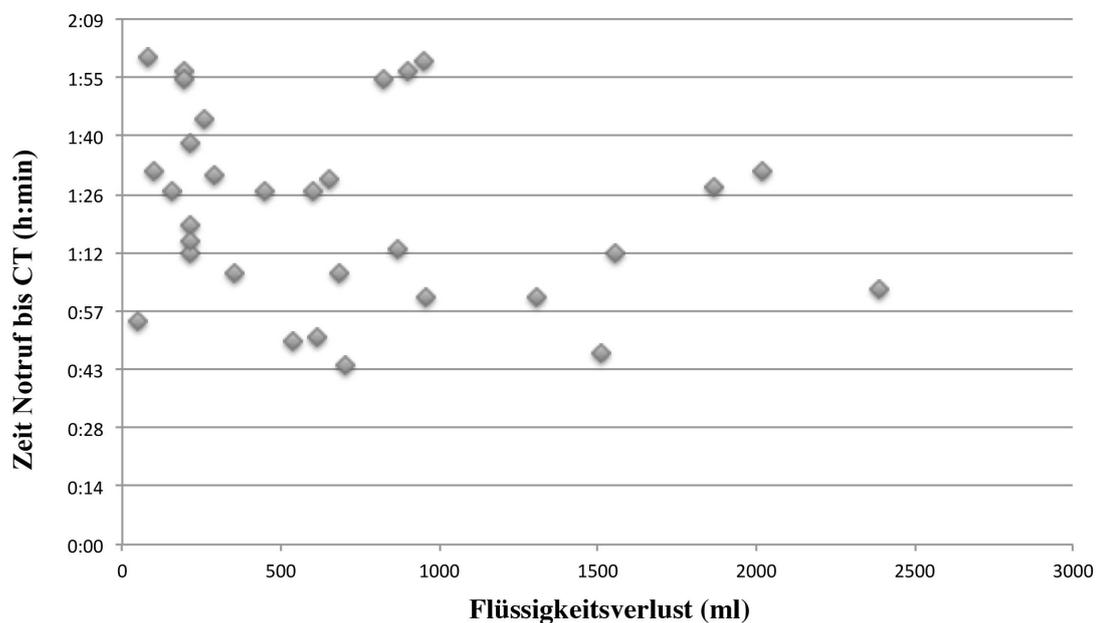


Abb. 20: Zeitpunkt der CT-Diagnostik nach Notrufeingang bei entsprechendem Flüssigkeitsverlust

5 Diskussion

Die fortschreitende Motorisierung in unserer Gesellschaft zieht eine Zunahme von Hochrasanztraumata nach sich. Es ist davon auszugehen, dass im gleichen Zuge die Inzidenz polytraumatisierter Patienten mit potenziell instabilen Becken- und inneren Verletzungen steigt.

Trotz relativ geringer Inzidenz gebührt der Beckenfraktur insbesondere aufgrund der hohen Mortalität ein besonderes Interesse im Rahmen der Versorgung polytraumatisierter Patienten. Von prognostischer Relevanz sind hierbei zum einen der Grad der Instabilität und zum anderen das Ausmaß der Blutung (CULEMANN et al., 2004; ERTEL et al., 2001; GILLILAND et al., 1982). Blutungen sind zugleich die häufigste Ursache eines nicht ZNS-bedingten Todes bei Beckenfrakturen (GILLILAND et al., 1982; MUCHA, FARNELL, 1984; ROTHENBERGER et al., 1978b). Versuche, die Hauptblutungsquellen zu lokalisieren, erweisen sich als sehr schwierig und Vergleiche aus publizierter Literatur ergeben nur wenig aussagekräftige Daten (DENCK et al., 1975; EVERS et al., 1989; KAM et al., 1981; MAGNUSSEN et al., 2007; SPAHN et al., 2007; WOLINSKY, 1997). Insbesondere Verletzungen pelviner Gefäße bei noch hämodynamisch kompensierten Patienten können zunächst unerkannt bleiben und bergen das Risiko verschiedener Komplikationen bis hin zum Verblutungstod. Ein einheitliches Konzept zur möglichst genauen Quantifizierung des pelvinen Blutverlustes bei polytraumatisierten Patienten mit oder ohne Beckenfrakturen existiert bislang nicht. Eine Risikostratifizierung scheint in Anbetracht der potenziellen Risiken sinnvoll.

Ein Verfahren zur raschen Quantifizierung der Blutungsmenge sowie die Korrelation des Frakturtyps mit der zu erwartenden Blutungsmenge könnte zum einen die Möglichkeit zeitgerecht und zielgerichtet therapeutisch einzugreifen optimieren, zum anderen den Frakturtyp zur Liste prognostisch relevanter Risikofaktoren hinzufügen.

5.1 Diskussion der Methodik

Wie bereits beschrieben fand das Verfahren der CT-Volumetrie bislang hauptsächlich in der Volumenmessung von Organen Verwendung (BREIMAN et al., 1982; URATA et al., 1995). Zudem ist es ein immer häufiger verwendetes Verfahren insbesondere als bildgebende Methode zur Bestimmung der Tumorgroße im Vergleich zum Restbestand der Leber bei Patienten mit Lebertumoren (GE et al., 2014; LIM et al., 2014). Bereits 1979 stellte Heymsfield einen Versuch eines mit Wasser gefüllten Ballons vor, bei welchem er mit Hilfe der CT-Volumetrie mit einer Abweichung von $\pm 3\%$ das tatsächliche Volumen ermitteln konnte (HEYMSFIELD et al., 1979). Auch Lundqvist et al. demonstrierten 2012 in ihrer Studie bei Patienten nach Pankreastransplantation die Verlässlichkeit sowie Reproduzierbarkeit der Ergebnisse einer durchgeführten CT-Volumetrie zur Volumenbestimmung des transplantierten Organs. Sie kamen zu dem Schluss, dass dieses Verfahren bei hoher "Intra- und Inter-Beobachter Genauigkeit" ein verlässliches Verfahren zur Volumenberechnung darstellt (LUNDQVIST et al., 2012). Angewandt an CT-Datensätzen polytraumatisierter Patienten, welche im Rahmen der Schockraumdiagnostik ein sog. Crash-CT erhielten, ermöglicht die CT-Volumetrie die Quantifizierung des pelvinen Blutverlustes. Blackmore et al. bestätigten mit ihrer Studie die Hypothese, dass die Evaluation pelviner Hämatome mittels CT-Volumetrie bei Patienten mit Beckenfraktur hilft, frakturbedingten Blutverlust, Transfusionsbedarf und die Notwendigkeit einer Angiographie sowie einer TAE zu prognostizieren (BLACKMORE et al., 2003).

Um in dieser Studie Resultate mit geringer Anfälligkeit für Störfaktoren zu gewährleisten, wurden die beschriebenen Einschluss- und Ausschlusskriterien verwendet. Somit wurden primär Patienten mit erhöhter Frakturwahrscheinlichkeit sowie Patienten mit verändertem Gerinnungsverhalten ausgeschlossen und eine Vergleichbarkeit der CT-Datensätze ermöglicht. Zur Verifizierung der gemessenen Blutungsareale wurden alle CT-Datensätze mit einem Facharzt für Radiologie der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie Homburg/Saar (AM) besprochen und die zu messenden Blutungsareale identifiziert.

