

Aus dem Institut für Diagnostische Radiologie und Neuroradiologie
Direktor: Prof. Dr. med Norbert Hosten
der Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Inzidenz und Dunkelziffer von knöchernen Handgelenks- und Handverletzungen auf Ganzkörper-Computertomographien in einem Traumazentrum der Maximalversorgung

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des akademischen

Grades

Doktor der Zahnmedizin

(Dr. med. dent.)

der

Universitätsmedizin

der

Universität Greifswald

2022

vorgelegt von:

Lucas Schmehl

geb. am: 15.03.1994

in: Berlin

Dekan: Prof. Dr. med. Karlhans Endlich

1. Gutachter: Herr Prof. Dr. Sven Mutze

2. Gutachter: Herr Prof. Dr. F. Wacker

Ort, Raum: Greifswald, Lehrkabinett der Klinik und Poliklinik für Unfall- u.
Wiederherstellungschirurgie, Raum J02.42, UMG Hauptgebäude Klinikum, Ebene 2

Tag der Disputation: 15.03.2023

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Zielsetzung und Fragestellung der Studie	6
3.	Material und Methoden	6
	3.1 Studiendesign.....	6
	3.2 Screening und Rekrutierung.....	8
	3.3 Bildgebung.....	8
	3.4 Befund-Klassifizierung und Vorbereitung der Fälle.....	8
	3.5 Referenztest und Überprüfung von Diskrepanzen.....	9
	3.6 Patientenakten.....	9
	3.7 Endpunktanalyse und statistische Auswertung.....	10
4.	Ergebnisse	11
	4.1 Primäre Analyse.....	12
	4.2 Arten von knöchernen Verletzungen	13
	4.3 Einflüsse auf die Verletzungswahrscheinlichkeit.....	15
	4.3.1 Trauma Mechanismus.....	15
	4.3.2 Vigilanz.....	15
	4.3.3 Verletzungsmuster.....	15
	4.3.4 Artefakte.....	16
	4.4 Klinische Relevanz.....	16
5	Diskussion	17
	5.1 Prävalenz.....	17
	5.2 Dunkelziffer.....	18
	5.3 Diagnostischer Algorithmus zur verbesserten Erkennung von knöchernen Handgelenks- und Handverletzungen.....	19
	5.4 Limitationen.....	20
	5.5 Schlussfolgerung.....	21

6.	Zusammenfassung.....	22
7.	Literaturverzeichnis.....	24
8.	Abkürzungsverzeichnis.....	29
9.	Tabellenverzeichnis.....	30
10.	Abbildungsverzeichnis.....	31

1. Einleitung

Im Rahmen eines Polytraumas kommt es zu multiplen Verletzungen des Körpers. Traumata stellen die fünfthäufigste Todesursache nach kardiovaskulären Erkrankungen, Malignomen und Erkrankungen des Atmungs- bzw. Magen-Darm-Trakts dar. [1]

Im Vordergrund der Versorgung steht der Versuch, lebenserhaltende Maßnahmen einzuleiten und die schwerwiegendsten Verletzungen zuerst zu diagnostizieren und anschließend zu therapieren. Hierfür eignet sich die sogenannte Ganzkörper-Computertomographie („whole-body computed tomography“, WBCT), da innerhalb kürzester Zeit und in einem Untersuchungsschritt die komplette Bildgebung aller Weichteil- und Knochenstrukturen des Patienten erstellt werden kann. Insbesondere bei multiplen und schweren Verletzungen können Schädigungen kleiner Strukturen, wie der Hände, unbemerkt bleiben. Zudem liegen die Hände und Handwurzelstrukturen insbesondere bei großer Körperfülle der Patienten und Patientinnen oft außerhalb des Scan-Feldes und werden somit oft nicht optimal oder nur unvollständig abgebildet. [2]

Frakturen kleiner Knochen der Extremitäten werden nach einer solchen WBCT häufig nicht diagnostiziert. Gründe hierfür liegen u.a. in fehlenden Schmerzäußerungen polytraumatisierter Schwerstverletzter. Es besteht eine höhere Wahrscheinlichkeit insbesondere bei älteren, schwer verletzten und bewusstlosen Patienten, diese Verletzungen zu übersehen. [3,4] Darüber hinaus wird die Detektionsrate durch die Qualität der klinischen Untersuchung und der Bildgebung, wie auch durch die Erfahrung des Ärzteteams und der interdisziplinären Zusammenarbeit beeinflusst. [5]

Somit ergeben sich verschiedene vermeidbare und unvermeidbare Faktoren für die Unterdiagnose von peripheren Extremitätenfrakturen nach Polytrauma. Die nicht vermeidbaren Faktoren ergeben sich durch den Zustand des Patienten, wie eine verminderte Vigilanz, lebensbedrohliche weitere Verletzungen, und durch in der CT-Diagnostik nicht identifizierbare Verletzungen.

Die WBCT stellt dennoch eine essenzielle Diagnostik und Bildgebung dar, durch die die meisten Verletzungen und Frakturen dargestellt werden können und sie wird aus diesem Grunde für die leitliniengerechte Versorgung von Schwerstverletzten empfohlen. [2; S3 Polytraumaleitlinie]

Um die Zahl übersehener Verletzungen zu minimieren, wurde das Prinzip der tertiären bzw. Wiederholungsuntersuchung eingeführt. Innerhalb eines bestimmten Zeitfensters nach dem Trauma, nach der klinischen Stabilisierung oder nach Wiedererlangen des Bewusstseins der Patienten, wird eine weitere ausgiebige klinische Untersuchung durchgeführt und anschließend mit der vorhandenen Bildgebung abgeglichen. [6] Im Rahmen einer Studie konnten so innerhalb von 24 Stunden 57,1% aller übersehenen Verletzungen durch eine tertiäre Untersuchung und 40,8% durch die Reevaluation vorhandener Bildgebung erkannt werden. [7] Durch diesen Ansatz ließ sich auch die Anzahl der übersehenen Frakturen minimieren.[8]

Zwar erfolgt dann die Detektion der Verletzungen leicht verzögert, aber Frakturen können insbesondere im Bereich der Extremitäten in der Regel rechtzeitig behandelt werden.[9]

In speziellen Dünnschicht-CTs mit einer Dicke von weniger als 1 mm lassen sich Frakturen der Handwurzelknochen gut identifizieren. [10] Jedoch ist eine detaillierte Darstellung nur durch eine Rekonstruktion des Handgelenks in koronaler und sagittaler Ebene möglich. Dies kann abhängig von der Patientenlagerung anspruchsvoll und im Rahmen der Polytraumadiagnostik sehr zeitaufwendig sein. Die Auswertung und Interpretation einer WBCT wird durch Artefakte zusätzlich erschwert, die durch eine ungünstige Patientenlagerung besonders stark ausgeprägt sein können. [11,12]

Ein Übersehen von Frakturen kleinster Knochen ist im Rettungsstellenalltag keine Seltenheit und kann bei Nichtbehandlung zu Funktionalitätsstörungen führen, die durch Arthrosen oder Verknöcherungen entstehen und Betroffene während Tätigkeiten des täglichen Lebens behindern. Die Anzahl von verspätet erkannten oder übersehenen Frakturen liegt laut Literatur zwischen 1,3 – 65%. [3,9,13,14,15] Die meisten verteilen sich auf Verletzungen der Extremitäten und der Wirbelsäule. [2,5,6,14] Einer Metaanalyse aus dem Jahr 2008 zufolge waren 4-33% der Extremitätenfrakturen nach Polytrauma an der Hand und am Handgelenk lokalisiert. [16] Die neueren Studien in Traumazentren basieren häufig auf Patientenakten und Traumaregistern. [17,18] Bildgebende Untersuchungen mit modernen Computertomographen könnten jedoch möglicherweise subtilere Verletzungen sichtbar machen. In einer retrospektiven Analyse beatmeter Traumapatienten fanden sich 15,5% Hand- und Unterarmfrakturen im WBCT. [2] Eine Untersuchung zu Faktoren, die die Sichtbarkeit von Hand- und Handwurzelverletzungen beeinflussen, wurde außerdem publiziert, [19] da knöcherne Verletzungen im Hand – und Handwurzelbereich für jeden Polytraumapatienten

relevant sind und Langzeitschäden sowie Einbußen der Arbeitsfähigkeit durch deren Detektion und Therapie vermieden werden können. [20,21]

2. Zielsetzung und Fragestellung der Studie

Seit 2011 gibt die sogenannte S3-Leitlinie zur Behandlung von Polytrauma und Schwerverletzten Empfehlungen zur Indikationsstellung für eine WBCT nach schwerem Trauma. [22] Zielsetzung dieser Studie ist es, die Prävalenz, Verletzungsmuster, Traumamechanismen und potenzielle Einflussfaktoren von ossären Hand- und Handgelenksverletzungen in einer realen Polytrauma-Patientenkohorte zu erheben, die entsprechend dieser Leitlinie mittels einer WBCT in einem Traumazentrum der Maximalversorgung untersucht wurde.

3. Material und Methoden

3.1 Studiendesign

Diese retrospektive Kohorten-Analyse wurde prospektiv beim Deutschen Register für klinische Studien (DRKS-ID: DRKS00023589) registriert und in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki 2013 durchgeführt. Genehmigt wurde das Studienprotokoll vom Prüfungsausschuss der Ärztekammer Berlin (Eth-45/20). Betrachtet wurden Patientinnen und Patienten eines städtischen Traumazentrums in Berlin, einer deutschen Großstadt mit ca. 3 766 000 Einwohnern [23]. Insgesamt bestand die Studie aus sieben Phasen: Screening/Registrierung; Klassifizierung des radiologischen Primärberichts; Rekonstruktion der Hände/Handgelenke; Reevaluation durch einen Radiologen/Radiologin, welche verblindet zum vorherigen Ergebnis befundeten; Vergleich des primären mit dem sekundären Befund; Identifizierung beeinflussender Faktoren; Berechnung der diagnostischen Genauigkeit der WBCT für die Primärbefundung. Die Abbildung 1 fasst das Studienprotokoll gemäß der Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) Initiative zusammen. [24]

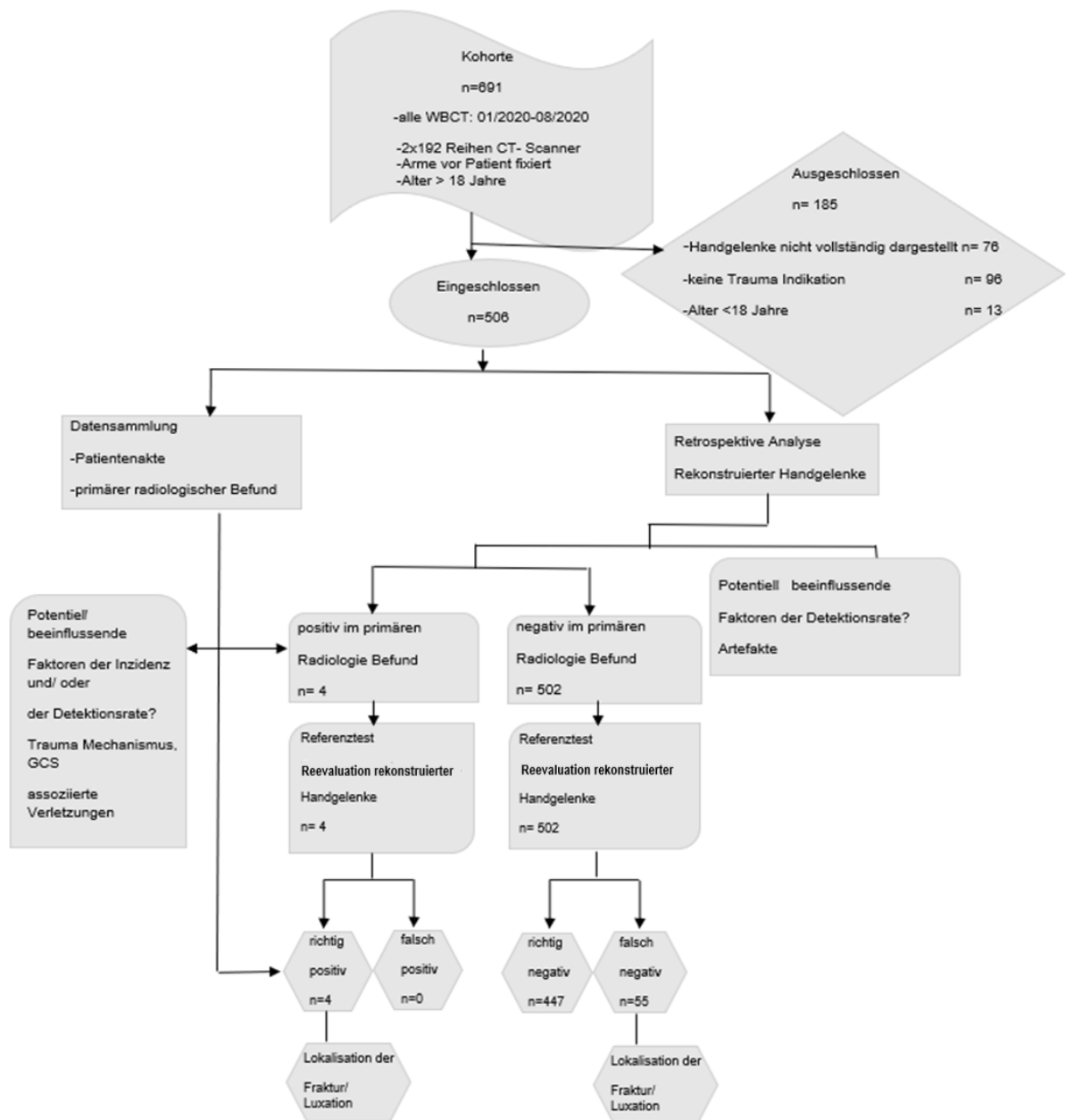


Abbildung 1: Studiendesign gemäß den STROBE (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology)- und STARD (Standards for Reporting of Diagnostic Accuracy)-Richtlinien mit Angaben zur Aufnahme, zum Ausschluss und zum Vergleich zwischen dem Index-Test (primärer radiologischer Befund der WBCT) und dem Referenz-Test (erneute Bewertung durch Radiologen). [25]

3.2 Screening und Rekrutierung

Das Screening konsekutiver WBCT wurde von Januar 2020 bis August 2020 durchgeführt. Indikationen für ein solches WBCT bestanden laut der deutschen S3 Leitlinie zur Behandlung von Polytrauma und Schwerverletzten, [22] wenn mindestens zwei relevant verletzte Körperregionen, pathologische Vitalzeichen und/oder ein relevanter Traumamechanismus vorlagen. Hierzu zählten schwere Straßenverkehrsunfälle als Passant, Kraftfahrzeugführer oder auch Fahrradfahrer, aber auch Stürze aus mehr als 3 Metern Höhe. [26] Einschlusskriterium war außerdem die Volljährigkeit. Zum Ausschluss der Patienten/Patientinnen kam es bei fehlender Traumaanamnese vor der WBCT und bei unvollständiger Abbildung der Hände und Handgelenke.

3.3 Bildgebung

Die WBCT wurde mit einem modernen CT-Scanner mit zwei Röhren und zwei 192-Zeilen-Detektoren durchgeführt (Somatom Force, Siemens, Deutschland). Die Aufnahmen wurden in Spiraltechnik und mit einer Schichtdicke von 0,75mm akquiriert. Zur Minimierung der Strahlendosis und zur Optimierung der Bildqualität wurden die Hände vor dem Patienten auf der Brust/dem Bauch fixiert.