Van der Vorst et al. ermittelten 2010 in ihrer Studie keinen signifikanten Unterschied zwischen der Volumenberechnung von angehenden Medizinstudenten im letzten Jahr ihrer Ausbildung, welche mittels OsiriX® aus CT-Datensätzen das Lebervolumen bestimmten, und radiologischen Fachärzten, welche die gleiche Volumetrie mittels kommerzieller Software (Aquarius iNtuition® Software) durchführten (VAN DER VORST et al., 2010). Lim et al. zeigten zudem, dass präoperative Messungen mit der in dieser Studie verwendeten Software OsiriX® sehr gut mit intraoperativ ermittelten Volumina korrelieren (LIM et al., 2014).

Als weitere Qualitätssicherung wurde im Rahmen von Nachmessungen der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC - Intra-Class-Correlation) bestimmt. Hierzu wurden erneut jeweils ein zufällig ausgewählter CT-Datensatz pro Gruppe (C1 - C3), dessen Volumenwert ungleich 0 war, nachgemessen, um anschließend den Grad der Übereinstimmung zu evaluieren. Der hier ermittelte ICC = 0.997 entspricht einer sehr guten Übereinstimmung der Original- mit den Kontrollmessungen. Dies spricht für die hohe Präzision und einfache Wiederholbarkeit der Methode. Systemische Fehler werden bei diesem Maß jedoch nicht berücksichtigt und unterliegen hauptsächlich der Genauigkeit des Untersuchers sowie der angewandten Methode.

Die Genauigkeit der Messergebnisse ist von verschiedenen Faktoren abhängig:

(1) Erkennen der Blutungsgrenzen, (2) die anwenderabhängige Genauigkeit der manuellen Grenzmarkierung, (3) atem- und bewegungsabhängige Verschiebung intraabdomineller Strukturen und Flüssigkeiten während der CT-Diagnostik (KUHNS et al., 1979).

Insbesondere die Berechnung intramuskulärer Blutungen gestaltet sich in dieser Studie schwierig, da sich hier in den meisten Fällen keine direkten Grenzmarkierungsmöglichkeiten bieten. Um diese Volumina nicht zu vernachlässigen, wurden die Areale aus der Subtraktion der Fläche des nicht involvierten, kontralateralen Muskels von der Fläche des eingebluteten Muskels berechnet. Bei dieser Methode lassen zum einen jedoch physiologische Unterschiede beidseitig auftretender Muskelpaare Raum für Fehlinterpretationen des im Anschluss berechneten Volumens, zum anderen lässt sich bei beidseitiger Einblutung aufgrund fehlender Abgrenzungsmöglichkeiten nur eingeschränkt eine Aussage über den tatsächlichen Blutungsanteil der berechneten Flächen treffen. Bei dem ersten Phänomen ist davon auszugehen, dass dies im intrapelvinen Bereich, hauptsächlich den M. iliopsoas betreffend, nur geringfügige Volumenunterschiede verursacht. Bei letztgenanntem zeigte sich in dieser Studie die Fallzahl einer beidseitig auftretenden intramuskulären Blutung innerhalb eines Muskelpaares gleich 0. Tritt eine beidseitige intramuskuläre Blutung in einem Muskelpaar auf sollte dies jedoch mitberücksichtigt werden.

Darüberhinaus stellen die meist unregelmäßig konturierten freien Flüssigkeitsareale den Untersucher vor eine äußerst zeitintensive und mühsame Aufgabe. Um dennoch den Konturen der Blutungsareale so präzise wie möglich zu folgen und Areale wie Blutgefäße, Organe sowie Knochensplitter zu exkludieren, wurde ein elektromagnetisches Stifttablet als Eingabegerät verwendet. Durch das Führen des Stiftes entlang der Blutungsgrenzen wird mit hoher Genauigkeit die zu errechnende Fläche ermittelt. Das Freihandzeichnen mittels Stylus-Tablet im Rahmen der CT Volumetrie ist eine erprobte Methode, um zeitsparend möglichst genaue Grenzmarkierungen zu erhalten (PERANDINI et al., 2011).

Des Weiteren hängt die Genauigkeit der Messung von der Präzision der Schnittbilder ab. Eine geringere Schichtdicke resultiert hierbei in genaueren Ergebnissen. Sie erhöht jedoch im gleichen Zuge die Anzahl der zu bearbeitenden Schnittbilder und somit ebenfalls die Bearbeitungszeit (LIM et al., 2014). Es muss also sorgfältig eine gute Balance zwischen Messgenauigkeit und Bearbeitungszeit erwogen werden. Reiner et al. empfehlen diesbezüglich eine Schichtdicke von 6mm - 8mm (REINER et al., 2009). Die vorliegenden CT-Datensätze dieser Untersuchung wurden mit einer Schichtdicke von 5mm angefertigt. Damit liegt die Schichtdicke nur 1mm unterhalb der empfohlenen Schichtdicke zugunsten der Genauigkeit bei diskreten Einbußen bezüglich der Bearbeitungszeit.

Zusammenfassend stellte Hwang 2011 in seiner Studie fest, dass die CT-Volumetrie die präziseste nichtinvasive Messmethode zur Bestimmung von Volumina in lebenden Individuen ist (HWANG et al., 2011).

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Das Durchschnittsalter von 47,76 Jahren lag nur geringfügig über den in der Literatur angegebenen Werten (BURKHARDT et al., 2014). Eine Geschlechterverteilung von 40% zu 60% (weiblich zu männlich) entsprach ebenfalls üblichen Werten. Wie bereits in vielen Studien (MUCHA, FARNELL, 1984; POHLEMANN et al., 1996b) demonstriert wurde, zeigte sich auch in dieser Studie, dass der Verkehrsunfall als häufigste Ursache für eine Beckenfraktur verantwortlich ist. Dies bestätigt sich auch für die Becken C Fraktur als Subtyp. Die mit einem Verkehrsunfall einhergehenden Kräfte sowie die Selektion der Becken C Fraktur als horizontal und vertikal instabile Fraktur, erklären den hohen Anteil von komplexen Beckenfrakturen (38,09%). Mit einer Letalität von circa 12% liegt diese im Bereich der in der Literatur angegebenen Werte für Beckenfrakturen (ABRASSART et al., 2013; BALOGH et al., 2007; GILLILAND et al., 1982; HAUSCHILD et al., 2008; JESKE et al., 2010; RIEMER et al., 1993; ROTHENBERGER et al., 1978b). Auch bei relativ kleiner Fallzahl und heterogenem Patientenkollektiv scheint diese Studie eine repräsentative Patientengruppe erfasst zu haben.

Der Blutverlust bei Beckenfrakturen gilt als Hauptprädiktor für die Mortalität bei Beckenfrakturen (HAUSCHILD et al., 2008; POHLEMANN et al., 1996a). Holstein et al. zeigten das 60% der Todesfälle bei Beckenfrakturen auf ein Blutungsgeschehen zurückzuführen sind (HOLSTEIN et al., 2012). In Übereinstimmung mit diesen Ergebnissen demonstriert diese Studie, dass bei verstorbenen Patienten erhöhte Blutungsmengen zu verzeichnen sind.

Zudem konnte mit dieser Studie der intrapelvine Flüssigkeitsverlust bei Beckenfrakturen (Typ C) aufgeschlüsselt demonstriert und eine Korrelation mit dem Frakturtyp (C1-C3) nachgewiesen werden. So zeigten Becken C3 Frakturen signifikant höhere Blutungsvolumina als C1 Frakturen sowohl bei Betrachtung des Gesamtvolumens als auch bei freier intrapelviner Flüssigkeit.

Entsprechende Literatur, welche direkte Vergleichsmöglichkeiten bietet, liegt nach eingehender Literaturrecherche bislang nicht vor. Ein Vergleich bezüglich der Verletzungsschwere der untersuchten Beckenverletzten ist aufgrund verschiedener Klassifikationssysteme publizierter Literatur ebenfalls schwierig. Unterscheiden einige Studien zwischen stabilen und instabilen Frakturen, so trennen andere einfache von komplexen oder offene von geschlossenen Beckenfrakturen (MUCHA, FARNELL, 1984; RIEMER et al., 1993; ROTHENBERGER et al., 1978a).

Der durchschnittliche ISS Wert lag bei 28,88. Bei einem deutlich erhöhten ISS von 42,4 bei verstorbenen Patienten bewies sich der Injury Severity Score ebenfalls als nützliches Hilfsmittel zur ungefähren Einschätzung der zur erwartenden Letalität. Hämoglobin-Werte sowie der systolische Blutdruck zeigten einen geringfügig auffälligen Trend von C1- nach C3 Frakturen. Es konnten jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Frakturgruppen festgestellt werden. Aus der Dauer von Notrufeingang bis hin zur CT-Diagnostik ließ sich ebenfalls keine Aussage über einen möglichen Blutverlust ableiten. Es zeigte sich jedoch, dass Blutungsmengen über 1 Liter bereits innerhalb der ersten Stunde nach Notruf verzeichnet wurden.

Keiner dieser Parameter ließ eine direkte Aussage über das ermittelte Blutvolumen zu. Dies entspricht Ergebnissen einer Studie aus 2006, welche zeigte, dass ein Blutverlust bis zu 30% vom menschlichen Körper kompensiert und mit herkömmlicher Diagnostik kaum erfasst werden kann (VAN VUGT, VAN KAMPEN, 2006).

Die Menge des Blutverlustes in der frühen Phase der Beckenverletzten ist jedoch ein wichtiger Prädiktor für das Outcome der Patienten, da höhere Blutverluste - wie diese Studie zeigt - mit einer erhöhten Mortalität einhergingen. Frühe Hinweise auf einen voraussichtlich hohen Blutverlust könnten das behandelnde Team zu einer früheren Volumensubstitution animieren und somit ein drohendes Schockgeschehen abwenden sowie die Mortalitätsrate senken.

Mit durchschnittlich 44,33 Minuten Bearbeitungszeit pro CT sowie einer Nachbearbeitungszeit zur Ermittlung des Volumens von durchschnittlich 24,33 Minuten pro Fall, findet die manuelle CT-Volumetrie nur einen untergeordneten Stellenwert in der Akutversorgung polytraumatisierter Patienten. Um dem Patienten und dem behandelnden Team auch in der Akutsituation von Nutzen zu sein, wäre eine deutliche Zeitreduktion notwendig. Eine Literaturrecherche ergibt hierzu einige Studien zu automatisierter und semi-automatisierter CT-Volumetrie.

Beide Verfahren verkürzen die Bearbeitungszeit und ersparen den aufwendigen manuellen Markierungsprozess der ROIs, welcher algorithmusgestützt von einem Computer übernommen wird. Auch die Volumenberechnung wird hierbei vom Computer übernommen. In einer Studie aus dem Jahr 2011 ermittelten Perandini et al. innerhalb von $0,57 \pm 0,06$ min/Fall das Volumen der Leber ihrer Patienten mit Hilfe der automatisierten Volumetrie. Die semi-automatisierte Volumetrie benötigte hierbei $27,3 \pm 4,6$ min, die manuelle Volumetrie $39,4 \pm 5,5$ min/Fall (PERANDINI et al., 2011). Bei einer Zeitersparnis von über 30 Minuten, beziehungsweise einer Bearbeitungszeit unterhalb einer Minute, wäre das automatisierte Verfahren auch in der Akutsituation eines polytraumatisierten Patienten ein nützliches Hilfsmittel, jedoch scheitern automatisierte Verfahren aufgrund fehlender Kontrastunterschiede häufig bereits an der Messung eines relativ homogen konturierten Objektes wie der Leber (LIM et al., 2014). Es ist davon auszugehen, dass insbesondere inhomogene und polymorphe Gebilde, wie die ROIs einer Blutung, heutige automatisierte Verfahren schlichtweg überfordern. Auch in die Literatur findet sich hierzu aktuell kein Nachweis eines automatisierten Verfahrens, welches zuverlässig eine intrapelvine Blutungsmenge errechnen könnte. Die semi-automatisierte CT-Volumetrie hingegen zeigt deutliche Vorteile in Bezug auf Genauigkeit, rückt aber im Notfall bei deutlich längerer Bearbeitungszeit erneut in den Hintergrund (CARR et al., 2001; WIMMER et al., 2007; YANG et al., 2010).

Eine Therapieform, welche bereits am Unfallort angewandt werden kann um den Blutverlust zu minimieren, ist der Beckengurt. Durch die Anlage eines Beckengurtes verspricht man sich eine rasche Volumenreduktion im pelvinen Bereich und Kompression der Frakturflächen. Pizanis et al. zeigten eine Letalitätsreduktion durch die Notfallstabilisierung des Beckenrings durch einen Beckengurt (PIZANIS et al., 2013). Ein Vergleich zwischen Patienten, welche bereits bei der Primärversorgung am Unfallort einen Beckengurt erhielten, und derer, welche erst im Krankenhaus versorgt wurden, wäre im Hinblick auf die Blutungsvolumina von großem Interesse. Aufgrund fehlender Nachvollziehbarkeit bei den archivierten Daten, ob primär ein Beckengurt angelegt wurde, konnte diesbezüglich keine Untersuchung durchgeführt werden.

5.3 Zusammenfassende Beurteilung und Ausblick

Trotz technischer und therapeutischer Fortschritte in den letzten Jahrzehnten bleibt die Mortalitätsrate der Beckenfraktur mit Angaben von 5%-26% hoch (ABRASSART et al., 2013; BALOGH et al., 2007; GILLILAND et al., 1982; HAUSCHILD et al., 2008; JESKE et al., 2010; RIEMER et al., 1993; ROTHENBERGER et al., 1978b). Hauptursächlich hierfür sind retroperitoneale und intrapelvine Blutungen (EVERS et al., 1989; GILLILAND et al., 1982; MUCHA, FARNELL, 1984; ROTHENBERGER et al., 1978b).

Multidisziplinäre Therapiekonzepte der letzten 30 Jahre haben für ein besseres Outcome dieser komplexen Verletzungsbilder gesorgt (BASSAM et al., 1998; MORENO et al., 1986; POHLEMANN et al., 1996b; SEEKAMP et al., 2004). Bereits 1987 beschrieb Tscherne das Abfallen der Mortalitätsrate bei Beckenfrakturen um 20% durch standardisiertes Vorgehen des therapeutischen Managements (TSCHERNE et al., 1987). Eine möglichst individuelle, an das Verletzungsbild des Patienten angepasste Therapie, stellt die Grundlage dar für das bestmögliche Outcome des Patienten (WARD, BIRCHER, 1996). Mit Hilfe der CT-Volumetrie lässt sich aus den standardmäßig im Rahmen des Schockraumprotokolls angefertigten CT-Datensätzen der intrapelvine Blutverlust bestimmen und somit das Verletzungsbild noch detaillierter darstellen. Dieser Informationsgewinn kann unter anderem neben radiologischen Zeichen einer aktiven Blutung sowie dem Ausmaß der Begleitverletzungen wertvolle Hinweise auf ein drohendes Schockgeschehen geben.

Eine direkte Korrelation einer Beckenfraktur mit dem Outcome der betroffenen Patienten wurde von Poole et al. in Frage gestellt (POOLE et al., 1991). Eastridge und Burgess wiederum zeigten anhand der Young-Burgess Klassifikation einen direkten Zusammenhang zwischen einwirkendem Kraftvektor und der Mortalität (EASTRIDGE, BURGESS, 1997).