3.4 Befund-Klassifizierung und Vorbereitung der Fälle

Fälle wurden als positiv betrachtet, wenn sich eine Fraktur und/oder Luxation zwischen Unterarm (distaler Radius und Ulnar) und den Mittelhandknochen befand. Die primären radiologischen Befunde wurden manuell von einem unabhängigen Leser entweder als „positiv nach Befund“ oder „negativ nach Befund“ eingeteilt. Art und Lage der knöchernen Handgelenks- und Handverletzungen wurden in einer pseudonymisierten Tabelle für jeden Patienten und jede Seite einzeln erfasst. (Excel, Microsoft 365, USA) Zur Darstellung der Frakturen in unterschiedlichen Ebenen wurden koronale und sagittale Rekonstruktionen mit einer Schichtdicke von 1-2mm mit Hilfe einer Nachverarbeitungssoftware (Intellispace Portal 11, Philips, Niederlande) angefertigt und im Picture Archiving and Communication System (PACS) (Intellispace, Philips, Niederlande) des Instituts für jedes Handgelenk bzw. jede Hand einzeln gespeichert. Zusätzliche Daten zur Anamnese und zur Beschreibung des Unfallhergangs wurden dem Krankeninformationssystem (KIS, Medico, CompuGroup Medical, Deutschland) entnommen.

3.5 Referenztest und Überprüfung von Diskrepanzen

Die Rekonstruktionen wurden als Referenzstandard durch zwei Fachärzte der Radiologie unabhängig von den primären Befunden verblindet erneut befundet. Jedes Handgelenk und jede Hand wurden einzeln auf Frakturen und Luxationen überprüft. Bei Unsicherheiten wurde diskutiert und ein Konsens ermittelt. Die Ergebnisse wurden anschließend als „positiv nach Referenz“ oder „negativ nach Referenz“ unterteilt. Erfasst wurden zusätzlich das Vorliegen von Artefakten, bedingt durch Bewegungen des Patienten während der CT, durch Kontrastmittel in den Venen oder Aufhängung durch Metallobjekte, da sie die Befundung der WBCT potentiell erschweren.

Es ergaben sich nun aus dem Vergleich der primären Befundung und des Referenztests richtig positive, falsch positive, richtig negative und falsch negative Ergebnisse. Die falsch negativen Fälle wurden durch den unabhängigen Untersucher auf sekundäre Bildgebung überprüft (weiteres konventionelles Röntgen, CT oder Magnetresonanztomographie) und eine verzögerte Diagnose untersucht. Insbesondere wurde eruiert, ob die Diagnose der Verletzung innerhalb oder erst nach den ersten 24 Stunden gestellt wurde.

3.6 Patientenakten

Im weiteren Verlauf der Datenerfassung wurden alle eingeschlossenen Patienten bezüglich ihres Alters, Geschlechts, des Trauma-Mechanismus, Vigilanz bei der Aufnahme in der Rettungsstelle, sowie während eines eventuellen Intensivstationsaufenthalts beschrieben. Zusätzliche Verletzungen des restlichen Körpers und die resultierende Therapie der Hand-/Handgelenksverletzungen (konservativ oder chirurgisch) wurden ebenfalls protokolliert. Die Vigilanz wurde anhand der Glasgow Coma Scale eingeschätzt. Differenziert wurde in Patienten bei vollem Bewusstsein oder nur leichten Bewusstseinsstörungen (GCS 13-15) und denen mit eingeschränktem Bewusstsein bzw. Sedierung und Intubation (GCS 3-12). Die falsch negativen Fälle, bei denen Hand-/ Handgelenksverletzungen während des gesamten stationären Aufenthaltes übersehen wurden, wurden von einer Handchirurgin auf therapeutische Konsequenzen überprüft und die medizinische Notwendigkeit der Kontaktaufnahme mit diesen Patienten festgestellt.

3.7 Endpunktanalyse und statistische Auswertung

Die Analyse erfolgte in Übereinstimmung mit den Standards for Reporting of Diagnostic Accuracy (STARD). [27] Die Ergebnisse der primären Befundung des WBCT und der sekundären Befundung zusätzlicher bildgebender Verfahren im Vergleich zum Referenzstandard (Überprüfung durch Radiologen) wurden als richtig-positive (RP), falsch-positive (FP), richtig-negative (RN) und falsch-negative (FN) Ergebnisse angegeben. Die diagnostische Genauigkeit wurde als Sensitivität, Spezifität, positive (PPW) und negative (NPW) prädiktive Werte mit 95 % Clopper-Pearson-Konfidenzintervallen (KI) angegeben.

Assoziationen zwischen der Wahrscheinlichkeit, knöcherner Handgelenks- und Handverletzungen zu erleiden, und verschiedenen Parametern (Lokalisierung knöcherner Handgelenks-/Handverletzungen, zusätzliche Verletzungen, Artefakte, Trauma-Mechanismus und GCS) wurden mit dem zweiseitigen Chi-Quadrat-Test von Pearson bewertet. P-Werte unter 0,05 wurden als statistisch signifikant angesehen.

Deskriptiv wurden arithmetische Mittel, Standardabweichungen (SA), Minimum und Maximum sowie absolute (n) und relative (%) Anteile verwendet. Fehlende Werte wurden nicht korrigiert, sondern für jede Variable angegeben, falls vorhanden. Das SPSS-Softwarepaket für Windows, Version 28 (IBM, Armonk, NY, USA) wurde für alle statistischen Analysen verwendet.

Darüber hinaus wurde nach potentiell beeinflussende Faktoren bezüglich der Inzidenz von Hand-/Handgelenkverletzungen gesucht, z.B. die Art des Traumamechanismus. Zudem wurde untersucht, ob ein Zusammenhang mit anderen Verletzungen vorlag.

4. Ergebnisse

Anhand der Ein- und Ausschlusskriterien wurden im Zeitraum zwischen Januar 2020 und August 2020 im Studienzentrum insgesamt 691 WBCT gescreent. (Abb.1.) Aufgrund unvollständiger Darstellung der Handgelenke wurden 76 Fälle ausgeschlossen, 96 WBCT wurden nicht im Einklang mit der S3-Leitlinie zur Versorgung Schwerstverletzter durchgeführt und 13 WBCT betrafen Minderjährige.

Insgesamt wurden 506 konsekutive WBCT in die Studie eingeschlossen - 137 (27,1%) weibliche und 369 (72,9%) männliche Patienten mit einem Durchschnittsalter von 53 (18-98) Jahren. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede bezüglich der demografischen Basisdaten zwischen Patienten mit und ohne knöchernen Handgelenkverletzungen. (Tab.1)

Tabelle 1. Charakteristika der Polytrauma Patienten

Variable	Keine Verletzung	Verletzung	Insgesamt
N	447	59	506
Alter, Altersdurchschnitt(SA [Spanne])	53.4 (19.7 [18 to 98])	49.9 (17.2 [18 to 88])	53.0 (19.5 [18 to 98])
Geschlecht, n (%)			
Männlich	324 (72.5)	45 (76.3)	369 (72.9)
Weiblich	123 (27.5)	14 (23.7)	137 (27.1)
ITS, n (%)			
Ja	147 (32.9)	22 (37.3)	169 (33.4)
Nein	300 (67.1)	37 (62.7)	337 (66.6)
GCS in Notaufnahme, Durchschnitt (SA [Spanne])	12.9 (4.3 [3 to 15])	13.9 (2.9 [3 to 15])	13.0 (4.2 [3 to 15])
GCS auf ITS,Durchschnitt (SA [Spanne])	9.7 (5.9 [3 to 15])	11.6 (5.4 [3 to 15])	9.9 (5.9 [3 to 15])
Motorradunfall, n (%)*			
Ja	45 (10.1)	13 (22.0)	58 (11.5)
Nein	398 (89.0)	45 (76.3)	443 (87.5)
Übersehen	4 (0.9)	1 (1.7)	5 (1.0)
Zusätzliche Extremitätenverletzung, n (%)**			
Ja	165 (36.9)	58 (98.3)	223 (44.1)
Nein	281 (62.9)	1 (1.7)	282 (55.8)
Übersehen	1 (0.2)	0	1 (0.1)

SA= Standardabweichung, ITS= Intensivstation, GCS= Glasgow Coma Scale *p=0.006, **p<0.001 [25]

4.1 Primäre Analyse

Die radiologischen Befunde der WBCT beinhalteten n=4 knöchernen Verletzungen der Hand- und Handgelenke. Diese wurden durch die Referenzradiologen als richtig positiv bewertet. Somit wurde kein falsch positiver Fall identifiziert. Unter den 502 übrigen Fällen wurden durch die Radiologen n=55 zusätzliche positive Fälle mit Frakturen (n=42), Luxationen (n=2) oder eine Kombination aus beidem (n=11) detektiert, die damit die Gruppe der falsch negativen Primärbefundungen bilden. Es ergaben sich 447 richtig negative Fälle. Die Prävalenz der knöchernen Hand- und Handgelenksverletzungen lag bei 11,7% (n=59), darunter 45 männliche und 14 weibliche Fälle. 55 (93,2%) Fälle wurden während der Primärbefundung übersehen. In Tabelle 2 werden die Ergebnisse der Primärbefundung und der Re-Evaluation nach erneuter, sekundärer Bildgebung und deren diagnostische Genauigkeiten gegenübergestellt.