Der in dieser Studie durchgeführte Korrelationsversuch, zwischen Frakturmuster nach AO/OTA und des mit ihm einhergehenden Flüssigkeitsverlustes, zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen C1 und C3 Frakturen. Es lässt sich schlussfolgern, dass bei Zunahme des Instabilitätsgrades ebenfalls mit einem höheren intrapelvinen Flüssigkeitsverlust zu rechnen ist. Im Schockraum noch vor einer CT-Spirale durchgeführte Röntgenbilder, welche eine instabile Beckenfraktur Typ C aufweisen, können somit anhand des Frakturmusters (C1 bis C3 nach AO/OTA) bereits erste Hinweise auf den potentiell begleitenden Blutverlust geben. Eine erkannte C3 Fraktur bedeutet für das Ärzteteam somit eine erhöhte Aufmerksamkeit für den hämodynamischen Status des Patienten und bietet die Möglichkeit bereits frühzeitig dementsprechende potenziell notwendige Vorbereitungen zu treffen.

Die Mehrschicht-CT-Diagnostik hat seit ihrer Einführung aufgrund großflächiger Verfügbarkeit und der Möglichkeit, Patienten von Kopf bis Fuß innerhalb weniger Sekunden mitsamt innerer Strukturen bildlich darzustellen, insbesondere bei der Traumadiagnostik an Bedeutung gewonnen. Die CT-Volumetrie bietet nun eine erweiterte Nutzungsmöglichkeit der im CT gewonnenen Daten. Manuell angewendet erweist sich die CT-Volumetrie als wertvolles Hilfsmittel, welches jedoch in der Akutsituation aufgrund des langwierigen Bearbeitungsprozesses an Nutzen einbüßt. Mit der Aussicht, dass zukünftig automatisierte Berechnungsprozesse auch unregelmäßig konturierte Gebilde wie die ROIs einer Blutung zuverlässig sowie in kürzester Zeit ermitteln und somit das Gesamtvolumen des Blutverlustes errechnen, könnte die CT-Volumetrie in Zukunft für das behandelnde Team einen wichtigen Stellenwert erhalten. Darüber hinaus könnten zukünftige Studien bei zuverlässiger Dokumentation der Therapiemaßnahmen am Unfallort - z.B. bezüglich der Anlage eines Beckengurtes - den Effekt jener Erstmaßnahme visuell und numerisch belegen.

6 Literaturverzeichnis

1. Abrassart S, Stern R, Peter R (2013) Unstable pelvic ring injury with hemodynamic instability: what seems the best procedure choice and sequence in the initial management? *Orthop Traumatol Surg Res* 99:175-182
2. Agolini SF, Shah K, Jaffe J, Newcomb J, Rhodes M, Reed JF, 3rd (1997) Arterial embolization is a rapid and effective technique for controlling pelvic fracture hemorrhage. *J Trauma* 43:395-399
3. Allgower M, Burri C (1967) ["Shock index"]. *Dtsch Med Wochenschr* 92:1947-1950
4. Ashbaugh DG, Bigelow DB, Petty TL, Levine BE (1967) Acute respiratory distress in adults. *Lancet* 2:319-323
5. Baker SP, O'Neill B, Haddon W, Jr., Long WB (1974) The injury severity score: a method for describing patients with multiple injuries and evaluating emergency care. *J Trauma* 14:187-196
6. Balogh Z, King KL, Mackay P, McDougall D, Mackenzie S, Evans JA, Lyons T, Deane SA (2007) The epidemiology of pelvic ring fractures: a population-based study. *J Trauma* 63:1066-1073; discussion 1072-1063
7. Bassam D, Cephas GA, Ferguson KA, Beard LN, Young JS (1998) A protocol for the initial management of unstable pelvic fractures. *Am Surg* 64:862-867
8. Ben-Menachem Y, Coldwell DM, Young JW, Burgess AR (1991) Hemorrhage associated with pelvic fractures: causes, diagnosis, and emergent management. *AJR Am J Roentgenol* 157:1005-1014
9. Bernard GR, Artigas A, Brigham KL, Carlet J, Falke K, Hudson L, Lamy M, Legall JR, Morris A, Spragg R (1994) The American-European Consensus Conference on ARDS. Definitions, mechanisms, relevant outcomes, and clinical trial coordination. *Am J Respir Crit Care Med* 149:818-824
10. Blackmore CC, Jurkovich GJ, Linnau KF, Cummings P, Hoffer EK, Rivara FP (2003) Assessment of volume of hemorrhage and outcome from pelvic fracture. *Arch Surg* 138:504-508; discussion 508-509
11. Böhler L (1963) Die Technik der Knochenbruchbehandlung. *Ergänzungsband Maudrich* 12.-13.
12. Bone L, Browner B JJ, Levine AM (1992) Emergency Treatment of the Injured Patients. *Skeletal Trauma Philadelphia*:127-145
13. Bone RC (1991) Let's agree on terminology: definitions of sepsis. *Crit Care Med* 19:973-976
14. Bone RC, Sprung CL, Sibbald WJ (1992) Definitions for sepsis and organ failure. *Crit Care Med* 20:724-726
15. Bosch U, Pohlemann T, Haas N, Tscherne H (1992a) [Classification and management of complex pelvic trauma]. *Unfallchirurg* 95:189-196
16. Bosch U, Pohlemann T, Tscherne H (1992b) [Primary management of pelvic injuries]. *Orthopade* 21:385-392
17. Breiman RS, Beck JW, Korobkin M, Glenny R, Akwari OE, Heaston DK, Moore AV, Ram PC (1982) Volume determinations using computed tomography. *AJR Am J Roentgenol* 138:329-333
18. Brumback RJ (1990) Traumatic rupture of the superior gluteal artery, without fracture of the pelvis, causing compartment syndrome of the buttock. A case report. *J Bone Joint Surg Am* 72:134-137