Tabelle 2. Werte der diagnostischen Genauigkeit der Primärbefundung im WBCT und der sekundären Befundung nach weiterer Bildgebung

Index Test	RP	FP	RN	FN	Sensitivität (95 % KI)	Spezifität (95 % KI)	PPW (95 % KI)	NPW (95 % KI)
Primärbefundung im WBCT	4	0	447	55	6.8% (1.9-16.5%)	100.0% (99.2- 100.0%)	100.0% (39.8- 100.0%)	89.0% (86.0- 91.6%)
Sekundäre Bildgebung und Befundung	47	0	447	12	79.7% (67.2- 89.0%)	100.0% (99.2- 100.0%)	100.0% (92.5- 100.0%)	97.4% (95.5- 98.6%)

(RP= richtig positiv, FP= falsch positiv, RN= richtig negativ, FN= falsch negativ, PPW= positiver prädiktiver Wert, NPW= negativer prädiktiver Wert, KI = Konfidenzintervall) [25]

Es ergab sich eine diagnostische Genauigkeit und Sensitivität der primären Befundung nach WBCT mit Blick auf die Detektion von knöchernen Hand- und Handgelenksverletzungen von nur 6,8% (95% CI 1,9-16,5%) bei einer Spezifität von 100,00% (95% CI, 99,2-100,00%).

Durch die zusätzliche sekundäre Bildgebung wurden weitere 43 Patienten mit knöchernen Hand- und Handgelenkverletzungen detektiert. Die Bildgebung erfolgte in den meisten Fällen (n=36) mittels konventionellem Röntgen und in den übrigen Fällen durch CT (n=6) und MRT (n=1). Somit stellte das Röntgen die Hauptdiagnostik dar. Es blieben jedoch 20,3% (n=12) aller Verletzungen bis zur endgültigen Entlassung unentdeckt. Die diagnostische Sicherheit für die Identifizierung knöcherner Hand- und Handgelenkverletzungen nach Polytrauma erhöhte sich durch die sekundäre Bildgebung in der Patientenkohorte auf eine Sensitivität von 79,7% (95% CI 67,2-89,0%) bei bleibend hoher Spezifität von 100,00% (95% CI 99,2-100,0%). (Tab.2)

4.2 Arten von knöchernen Verletzungen

Insgesamt kam es zu 92 verschiedenen knöchernen Verletzungen, wobei 22 Patienten multiple Verletzungen aufwiesen. Angeführt wurde die Liste von distalen intraartikulären Radiusfrakturen (n=24, 26,1%), gefolgt von Frakturen des Processus styloideus ulnae (n=18, 19,6%), distalen extraartikulären Radiusfrakturen (n=10, 10,9%), distalen Ulnafrakturen (n=6, 6,5%), Frakturen des Os triquetrum (n=5, 5,4%), Kahnbeinfrakturen (n=4, 4,3%), Frakturen des Os pisiforme (n=2, 2,2%), Frakturen des Hamulus ossis hamati (n=2, 2,2%) und Frakturen der verschiedenen Mittelhandknochen (n=19, 20,7%). Lediglich zwei (2,6%) Luxationen wurden beobachtet, wobei eine im distalen Radio-Ulnar-Gelenk und eine im Radio-Karpal-Gelenk gelegen war.

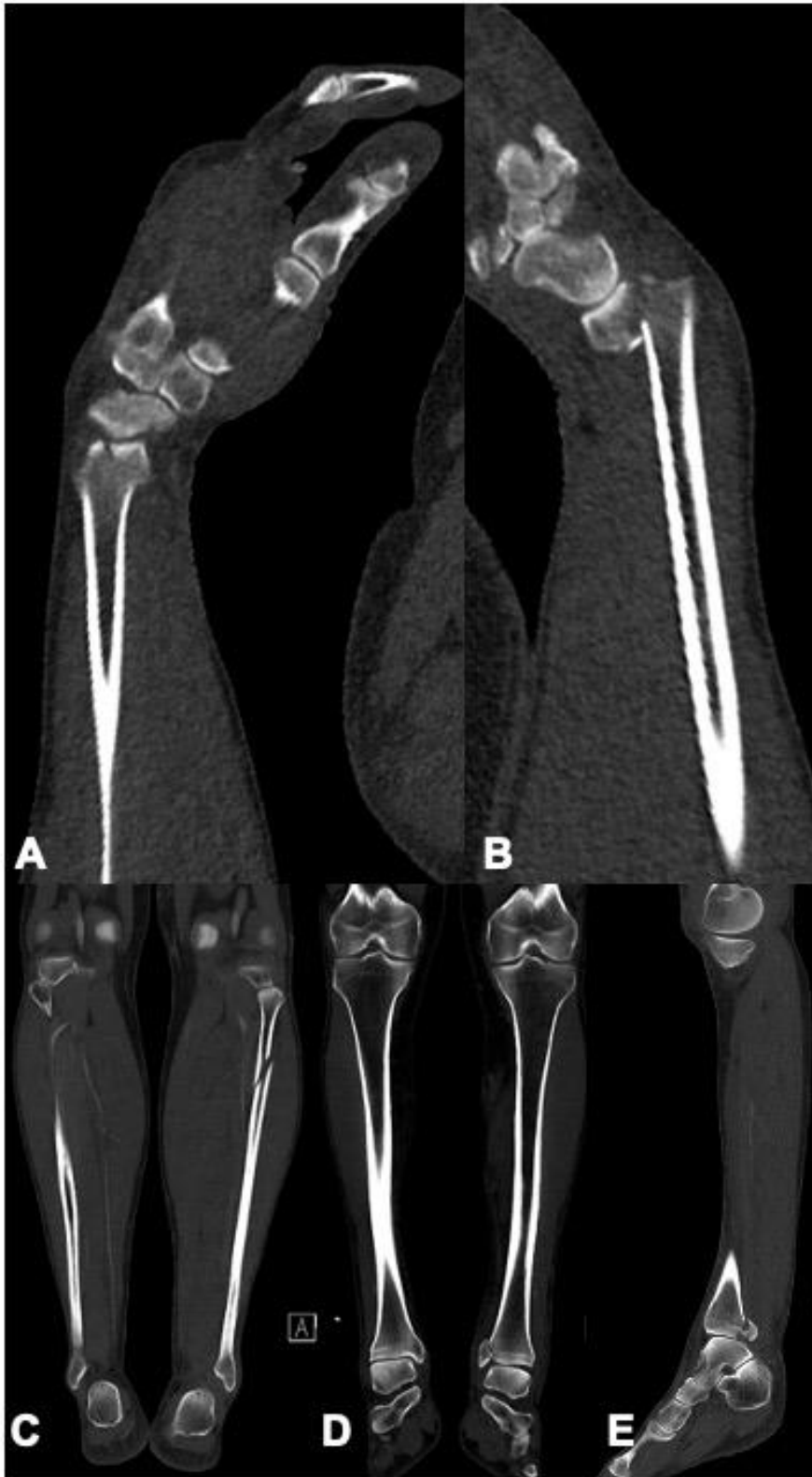


Abbildung 2: Ein 52-jähriger männlicher Patient erlitt einen Motorradunfall und wurde mithilfe eines WBCT untersucht gemäß der S3 Leitlinie für Behandlungen von Polytraumata und Schwerverletzten [Neugebauer]. Rekonstruktionen zeigen sagittal distale intraartikuläre Radiusfrakturen beider Handgelenke (A rechts, B links). Die Bildgebung zeigt zusätzliche Verletzungen der unteren linken Extremität mit proximaler Fraktur der Fibula in der koronalen Rekonstruktion (C), und eine Fraktur des medialen Malleolus in der koronalen (D) und sagittalen Rekonstruktion. [25]