19. Bruns B, Lindsey M, Rowe K, Brown S, Minei JP, Gentilello LM, Shafi S (2007) Hemoglobin drops within minutes of injuries and predicts need for an intervention to stop hemorrhage. *J Trauma* 63:312-315
20. Burgess AR, Eastridge BJ, Young JW, Ellison TS, Ellison PS, Jr., Poka A, Bathon GH, Brumback RJ (1990) Pelvic ring disruptions: effective classification system and treatment protocols. *J Trauma* 30:848-856
21. Burkhardt M, Culemann U, Seekamp A, Pohlemann T (2005) [Strategies for surgical treatment of multiple trauma including pelvic fracture. Review of the literature]. *Unfallchirurg* 108:812, 814-820
22. Burkhardt M, Nienaber U, Pizanis A, Maegele M, Culemann U, Bouillon B, Flohe S, Pohlemann T, Paffrath T, the TraumaRegister DGU, the German Pelvic Injury Register of the Deutsche Gesellschaft für U (2012) Acute management and outcome of multiple trauma patients with pelvic disruptions. *Crit Care* 16:R163
23. Burkhardt M, Nienaber U, Krause J, Pizanis A, Moersdorf P, Culemann U, Aghayev E, Paffrath T, Pohlemann T, Holstein JH, Beckenregister DGU, TraumaRegister DGU (2014) [Complex pelvic traumas : Data linkage of the German Pelvic Injury Register and the TraumaRegister DGU(R)]. *Unfallchirurg*
24. Burkhardt M, Nienaber U, Krause J, Pizanis A, Moersdorf P, Culemann U, Aghayev E, Paffrath T, Pohlemann T, Holstein JH, Beckenregister DGU, TraumaRegister DGU (2015) [Complex pelvic traumas : data linkage of the German Pelvic Injury Register and the TraumaRegister DGU(R)]. *Unfallchirurg* 118:957-962
25. Burlew CC, Moore EE, Smith WR, Johnson JL, Biffl WL, Barnett CC, Stahel PF (2011) Preperitoneal pelvic packing/external fixation with secondary angioembolization: optimal care for life-threatening hemorrhage from unstable pelvic fractures. *J Am Coll Surg* 212:628-635; discussion 635-627
26. Carr J, Beatson R, Cherrie J, al. e (2001) Reconstruction and representation of 3D objects with radial basis functions. *SIGGRAPH*:67-76
27. Colapinto V (1980) Trauma to the pelvis: urethral injury. *Clin Orthop Relat Res*:46-55
28. Cothren CC, Osborn PM, Moore EE, Morgan SJ, Johnson JL, Smith WR (2007) Preperitoneal pelvic packing for hemodynamically unstable pelvic fractures: a paradigm shift. *J Trauma* 62:834-839; discussion 839-842
29. Cryer HM, Miller FB, Evers BM, Rouben LR, Seligson DL (1988) Pelvic fracture classification: correlation with hemorrhage. *J Trauma* 28:973-980
30. Culemann U, Tosounidis G, Reilmann H, Pohlemann T (2003) [Pelvic fracture. Diagnostics and current treatment options]. *Chirurg* 74:687-698; quiz 699-700
31. Culemann U, Tosounidis G, Reilmann H, Pohlemann T (2004) [Injury to the pelvic ring. Diagnosis and current possibilities for treatment]. *Unfallchirurg* 107:1169-1181; quiz 1182-1163
32. Culemann U, Oestern HJ, Pohlemann T (2014) Aktuelle Behandlung der Beckenringfraktur. *Der Unfallchirurg* 117:145-161
33. Dalal SA, Burgess AR, Siegel JH, Young JW, Brumback RJ, Poka A, Dunham CM, Gens D, Bathon H (1989) Pelvic fracture in multiple trauma: classification by mechanism is key to pattern of organ injury, resuscitative requirements, and outcome. *J Trauma* 29:981-1000; discussion 1000-1002

34. Däubler DB, Bonel HM, Triller J (2004) Lebensbedrohliche Blutungen bei Beckenfrakturen aufgrund einer aberranten A. obturatoria (Corona mortis): Zentrale Bedeutung von Angiographie und Intervention im notfallmedizinischen Management. *Fortschr Röntgenstr*:176
35. Denck H, Ender HG, Jonas M (1975) [Vascular injuries in pelvic fractures and their treatment]. *Hefte Unfallheilkd*:170-175
36. Denis F, Davis S, Comfort T (1988) Sacral fractures: an important problem. Retrospective analysis of 236 cases. *Clin Orthop Relat Res* 227:67-81
37. Draijer F, Egbers HJ, Havemann D (1997) Quality of life after pelvic ring injuries: follow-up results of a prospective study. *Arch Orthop Trauma Surg* 116:22-26
38. Dyer GS, Vrahas MS (2006) Review of the pathophysiology and acute management of haemorrhage in pelvic fracture. *Injury* 37:602-613
39. Eastridge BJ, Burgess AR (1997) Pedestrian pelvic fractures: 5-year experience of a major urban trauma center. *J Trauma* 42:695-700
40. Ertel W, Keel M, Eid K, Platz A, Trentz O (2001) Control of severe hemorrhage using C-clamp and pelvic packing in multiply injured patients with pelvic ring disruption. *J Orthop Trauma* 15:468-474
41. Euler E (1995) *Das Becken - Anatomie, Biomechanik, Frakturversorgung und Tumorprothetik*, Springer Berlin).
42. Evers BM, Cryer HM, Miller FB (1989) Pelvic fracture hemorrhage. Priorities in management. *Arch Surg* 124:422-424
43. Failing MS, McGanity PL (1992) Unstable fractures of the pelvic ring. *J Bone Joint Surg Am* 74:781-791
44. Ferguson ND, Fan E, Camporota L, Antonelli M, Anzueto A, Beale R, Brochard L, Brower R, Esteban A, Gattinoni L, Rhodes A, Slutsky AS, Vincent JL, Rubenfeld GD, Thompson BT, Ranieri VM (2012) The Berlin definition of ARDS: an expanded rationale, justification, and supplementary material. *Intensive Care Med* 38:1573-1582
45. Ferreira FL, Bota DP, Bross A, Melot C, Vincent JL (2001) Serial evaluation of the SOFA score to predict outcome in critically ill patients. *JAMA* 286:1754-1758
46. Follis HW, Koch MO, McDougal WS (1992) Immediate management of prostatomembranous urethral disruptions. *J Urol* 147:1259-1262
47. Gabbe BJ, de Steiger R, Esser M, Bucknill A, Russ MK, Cameron PA (2011) Predictors of mortality following severe pelvic ring fracture: results of a population-based study. *Injury* 42:985-991
48. Gambarelli J (1977) *Computerized axial tomography : an anatomic atlas of serial sections of the human body : anatomy--radiology--scanner* (Berlin ; New York, Springer Verlag).
49. Gansslen A, Hildebrand F, Pohlemann T (2012) Management of hemodynamic unstable patients "in extremis" with pelvic ring fractures. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech* 79:193-202
50. Ge PL, Du SD, Mao YL (2014) Advances in preoperative assessment of liver function. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int* 13:361-370
51. Gebele K (2007) *Beckenfrakturen - haben sich die Behandlungsergebnisse der Problemfrakturen verbessert ?*, Ludwig-Maximilians-Universität zu München.
52. Gilliland MD, Ward RE, Barton RM, Miller PW, Duke JH (1982) Factors affecting mortality in pelvic fractures. *J Trauma* 22:691-693

53. Gonzalez RP, Fried PO, Bukhalo M, Holevar MR, Falimirski ME (1999) Role of clinical examination in screening for blunt cervical spine injury. *J Am Coll Surg* 189:152-157
54. Gordon RO, Mears DC (1991) Lateral compression injury of the pelvis. A case report. *J Bone Joint Surg Am* 73:1399-1401
55. Gray H, Standring S, Ellis H, Berkovitz BKB (2005) *Gray's anatomy : the anatomical basis of clinical practice*, 39th edn (Edinburgh ; New York, Elsevier Churchill Livingstone).
56. Grotz MR, Allami MK, Harwood P, Pape HC, Krettek C, Giannoudis PV (2005) Open pelvic fractures: epidemiology, current concepts of management and outcome. *Injury* 36:1-13
57. Gustavo Parreira J, Coimbra R, Rasslan S, Oliveira A, Fregoneze M, Mercadante M (2000) The role of associated injuries on outcome of blunt trauma patients sustaining pelvic fractures. *Injury* 31:677-682
58. Hanson PB, Milne JC, Chapman MW (1991) Open fractures of the pelvis. Review of 43 cases. *J Bone Joint Surg Br* 73:325-329
59. Hauschild O, Strohm PC, Culemann U, Pohlemann T, Suedkamp NP, Koestler W, Schmal H (2008) Mortality in patients with pelvic fractures: results from the German pelvic injury register. *J Trauma* 64:449-455
60. Heini PF, Witt J, Ganz R (1996) The pelvic C-clamp for the emergency treatment of unstable pelvic ring injuries. A report on clinical experience of 30 cases. *Injury* 27 Suppl 1:S-A38-45
61. Heller M, Blanke J, Draijer, F., Brossmann, J., Egbers, H. J., and Havemann, D (1998) Beckenringverletzungen. *Radiologe* 38:702-709
62. Hersche O, Isler B, Aebi M (1993) [Follow-up and prognosis of neurologic sequelae of pelvic ring fractures with involvement of the sacrum and/or the iliosacral joint]. *Unfallchirurg* 96:311-318
63. Heymsfield SB, Fulenwider T, Nordlinger B, Barlow R, Sones P, Kutner M (1979) Accurate measurement of liver, kidney, and spleen volume and mass by computerized axial tomography. *Ann Intern Med* 90:185-187
64. Hofmann G (1988) [Treatment of fresh fractures and dislocations of the pelvis with external fixation]. *Z Unfallchir Versicherungsmed Berufskr* 81:111-119
65. Holstein JH, Culemann U, Pohlemann T, Working Group Mortality in Pelvic Fracture P (2012) What are predictors of mortality in patients with pelvic fractures? *Clin Orthop Relat Res* 470:2090-2097
66. Hwang HS, Yoon HE, Park JH, Chun HJ, Park CW, Yang CW, Kim YS, Choi BS (2011) Noninvasive and direct measures of kidney size in kidney donors. *Am J Kidney Dis* 58:266-271
67. Jeske HC, Larndorfer R, Krappinger D, Attal R, Klingensmith M, Lottersberger C, Dunser MW, Blauth M, Falle ST, Dallapozza C (2010) Management of hemorrhage in severe pelvic injuries. *J Trauma* 68:415-420
68. Jonas M, Wruhs O (1975) [Injuries of thoracic and abdominal spaces in pelvic fractures]. *Hefte Unfallheilkd*:177-181
69. Judet R, Judet J, Letournel E (1964) Fractures of the Acetabulum: Classification and Surgical Approaches for Open Reduction. Preliminary Report. *J Bone Joint Surg Am* 46:1615-1646
70. Kam J, Jackson H, Ben-Menachem Y (1981) Vascular injuries in blunt pelvic trauma. *Radiol Clin North Am* 19:171-186

71. Kimbrell BJ, Velmahos GC, Chan LS, Demetriades D (2004) Angiographic embolization for pelvic fractures in older patients. *Arch Surg* 139:728-732; discussion 732-723
72. Knottenbelt JD (1991) Low initial hemoglobin levels in trauma patients: an important indicator of ongoing hemorrhage. *J Trauma* 31:1396-1399
73. Krotz M, Pfeifer KJ, Reiser M, Linsenmaier U (2005) [Radiological intervention in multiply injured patients]. *Radiologe* 45:1129-1145; quiz 1146
74. Kuhns LR, Thornbury J, Seigel R (1979) Variation of position of the kidneys and diaphragm in patients undergoing repeated suspension of respiration. *J Comput Assist Tomogr* 3:620-621
75. Lehmann J (1934) Luxation einer Beckenhälfte. *Zentralbl Chir* 37:2149-2152
76. Lim MC, Tan CH, Cai J, Zheng J, Kow AW (2014) CT volumetry of the liver: where does it stand in clinical practice? *Clin Radiol* 69:887-895
77. Lundqvist E, Segelsjo M, Andersson A, Magnusson A, Biglarnia AR (2012) Measurement of transplanted pancreatic volume using computed tomography: reliability by intra- and inter-observer variability. *Acta Radiol* 53:966-972
78. Mackway-Jones K, Foex BA, Kirkman E, Little RA (1999) Modification of the cardiovascular response to hemorrhage by somatic afferent nerve stimulation with special reference to gut and skeletal muscle blood flow. *J Trauma* 47:481-485
79. Maegele M, Lefering R, Yucel N, Tjardes T, Rixen D, Paffrath T, Simanski C, Neugebauer E, Bouillon B, Society AGPotGT (2007) Early coagulopathy in multiple injury: an analysis from the German Trauma Registry on 8724 patients. *Injury* 38:298-304
80. Magnussen RA, Tressler MA, Obremskey WT, Kregor PJ (2007) Predicting blood loss in isolated pelvic and acetabular high-energy trauma. *J Orthop Trauma* 21:603-607
81. McMurtry R, Walton D, Dickinson D, Kellam J, Tile M (1980) Pelvic disruption in the polytraumatized patient: a management protocol. *Clin Orthop Relat Res*:22-30
82. Miller PR, Moore PS, Mansell E, Meredith JW, Chang MC (2003) External fixation or arteriogram in bleeding pelvic fracture: initial therapy guided by markers of arterial hemorrhage. *J Trauma* 54:437-443
83. Moreno C, Moore EE, Rosenberger A, Cleveland HC (1986) Hemorrhage associated with major pelvic fracture: a multispecialty challenge. *J Trauma* 26:987-994
84. Moss MC, Bircher MD (1996) Volume changes within the true pelvis during disruption of the pelvic ring--where does the haemorrhage go? *Injury* 27 Suppl 1:S-A21-23
85. Mucha P, Jr., Farnell MB (1984) Analysis of pelvic fracture management. *J Trauma* 24:379-386
86. Murr PC, Moore EE, Lipscomb R, Johnston RM (1980) Abdominal trauma associated with pelvic fracture. *J Trauma* 20:919-923
87. O'Brien D P, Luchette FA, Pereira SJ, Lim E, Seeskin CS, James L, Miller S, Davis K, Jr., Hurst JM, Johannigman JA, Frame SB (2002) Pelvic fracture in the elderly is associated with increased mortality. *Surgery* 132:710-714; discussion 714-715
88. Paar O, Sohn M, Kasperk R (1990) [Strategy of the interdisciplinary early intervention in unstable pelvic injuries and concomitant urogenital lesions]. *Unfallchirurg* 93:353-358

89. Panetta T, Sclafani SJ, Goldstein AS, Phillips TF, Shaftan GW (1985) Percutaneous transcatheter embolization for massive bleeding from pelvic fractures. *J Trauma* 25:1021-1029
90. Pehle B, Nast-Kolb D, Oberbeck R, Waydhas C, Ruchholtz S (2003) [Significance of physical examination and radiography of the pelvis during treatment in the shock emergency room]. *Unfallchirurg* 106:642-648
91. Peiniger S, Maegele M (2012) [Trauma-associated bleeding in the severely injured. Relevance, risk stratification and current therapy approaches]. *Unfallchirurg* 115:173-183
92. Pennal GF, Tile M, Waddell JP, Garside H (1980) Pelvic disruption: assessment and classification. *Clin Orthop Relat Res*:12-21
93. Perandini S, Faccioli N, Inama M, al. e (2011) Freehand liver volumetry by using an electromagnetic pen tablet: accuracy, precision and rapidity *Digit Imaging* 24:360-365
94. Pereira SJ, O'Brien DP, Luchette FA, Choe KA, Lim E, Davis Jr K, Hurst JM, Johannigman JA, Frame SB (2000) Dynamic helical computed tomography scan accurately detects hemorrhage in patients with pelvic fracture. *Surgery* 128:678-685
95. Perez JV, Hughes TM, Bowers K (1998) Angiographic embolisation in pelvic fracture. *Injury* 29:187-191
96. Pizanis A, Pohlemann T, Burkhardt M, Aghayev E, Holstein JH (2013) Emergency stabilization of the pelvic ring: Clinical comparison between three different techniques. *Injury* 44:1760-1764
97. Pohlemann T, Tscherne H (1992) [Indications for surgical therapy of sacral fractures]. *Chirurg* 63:884-896
98. Pohlemann T, Bosch U, Gansslen A, Tscherne H (1994a). Behandlungsprotokoll für lebensbedrohliche Komplextraumen des Beckens. In *Langenbecks Arch Chir (Kongreßbericht)* 464-466
99. Pohlemann T, Bosch U, Gansslen A, Tscherne H (1994b) The Hannover experience in management of pelvic fractures. *Clin Orthop Relat Res*:69-80
100. Pohlemann T, Krettek C, Hoffmann R, Culemann U, Gansslen A (1994c) [Biomechanical comparison of various emergency stabilization measures of the pelvic ring]. *Unfallchirurg* 97:503-510
101. Pohlemann T, Culemann U, Gansslen A, Tscherne H (1996a) [Severe pelvic injury with pelvic mass hemorrhage: determining severity of hemorrhage and clinical experience with emergency stabilization]. *Unfallchirurg* 99:734-743
102. Pohlemann T, Tscherne H, Baumgartel F, Egbers HJ, Euler E, Maurer F, Fell M, Mayr E, Quirini WW, Schlickewei W, Weinberg A (1996b) [Pelvic fractures: epidemiology, therapy and long-term outcome. Overview of the multicenter study of the Pelvis Study Group]. *Unfallchirurg* 99:160-167
103. Pohlemann T, Stengel D, Tosounidis G, Reilmann H, Stuby F, Stockle U, Seekamp A, Schmal H, Thannheimer A, Holmenschlager F, Gansslen A, Rommens PM, Fuchs T, Baumgartel F, Marintschev I, Krischak G, Wunder S, Tscherne H, Culemann U (2011) Survival trends and predictors of mortality in severe pelvic trauma: estimates from the German Pelvic Trauma Registry Initiative. *Injury* 42:997-1002
104. Poole GV, Ward EF, Muakkassa FF, Hsu HS, Griswold JA, Rhodes RS (1991) Pelvic fracture from major blunt trauma. Outcome is determined by associated injuries. *Ann Surg* 213:532-538; discussion 538-539