4.3 Einflüsse auf die Verletzungswahrscheinlichkeit

4.3.1 Traumamechanismus

Knöchernen Verletzungen traten in 22 (37,2%) Fällen nach Stürzen auf, in 13 (22%) Fällen nach Motorradunfällen, in 10 (16,9%) Fällen nach Autounfällen, in 7 (11,9%) Fällen nach Fahrradunfällen und in 5 (8,5%) Fällen nach Verkehrsunfällen als Fußgänger. Lediglich zwei Unfallhergänge waren anhand der Patientenakte nicht zuzuordnen, da keine weitere Beschreibung erfolgte. Den häufigsten Grund für eine WBCT (n=219, 49%) stellten Stürze aus Höhen über 3 Metern dar. Signifikant häufiger wurden Motorradunfälle bei Patienten mit knöchernen Handverletzungen beschrieben verglichen mit Patienten ohne knöchernen Hand-/Handgelenkverletzungen (n=45, 10,1%; p=0,006). (Tab. 1, Abb.2)

4.3.2 Vigilanz

Insgesamt wurden 169 (33,4%) Patienten auf der Intensivstation behandelt. Der Anteil an Patienten und Patientinnen mit und ohne knöchernen Hand- und Handgelenkverletzungen unterschied sich nicht signifikant (37,3% vs. 32,9%, p=0,61). Auch der mittlere GCS-Wert war in beiden Patientengruppen ähnlich zum Zeitpunkt der Vorstellung in der Notaufnahme und auf der Intensivstation. Es erfolgte eine weitere Analyse der Patientengruppe auf dichotome Weise für Patienten mit leichter Vigilanzminderung (GCS \geq 13 Punkte) und Patienten mit schwererer Beeinträchtigung (GCS 3-12 Punkte). Der Anteil an übersehenen knöchernen Verletzungen unterschied sich jedoch nicht signifikant zwischen beiden Gruppen (GCS 3-12- 28,6% vs. GCS $>$ 12 – 19,2%, p=0,56).

4.3.3 Verletzungsmuster

Patienten und Patientinnen mit knöchernen Hand- und Handgelenksverletzungen erlitten in 58 (98,3%) Fällen zusätzliche Extremitätenverletzungen, allerdings wurden nur bei 165 (36,9%) der Patientinnen und Patienten ohne knöchernen Hand- und Handgelenkverletzungen begleitende Frakturen der Extremitäten gefunden (p<0,001). (Abb.2) Das Becken war in 16 (27,1 %) Fällen zusätzlich zu den Handgelenks-/Handverletzungen und bei 55 Patientinnen und Patienten (12,3 %) ohne Handgelenks-/Handverletzungen verletzt (p = 0,21). Patientinnen und Patienten mit Handgelenks-

/Handverletzungen wurden in absteigender Häufigkeit an Kopf (n=33, 55,9 %), Thorax (n=18, 30,5 %), Wirbelsäule (n=15, 25,4 %)

und Abdomen (n=5, 8,5%) verletzt. Eine ähnliche Verteilung lag bei Patientinnen und Patienten ohne Handgelenks-/Handverletzungen vor (Kopfverletzungen n=234/52,3 %, Thoraxverletzungen n=162/36,2%, Wirbelsäulenverletzungen n=148/33,1%, abdominelle Verletzungen n=42/9,4 %). Mehr als ein Organsystem wurde in 22 (37,3 %) Fällen mit knöchernen Hand- und Handgelenkverletzungen verletzt und in 182 (40,7 %) Fällen ohne diese knöchernen Verletzungen.

4.3.4 Artefakte

In 114 (22,9%) Fällen wurden Artefakte beschrieben, davon bei n=9 (15,3%) Patientinnen/Patienten mit und bei n=105 (23,5%) Patientinnen/Patienten ohne knöcherne Handgelenks- oder Handverletzungen. In den meisten Fällen wurden Artefakte durch Kontrastmittel innerhalb der Venen (n=73, 62,9%) und Fremdkörper (n=25, 21,6%) verursacht.

4.4 Klinische Relevanz

Insgesamt wurden 23 Patienten chirurgisch und 24 konservativ behandelt. 12 Frakturen blieben bis zur Entlassung unentdeckt. Nach Evaluation dieser Fälle durch eine Handchirurgin ergab sich mit einem zeitlichen Abstand von mindestens 10 Monaten keine Indikation für eine verzögerte Therapie. Alle übersehenen Verletzungen wären mittels Ruhigstellung behandelt worden. In zwei Fällen junger Patienten mit intraartikulärer Radiusfraktur und einer distalen Kahnbeinfraktur erfolgte eine Nachuntersuchung, die jeweils eine regelrechte Frakturheilung zeigte.

5. Diskussion

5.1 Prävalenz

Nach schwerem Trauma betrug die Häufigkeit knöcherner Verletzungen des Handgelenks und der Hand im WBCT in unserer Patientenkohorte 11,7%. Distale intraartikuläre Radiusfrakturen stellten mit 26,1% die häufigste Art der Verletzung dar. Die Inzidenzen schwankten in aktuelleren Bildgebungs- und Registerstudien zwischen 15,5% für Hand- und Unterarmfrakturen bei beatmeten Patienten und 36,1% für Knochen- und Weichteilverletzungen. [2,18] In der Studie von der Ferree et al. wurde eine Inzidenz von 3,5% für Frakturen und Dislokationen der Hand mit einer Prädisposition für Mittelhandfrakturen (48%) ermittelt. [28] Auch in unserer Studie waren von insgesamt 32 Frakturen der Hand die meisten Verletzungen Frakturen der Mittelhandknochen (59,4%).

Die Merkmale der untersuchten Patientenkohorte beeinflussen die Häufigkeit von knöchernen Hand- und Handgelenksverletzungen und es bestehen deutliche Unterschiede zwischen einer CT-Bildgebungsstudie und einer retrospektiven Überprüfung von Patientenakten. In der vorliegenden, aktuellen Studie lag eine geringere Inzidenz knöcherner Handverletzungen vor. Gründe hierfür könnten im Studiendesign liegen. Die Screening-Kohorte bestand aus einer typischen, Traumakohorte, die mittels WBCT in einem Traumazentrum untersucht wurde und deren Definition sich an die deutsche S3-Leitlinie für Polytrauma- und Schwerverletzte anlehnte. [26] Die Vortestwahrscheinlichkeit anderer Studien wurde dadurch erhöht, dass anhand von Patientenakten und Datenbanken der Schweregrad der Verletzungen bestimmt und nur selektierte Patienten und Patientinnen eingeschlossen wurden. [18] Es erscheint wahrscheinlich, dass die Inzidenz knöcherner Hand- und Handgelenksverletzungen in einer Gruppe bestehend aus beatmeten Patienten höher ist, da diese möglicherweise schwerere Verletzungen mit einer größeren Krafteinwirkung erlitten haben.

Unsere Studie und die Veröffentlichung von Fritsche-Oestern et al. zeigten keinen signifikanten Einfluss eines niedrigeren GCS auf das Vorliegen knöcherner Hand- und Handgelenksverletzungen. [18] Außerdem bestand kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Häufigkeit solcher Verletzungen und der Anzahl und Schwere anderer Verletzungen. Anhand der Häufung zusätzlicher Frakturen der Extremitäten und der Überrepräsentation von Motorradunfällen kann allerdings abgeleitet werden, dass ein

Zusammenhang mit dem Unfallhergang bzw. der Wucht des Traumas und dem Auftreten von Hand- und Handgelenkverletzungen besteht. Knöcherne Hand- und Handgelenkverletzungen können entweder durch ein punktuelltes Mono-Trauma, wie es bei einem Sturz entsteht oder im Rahmen komplexer Verletzungen mit hoher Geschwindigkeit und multiplen Frakturen. [17,29] Ein fundiertes Verständnis der Trauma-Mechanismen könnte daher bei der Diagnostik knöcherner Verletzungen des Handgelenks und der Hand helfen.