105. Probst C, Probst T, Gaensslen A, Krettek C, Pape HC, Polytrauma Study Group of the German Trauma S (2007) Timing and duration of the initial pelvic stabilization after multiple trauma in patients from the German trauma registry: is there an influence on outcome? *J Trauma* 62:370-377; discussion 376-377
106. Regel G, Lobenhoffer P, U. L, Pape HC, Pohlemann T, Tscherne H (1993) Ergebnisse in der Behandlung Polytraumatisierter. *Unfallchirurg* 96:350-362
107. Reiner CS, Karlo C, Petrowsky H, Marincek B, Weishaupt D, Frauenfelder T (2009) Preoperative liver volumetry: how does the slice thickness influence the multidetector computed tomography- and magnetic resonance-liver volume measurements? *J Comput Assist Tomogr* 33:390-397
108. Riddez L, Hahn RG, Brismar B, Strandberg A, Svensen C, Hedenstierna G (1997) Central and regional hemodynamics during acute hypovolemia and volume substitution in volunteers. *Crit Care Med* 25:635-640
109. Riemer BL, Butterfield SL, Diamond DL, Young JC, Raves JJ, Cottingham E, Kislak K (1993) Acute mortality associated with injuries to the pelvic ring: the role of early patient mobilization and external fixation. *J Trauma* 35:671-675; discussion 676-677
110. Rixen D, Raum M, Bouillon B, Schlosser LE, Neugebauer E, Arbeitsgemeinschaft Polytrauma der Deutschen Gesellschaft für U (2001) [Predicting the outcome in severe injuries: an analysis of 2069 patients from the trauma register of the German Society of Traumatology (DGU)]. *Unfallchirurg* 104:230-239
111. Rothenberger D, Velasco R, Strate R, Fischer RP, Perry JF, Jr. (1978a) Open pelvic fracture: a lethal injury. *J Trauma* 18:184-187
112. Rothenberger DA, Fischer RP, Strate RG, Velasco R, Perry JF, Jr. (1978b) The mortality associated with pelvic fractures. *Surgery* 84:356-361
113. Sadri H, Nguyen-Tang T, Stern R, Hoffmeyer P, Peter R (2005) Control of severe hemorrhage using C-clamp and arterial embolization in hemodynamically unstable patients with pelvic ring disruption. *Arch Orthop Trauma Surg* 125:443-447
114. Scalea TM, Rodriguez A, Chiu WC, Brenneman FD, Fallon WF, Jr., Kato K, McKenney MG, Nerlich ML, Ochsner MG, Yoshii H (1999) Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST): results from an international consensus conference. *J Trauma* 46:466-472
115. Schiebler TH, W. Schmidt KZ (1999) Rumpfwand und Extremitäten. *Anatomie "Springer"* 8:219-383
116. Schmal H, Markmiller M, Mehlhorn AT, Sudkamp NP (2005) Epidemiology and outcome of complex pelvic injury. *Acta Orthop Belg* 71:41-47
117. Schulman JE, O'Toole RV, Castillo RC, Manson T, Sciadini MF, Whitney A, Pollak AN, Nascone JW (2010) Pelvic ring fractures are an independent risk factor for death after blunt trauma. *J Trauma* 68:930-934
118. Schumacher G-H-, Aumüller G (2004) *Topographische Anatomie des Menschen*, 7 edn, Elsevier).
119. Schutz M, Stockle U, Hoffmann R, Sudkamp N, Haas N (1996) Clinical experience with two types of pelvic C-clamps for unstable pelvic ring injuries. *Injury* 27 Suppl 1:S-A46-50
120. Schwemmle K, Schultheis KH (1985) [Abdominal injuries accompanying pelvic fractures]. *Unfallchirurgie* 11:7-11

121. Seekamp A, Burkhardt M, Pohlemann T (2004) [Shock trauma room management of pelvic injuries. A systematic review of the literature]. *Unfallchirurg* 107:903-910
122. Shanmuganathan K, Mirvis SE, Sover ER (1993) Value of contrast-enhanced CT in detecting active hemorrhage in patients with blunt abdominal or pelvic trauma. *AJR Am J Roentgenol* 161:65-69
123. Shaw JA, Mino DE, Werner FW, Murray DG (1985) Posterior stabilization of pelvic fractures by use of threaded compression rods. Case reports and mechanical testing. *Clin Orthop Relat Res*:240-254
124. Sheridan MK, Blackmore CC, Linnau KF, Hoffer EK, Lomoschitz F, Jurkovich GJ (2002) Can CT predict the source of arterial hemorrhage in patients with pelvic fractures? *Emerg Radiol* 9:188-194
125. Siegmeth A, Mullner T, Kukla C, Vecsei V (2000) [Associated injuries in severe pelvic trauma]. *Unfallchirurg* 103:572-581
126. Slatis P, Huittinen VM (1972) Double vertical fractures of the pelvis. A report on 163 patients. *Acta Chir Scand* 138:799-807
127. Slatis P, Karaharju EO (1980) External fixation of unstable pelvic fractures: experiences in 22 patients treated with a trapezoid compression frame. *Clin Orthop Relat Res*:73-80
128. Smith K, Ben-Menachem Y, Duke JH, Jr., Hill GL (1976) The superior gluteal: an artery at risk in blunt pelvic trauma. *J Trauma* 16:273-279
129. Spahn DR, Cerny V, Coats TJ, Duranteau J, Fernandez-Mondejar E, Gordini G, Stahel PF, Hunt BJ, Komadina R, Neugebauer E, Ozier Y, Riddez L, Schultz A, Vincent JL, Rossaint R, Task Force for Advanced Bleeding Care in T (2007) Management of bleeding following major trauma: a European guideline. *Crit Care* 11:R17
130. Spahn DR, Bouillon B, Cerny V, Coats TJ, Duranteau J, Fernandez-Mondejar E, Filipescu D, Hunt BJ, Komadina R, Nardi G, Neugebauer E, Ozier Y, Riddez L, Schultz A, Vincent JL, Rossaint R (2013) Management of bleeding and coagulopathy following major trauma: an updated European guideline. *Crit Care* 17:R76
131. Stoeckle U (2001) Schräg dorsaler Beckenfixateur - Ein neues Konzept zur Beckenstabilisierung, Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin 2001.
132. Styner JK (2006) The birth of Advanced Trauma Life Support (ATLS). *Surgeon* 4:163-165
133. Tile M (1988) Pelvic ring fractures: should they be fixed? *J Bone Joint Surg Br* 70:1-12
134. Tile M (1996) Acute Pelvic Fractures: I. Causation and Classification. *J Am Acad Orthop Surg* 4:143-151
135. Totterman A, Madsen JE, Skaga NO, Roise O (2007) Extraperitoneal pelvic packing: a salvage procedure to control massive traumatic pelvic hemorrhage. *J Trauma* 62:843-852
136. Tschauner C (2004) Orthopädie und Orthopädische Chirurgie, Thieme).
137. Tscherne H, Sturm JA, Regel G (1987) [Prognostic significance of early management as exemplified by the accident patient]. *Langenbecks Arch Chir* 372:37-42
138. Tscherne H, Regel G (1997) Die Gesamtversorgung des polytraumatisierten Patienten. *Unfallchirurgie in Deutschland Berlin: Springer*:217-254