5.2 Dunkelziffer

Im Rahmen unserer Studie ergab sich in 93,2% der knöchernen Verletzungen eine Untererfassung, da eine geringe Genauigkeit des WBCT in der Erstbefundung bestand. Erst im Verlauf durch die erneute klinische Untersuchung und sekundäre Bildgebung reduzierte sich die Zahl der übersehenen Frakturen auf 20,3%. In der Literatur schwankt die Zahl übersehener Frakturen zwischen 4,1 und 32,9%. [18,19,30] Übersehene knöcherne Hand- und Handgelenkverletzungen waren in der Literatur bei intubierten und schwer verletzten Patienten wahrscheinlicher. [31,32] Dieser Zusammenhang konnte in unserer Studie nicht nachgewiesen werden. Eine höhere Wahrscheinlichkeit für die Unterdiagnostik von Frakturen und anderen Verletzungen stellt auch das Eintreffen von Patienten während des Bereitschaftsdienstes dar. [19,33]

Eine wichtige Rolle spielt auch die Subtilität der Frakturen im diagnostischen Prozess. [34] In der Studie von Pfeifer und Pape waren 15-22,3% aller übersehenen Frakturen klinisch relevant. [30] In unserer aktuellen Studie wäre keine der 12 übersehenen Verletzungen operativ behandelt worden, allerdings hätte eine konservative Behandlung mit Ruhigstellung der Frakturen durch die richtige Diagnose möglicher Weise zu einem besseren klinischen Ergebnis führen können.

Zur Diagnostik von Extremitätenfrakturen sind laut einigen Autoren Röntgenbilder unverzichtbar und eine verbesserte Ausbildung von Klinikern und Radiologen könnte die Anzahl übersehener Frakturen reduzieren. [34,35,36] Die Nutzung der WBCT zur Diagnostik im Sinne einer Ganzkörperuntersuchung von Kopf bis Fuß im Kontext des ALARA-Prinzips in der Radiologie (= as low as reasonably achievable) erfordert eine kritische Diskussion über die Möglichkeiten und Limitationen der WBCT. [37] Die Strahlenbelastung, die durch zusätzliche Röntgenaufnahmen der Hände und Handgelenke entsteht, ist relativ gering, jedoch könnte sie durch fokussierte

Rekonstruktionen aus der WBCT vollständig vermieden werden. [38] Zunächst steht während der Untersuchung eines Polytrauma-Patienten der Erhalt der Vitalfunktionen im Vordergrund diagnostischer und therapeutischer Bemühungen. Aus diesem Grund stellt die Anfertigung multiplanarer Rekonstruktionen einzelner Hände keine primäre Tätigkeit dar, da sie zeitaufwändig und nicht automatisiert ist. Die Bedeutung dieser Rekonstruktionen ist unbestreitbar im Hinblick auf die teils schwer beurteilbare Lagerung der Hände während der WBCT. Studien zum zusätzlichen Nutzen dieser Rekonstruktionen in unterschiedlichen Ebenen z.B. für die Diagnose von Kahnbeinfrakturen, existieren bereits. [39]

5.3 Diagnostischer Algorithmus zur verbesserten Erkennung von knöchernen Handgelenks- und Handverletzungen

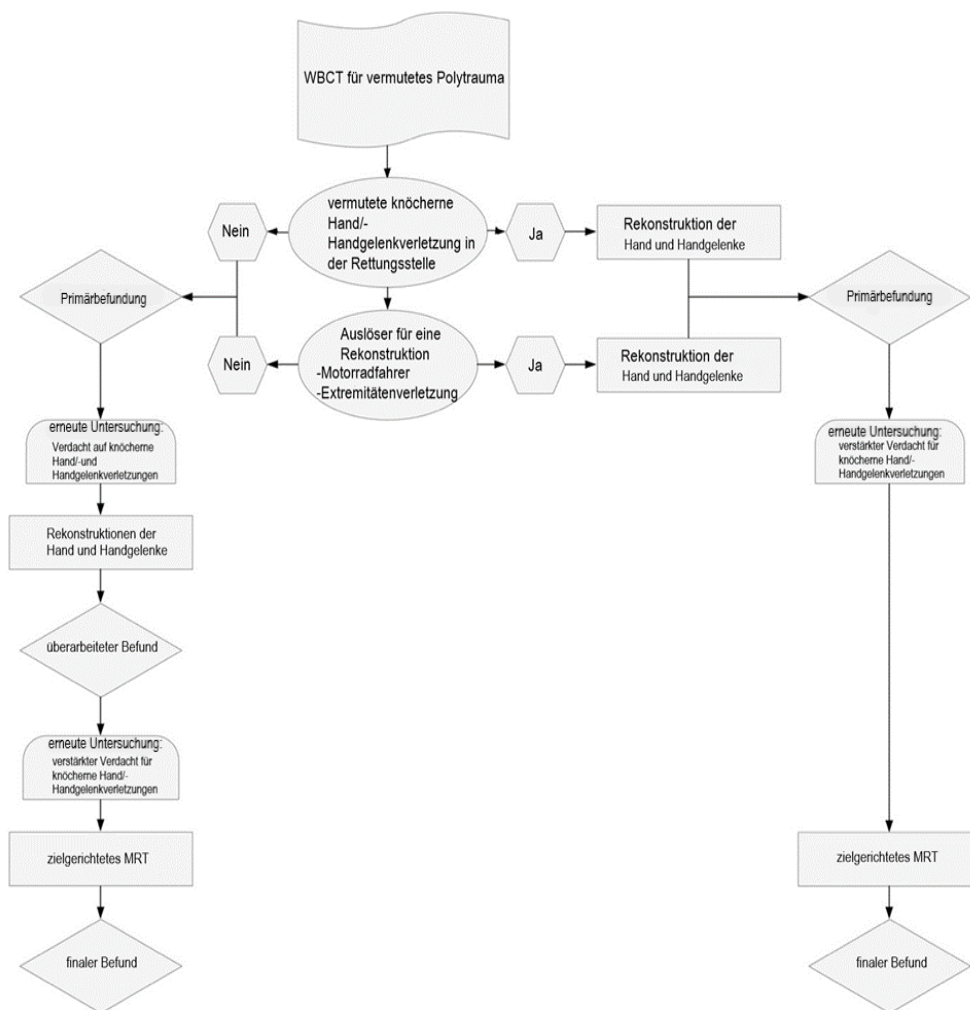


Abbildung 3: Vorgeschlagener Algorithmus für die Erhöhung der Detektionsrate knöcherner Hand/- und Handgelenkverletzungen gemäß dem Konzept der Tertiäruntersuchung.[25]

Die vorhandene Bildgebung nach einem Polytrauma wird in der Klinik durch das Konzept der erneuten klinischen Untersuchung und die Re-Evaluation der vorhandenen Bildgebung ergänzt und stellt somit das Routineverfahren dar. Im Falle einer vermuteten Hand- oder Handgelenksfraktur kommt es häufig zu erneuter Bildgebung, wodurch die Detektion knöcherner Verletzungen von 6,8% auf 79,7% gesteigert werden kann. Unsere Studie suggeriert, dass auch durch dezidierte Rekonstruktionen der Anteil an detektierbaren Verletzungen steigt.

Das Prinzip der Tertiäruntersuchung ist in der Unfallchirurgie üblich und bedingt in der Regel eine zusätzliche klinische Untersuchung innerhalb von 24 Stunden nach Aufnahme. In dieser Phase wurden einige Patienten in der Regel bereits extubiert und mobilisiert. [40] Im Rahmen der tertiären Untersuchung kommt es zu einer erneuten Bewertung der Bildgebung, was den Anteil an übersehenen Verletzungen reduziert. [15,41] Dabei wird die Begutachtung der Hand und des Handgelenks vertieft, vor allem wenn die Umstände wie z.B. die Art des Unfalls und die Begleitverletzungen, die Wahrscheinlichkeit für knöcherner Hand-/Handgelenkverletzungen erhöht. Die wiederholte klinische Untersuchung und die hierbei erhobenen Verdachtsdiagnosen ermöglichen nicht nur die bereits durchgeführte Bildgebung zu reevaluieren, sondern auch die nötigen multiplanaren Rekonstruktionen zu erstellen, um ossäre Verletzungen ohne weitere Strahlenbelastung rechtzeitig zu bestätigen oder auszuschließen. [42] In seltenen Fällen kann auch die MRT helfen, okkulte Frakturen nach der klinischen Stabilisierung von Polytraumapatienten zu erkennen. [43,44] Durch Verbesserungen auf dem Feld der künstlichen Intelligenz könnten in Zukunft die multiplanaren Rekonstruktionen der Hand- und Handgelenke aus dem WBCT automatisch erstellt und damit die Detektionsrate und die diagnostische Leistung weiter verbessert werden. [45]

5.4 Limitationen

Das vorliegende retrospektive Studiendesign ist anfällig für Verzerrungen und fehlende Daten. Als Gegenmaßnahme wurde die Transparenz der Studie durch den Einschluss konsekutiver Patienten erhöht und die Einhaltung der STROBE-Standards anvisiert. Des Weiteren erschweren das explorative Studiendesign und somit das Fehlen einer belastbaren Fallzahlplanung statische Aussagen. Nichtsdestotrotz sind Erkenntnisse, wie die hohe Inzidenz von Motorradunfällen in der Kohorte mit Hand- und Handgelenkverletzungen, hilfreich für den klinischen Alltag. Darüber hinaus ist eine der Stärken der Studie die große Anzahl von insgesamt 1012 multiplanar rekonstruierten Handgelenken/Händen trotz des monozentrischen Designs. Die detaillierte

Auseinandersetzung mit den Patientenakten reduzierte die Menge fehlender Daten. Schließlich war ein Interobserver-Vergleich des Referenztests nicht Teil der Studie. Allerdings konnte die diagnostische Genauigkeit anhand des Goldstandards (radiologische Reevaluation) ermittelt werden. [27]

5.5 Schlussfolgerung

Nach Polytrauma finden sich in 11,7% der Fälle Hand- und Handgelenkverletzungen im WBCT der vorliegenden Kohorte. 93,2% der Verletzungen wurden im Rahmen der Primärbefundung übersehen, weshalb eine sehr geringe Sensitivität der WBCT während der Erstbeurteilung besteht. Motorradunfälle prädisponieren für Hand- und Handgelenkverletzungen und Hand-/Handgelenkverletzungen gehen häufig mit weiteren Verletzungen der Extremitäten einher.

Für eine zuverlässige Erkennung von knöchernen Verletzungen der Hand- und des Handgelenks sind eine erneute klinische Untersuchung der Patienten und Patientinnen nach Polytrauma sowie eine sorgfältige Neubewertung des WBCT mit Erstellung spezifischer multiplanarer Rekonstruktionen unerlässlich.

6. Zusammenfassung

Ziel: Es wurde die Inzidenz knöcherner Hand- und Handgelenkverletzungen im WBCT in einem städtischen Traumazentrum der Maximalversorgung untersucht und die Dunkelziffer der übersehenen Frakturen in der primären radiologischen Diagnostik beschrieben. Außerdem wurden assoziierte Faktoren für das Auftreten und das Übersehen von knöcherner Hand- und Handgelenkverletzungen beleuchtet.

Material und Methoden: Es handelt sich um eine retrospektive Kohortenstudie mit Screening aller WBCT in einem Zeitraum von insgesamt acht Monaten. Im ersten Schritt wurden die Hände- und Handgelenke in drei Ebenen mit einer Schichtdicke von 1-2mm rekonstruiert und diese durch einen unabhängigen Radiologen begutachtet. Anschließend wurden die primären Befunde mit dem Referenztest, der Reevaluation der WBCT, verglichen. Hieraus wurde die diagnostische Genauigkeit des WBCT im Rahmen der primären Befundung abgeleitet. Beeinflussende Faktoren (GCS, Artefakte, Trauma-Mechanismus, begleitende Verletzungen) wurden ermittelt und ein Algorithmus zur Verbesserung der Detektionsrate entwickelt.

Ergebnisse: Insgesamt wurden 506 WBCT im genannten Zeitraum von 01/2020 bis 08/2020 in die Studie eingeschlossen. Es zeigten sich in 59 (11,7%) WBCT 92 knöcherner Hand- und Handgelenkverletzungen. Distale intraartikuläre Radiusfrakturen traten am häufigsten auf (n=24, 26,1%) und bei 22 Patienten (37,3%) kam es zu multiplen Verletzungen. 4 Fälle wurden primär korrekt als positiv gewertet, was einer äußerst geringen Sensitivität und einer hohen Spezifität des WBCT bei der Primärbefundung entspricht (Sensitivität 6,8%; 95% CI 1,9 - 16,5; Spezifität 100%; 95% CI 99,2 bis 100,0). Nach zusätzlicher, sekundärer Bildgebung und klinischer Neubewertung wurden 43 weitere positive Fälle (72,9%) identifiziert. Insgesamt 12 Verletzungen blieben unentdeckt (20,3%). Motorradunfälle prädisponierten für knöcherner Hand- und Handgelenkverletzungen (22% vs. 10,1% in einer Polytraumavergleichsgruppe ohne Hand-/Handgelenksfrakturen, p=0,006). In 98% der Fälle kam es zusätzlich zu weiteren Frakturen der Extremitäten, wobei nur 37% der Patienten ohne knöcherner Hand- und Handgelenkverletzungen zusätzliche Extremitätenfrakturen aufwiesen (p<0,001). Weitere Aspekte wie die Vigilanz und das Vorliegen von Artefakten stellten keine signifikanten Beeinflussungsfaktoren dar.

Schlussfolgerung: Die Prävalenz knöcherner Hand- und Handgelenkverletzungen im WBCT nach einem Polytrauma betrug 11,7% in der Kohorte. 93,2% wurden in der

Primäruntersuchung übersehen. Knöcherner Hand- und Handgelenkverletzungen gehen oft mit weiteren Frakturen der Extremitäten einher und treten häufiger nach Motorradunfällen auf. Durch wiederholte klinische Bewertungen und sekundäre radiologische Reevaluierung einer WBCT mit multiplanaren Rekonstruktionen der Hände kann die Zahl der übersehenen Frakturen bei Polytraumapatienten reduziert werden.

7. Literaturverzeichnis

1. M.O. Philipp, K. Kubin, M. Ho"rmann, V.M. Metz Radiological emergency room management with emphasis on multidetector-row CT 2003; doi:10.1016/S0720-048X(03)00206-7
2. Münn F, Laun RA, Asmus A, et al. Detection of fractures of hand and forearm in whole-body CT for suspected polytrauma in intubated patients. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):49. Published 2020 Jan 22. doi:10.1186/s12891-020-3068-0
3. Janjua KJ, Sugrue M, Deane SA. Prospective evaluation of early missed injuries and the role of tertiary trauma survey. *J Trauma.* 1998;44(6):1000-1007. doi:10.1097/00005373-199806000-00012
4. Eurin M, Haddad N, Zappa M, et al. Incidence and predictors of missed injuries in trauma patients in the initial hot report of whole-body CT scan. *Injury.* 2012;43(1):73-77. doi:10.1016/j.injury.2011.05.019
5. Pehle B, Kuehne CA, Block J, et al. Die Bedeutung von verzögert diagnostizierten Läsionen bei Polytraumatisierten. Eine Studie an 1187 Schockraumpatienten [The significance of delayed diagnosis of lesions in multiply traumatised patients. A study of 1,187 shock room patients]. *Unfallchirurg.* 2006;109(11):964-976. doi:10.1007/s00113-006-1161-y
6. Roessle TR, Freitas CD, Moscovici HF, et al. Tertiary assessment of trauma patients in a hospital in the city of São Paulo: a question of necessity. *Rev Bras Ortop.* 2013;48(4):357-361. Published 2013 Sep 27. doi:10.1016/j.rboe.2012.08.007
7. Wouter J Vles, MD, Eelco J Veen, MD, Jan A Roukema Consequences of Delayed Diagnoses in Trauma Patients: A prospective study 2003; doi:10.1016/S1072-7515(03)00601-X
8. Janet Howard, Rajalakshmy Sundararajan, Scott G. Thomas Reducing Missed Injuries at a Level II Trauma Center 2006; *Journal of Trauma Nursing*
9. Thomson CB, Greaves I. Missed injury and the tertiary trauma survey. *Injury.* 2008;39(1):107-114. doi:10.1016/j.injury.2007.07.030
10. Yin ZG, Zhang JB, Kan SL, Wang XG. Diagnostic accuracy of imaging modalities for suspected scaphoid fractures: meta-analysis combined with latent class analysis. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(8):1077-1085. doi:10.1302/0301-620X.94B8.28998
11. Kahn J, Grupp U, Maurer M. How does arm positioning of polytraumatized patients in the initial computed tomography (CT) affect image quality and diagnostic accuracy?. *Eur J Radiol.* 2014;83(1):e67-e71. doi:10.1016/j.ejrad.2013.10.002
12. Hickethier T, Mammadov K, Baeßler B, et al. Whole-body computed tomography in trauma patients: optimization of the patient scanning position significantly shortens