139. Tscherne H (1998) John Border Memorial Lecture. Trauma Care in Europe before and after John Border: the evolution in trauma management at the University of Hannover. *J Orthop Trauma* 12:301-306
140. Tscherne H, Pohlemann T, Gansslen A (2000) [Classification, staging, urgency and indications in pelvic injuries]. *Zentralbl Chir* 125:717-724
141. Urata K, Kawasaki S, Matsunami H, Hashikura Y, Ikegami T, Ishizone S, Momose Y, Komiyama A, Makuuchi M (1995) Calculation of child and adult standard liver volume for liver transplantation. *Hepatology* 21:1317-1321
142. van der Vorst JR, van Dam RM, van Stiphout RS, van den Broek MA, Hollander IH, Kessels AG, Dejong CH (2010) Virtual liver resection and volumetric analysis of the future liver remnant using open source image processing software. *World J Surg* 34:2426-2433
143. van Vugt AB, van Kampen A (2006) An unstable pelvic ring. The killing fracture. *J Bone Joint Surg Br* 88:427-433
144. Verbeek DO, Zijlstra IA, van der Leij C, Ponsen KJ, van Delden OM, Goslings JC (2014) The utility of FAST for initial abdominal screening of major pelvic fracture patients. *World J Surg* 38:1719-1725
145. Vincent JL, Moreno R, Takala J, Willatts S, De Mendonca A, Bruining H, Reinhart CK, Suter PM, Thijs LG (1996) The SOFA (Sepsis-related Organ Failure Assessment) score to describe organ dysfunction/failure. On behalf of the Working Group on Sepsis-Related Problems of the European Society of Intensive Care Medicine. *Intensive Care Med* 22:707-710
146. Vrahas M, Hern TC, Diangelo D, Kellam J, Tile M (1995) Ligamentous contributions to pelvic stability. *Orthopedics* 18:271-274
147. Ward DA, Bircher MD (1996) The early management of pelvic and acetabular fractures. *Injury* 27 Suppl 1:S-A24-28
148. Ward LD, Morandi MM, Pearse M, Randelli P, Landi S (1997) The immediate treatment of pelvic ring disruption with the pelvic stabilizer. *Bull Hosp Jt Dis* 56:104-106
149. Watson-Jones R (1938) Dislocations and fracture-dislocations of the pelvis. *Br J Surg* 25:773-781
150. Waydhas C, Gorlinger K (2009) [Coagulation management in multiple trauma]. *Unfallchirurg* 112:942-950
151. Weinberg AM, Reilmann H (1992) [The Pelvic Professional Section of the German Society of Accident Surgery and the German Section of AO-International]. *Orthopade* 21:449-452
152. Wimmer A, Soza G, Hornegger J (2007) Two-staged semi-automatic organ segmentation framework using radial basis functions and level sets., Springer Berlin, Heidelberg).
153. Wolinsky PR (1997) Assessment and management of pelvic fracture in the hemodynamically unstable patient. *Orthop Clin North Am* 28:321-329
154. Wong YC, Wang LJ, Ng CJ, Tseng IC, See LC (2000) Mortality after successful transcatheter arterial embolization in patients with unstable pelvic fractures: rate of blood transfusion as a predictive factor. *J Trauma* 49:71-75
155. Wubben RC (1996) Mortality rate of pelvic fracture patients. *Wis Med J* 95:702-704
156. Yang W, Cai J, Zheng J, al. e (2010) User-friendly interactive image segmentation through unified combinational user inputs. *IEEE Trans Image Process* 19:2470-2479

157. Yoon W, Kim JK, Jeong YY, Seo JJ, Park JG, Kang HK (2004) Pelvic arterial hemorrhage in patients with pelvic fractures: detection with contrast-enhanced CT. *Radiographics* 24:1591-1605; discussion 1605-1596

7 Danksagung

Mein Dank gilt allen, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben.

Mein besonderer Dank geht an:

Herrn Prof. Dr. med. Tim Pohlemann - *Direktor der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie - Homburg/Saar*

meinem Mentor während meiner medizinischen Ausbildung im Bereich der Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie an der Universität Homburg/Saar.

Insbesondere danke ich ihm für die Überlassung des Themas dieser Arbeit sowie für die wertvolle Erfahrung, Ergebnisse dieser Arbeit auf dem DKOU 2012 in Berlin vortragen zu dürfen.

Dr. med. Köhler Daniel - *Orthopädie und Unfallchirurgie am Beethovenplatz Saarbrücken*

für die Einführung in das Thema sowie Gestaltung der Arbeit. Darüber hinaus stand er mir stets mit seiner lockeren Art und Weise mit Rat und Tat zur Seite und hat mich für den Vortrag auf dem DKOU 2012 in Berlin vorbereitet.

Dr. med. Nils Veith - *Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie - Homburg/Saar*

für die Weiterführung der Betreuung, konstruktive Unterstützung und kritische Anmerkungen zur Fertigstellung dieser Arbeit.

OA Dr. med Alexander Maßmann - *Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie - Homburg/Saar*

für die Einführung in die CT-Volumetrie und Unterstützung zur Auswertung der CT-Datensätze.

Darüber hinaus danke ich **meinen Eltern** für ihr Vertrauen und ihre langjährige Unterstützung, meine beruflichen Ziele zu verfolgen und in die Tat umzusetzen zu können.

8 Veröffentlichungen

Co-authored Paper :

***Outcome after operative treatment of proximal humeral fractures
in elderly patients***

Authors : P.D. Muhm Markus, Bott Julia, Lahr Christoph, P.D. Hartmut Winkler,
Ruffing Thomas

Pubmed : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26419482>

Submitted Co-authored Paper :

***Humanization of tissue-engineered bone organs influences the marker
expression pattern of osteosarcoma in vivo and identifies HIF2a as a
potential prognostic marker for osteosarcoma patients***

Authors : Ferdinand Wagner, Boris M. Holzapfel, Laure Martine, Jacqui
McGovern, Christoph A. Lahr, Melanie Boxberg, Peter Prodingler,
Susanne Grässel, Daniela Lössner, Dietmar W. Hutmacher

Journal : Journal of Bone and Mineral Research