- examination time while maintaining diagnostic image quality. *Ther Clin Risk Manag.* 2018;14:849-859. Published 2018 May 7. doi:10.2147/TCRM.S162074
13. Robertson R, et al. Missed injuries in a rural area trauma center. *Am J Surg.* 1996;172(5):564-7 discussion567-8
 14. Houshian S, Larsen MS, Holm C. Missed injuries in a level I trauma center. *J Trauma.* 2002;52(4):715-719. doi:10.1097/00005373-200204000-00018
 15. Howard J, Sundararajan R, Thomas SG, Walsh M, Sundararajan M. Reducing missed injuries at a level II trauma center. *J Trauma Nurs.* 2006 Jul-Sep;13(3):89-95. doi: 10.1097/00043860-200607000-00003. PMID: 17052086.
 16. Pfeifer R, Pape HC. Missed injuries in trauma patients: A literature review. *Patient Saf Surg.* 2008;2:20. Published 2008 Aug 23. doi:10.1186/1754-9493-2-20
 17. Ferree S, van der Vliet QMJ, Nawijn F, Bhashyam AR, Houwert RM, Leenen LPH, Hietbrink F. Epidemiology of distal radius fractures in polytrauma patients and the influence of high traumatic energy transfer. *Injury.* 2018 Mar;49(3):630-635. doi: 10.1016/j.injury.2018.02.003. Epub 2018 Feb 5. PMID: 29429577.
 18. Fitschen-Oestern S, Lippross S, Lefering R, Klüter T, Behrendt P, Weuster M, Seekamp A, Dgu T. Missed hand and forearm injuries in multiple trauma patients: An analysis from the TraumaRegister DGU®. *Injury.* 2020 Jul;51(7):1608-1617. doi: 10.1016/j.injury.2020.04.022. Epub 2020 May 8. PMID: 32434714
 19. Kim S, Goelz L, Münn F, Kim D, Millrose M, Eisenschenk A, Thelen S, Lautenbach M. Detection of missed fractures of hand and forearm in whole-body CT in a blinded reassessment. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021 Jun 26;22(1):589. doi: 10.1186/s12891-021-04425-z. PMID: 34174869; PMCID: PMC8236191.
 20. Mark G. Das Schicksal des polytraumatisierten Patienten mit einer "Bagatellverletzung" an der Hand [The fate of the polytraumatized patient with a "minor injury" of the hand]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 1989;21(1):51-54.
 21. Ciclamini D, Panero B, Titolo P, Tos P, Battiston B. Particularities of hand and wrist complex injuries in polytrauma management. *Injury.* 2014;45(2):448-451. doi:10.1016/j.injury.2013.09.016
 22. Neugebauer E, Krettek C; German Society of Trauma Surgery (DGU). S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung. Auf die Implementierung kommt es an! [S3 guidelines on treatment of polytrauma/severe injuries. What matters is the implementation!]. *Unfallchirurg.* 2012 Jan;115(1):6-7. German. doi: 10.1007/s00113-011-2101-z. PMID: 22274597

23. Amt für Statistik-Berlin-Brandenburg: <https://statistik-berlin-brandenburg.de>; Pressemitteilung 219 vom 08.09.2021: Einwohnerzahl im 1. Halbjahr 2021 erneut gesunken; letzter Zugriff: 08.04.2022
24. von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC et al.. Das Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE-) Statement [The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting of observational studies]. *Internist (Berl)*. 2008 Jun;49(6):688-93. German. doi: 10.1007/s00108-008-2138-4. PMID: 18511988
25. Schmehl L, Hönning A, Asmus A et al. Incidence and underreporting of osseous wrist and hand injuries on whole-body computed tomographies at a Level 1 trauma center. *BMC Musculoskelet Disord* 22, 866 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04754-z>
26. Lendemans S, Ruchholtz S; German Society of Trauma Surgery (DGU). S3-Leitlinie Polytrauma/Schwererletzten-Behandlung. Schockraumversorgung [S3 guideline on treatment of polytrauma/severe injuries. Trauma room care]. *Unfallchirurg*. 2012 Jan;115(1):14-21. German. doi: 10.1007/s00113-011-2103-x. PMID: 22274599
27. Bossuyt PM, Reitsma JB, Bruns DE, Gatsonis CA, Glasziou PP, Irwig LM, Moher D, Rennie D, de Vet HC, Lijmer JG; Standards for Reporting of Diagnostic Accuracy. The STARD statement for reporting studies of diagnostic accuracy: explanation and elaboration. *Ann Intern Med*. 2003 Jan 7;138(1):W1-12. doi: 10.7326/0003-4819-138-1-200301070-00012-w1. PMID: 12513067
28. Ferree S, van der Vliet QMJ, van Heijl M, Houwert RM, Leenen LPH, Hietbrink F. Fractures and dislocations of the hand in polytrauma patients: Incidence, injury pattern and functional outcome. *Injury*. 2017;48(4):930-935. doi:10.1016/j.injury.2017.02.034
29. MacIntyre NJ, Dewan N. Epidemiology of distal radius fractures and factors predicting risk and prognosis. *J Hand Ther*. 2016 Apr-Jun;29(2):136-45. doi: 10.1016/j.jht.2016.03.003. PMID: 27264899.
30. Pfeifer R, Pape HC. Missed injuries in trauma patients: A literature review. *Patient Saf Surg*. 2008;2:20. Published 2008 Aug 23. doi:10.1186/1754-9493-2-20
31. Montmany S, Navarro S, Rebas P, Hermoso J, Hidalgo JM, Cánovas G. Estudio prospectivo de la incidencia de las lesiones inadvertidas en el paciente politraumatizado [A prospective study on the incidence of missed injuries in trauma patients]. *Cir Esp*. 2008 Jul;84(1):32-6. Spanish. doi: 10.1016/s0009-739x(08)70601-8. PMID: 18590673.
32. Chen CW, Chu CM, Yu WY, Lou YT, Lin MR. Incidence rate and risk factors of missed injuries in major trauma patients. *Accid Anal Prev*. 2011 May;43(3):823-8. doi: 10.1016/j.aap.2010.11.001. Epub 2010 Dec 3. PMID: 21376872.

33. Mazahir S, Pardhan A, Rao S. Office hours vs after-hours. Do presentation times affect the rate of missed injuries in trauma patients? *Injury*. 2015 Apr;46(4):610-5. doi: 10.1016/j.injury.2015.01.016. Epub 2015 Jan 16. PMID: 25636534.
34. Wei CJ, Tsai WC, Tiu CM, Wu HT, Chiou HJ, Chang CY. Systematic analysis of missed extremity fractures in emergency radiology. *Acta Radiol*. 2006 Sep;47(7):710-7. doi: 10.1080/02841850600806340. PMID: 16950710.
35. Tyson S, Hatem SF. Easily Missed Fractures of the Upper Extremity. *Radiol Clin North Am*. 2015 Jul;53(4):717-36, viii. doi: 10.1016/j.rcl.2015.02.013. PMID: 26046507.
36. Pinto A, Berritto D, Russo A, Riccitiello F, Caruso M, Belfiore MP, Papapietro VR, Carotti M, Pinto F, Giovagnoni A, Romano L, Grassi R. Traumatic fractures in adults: missed diagnosis on plain radiographs in the Emergency Department. *Acta Biomed*. 2018 Jan 19;89(1-S):111-123. doi: 10.23750/abm.v89i1-S.7015. PMID: 29350641; PMCID: PMC6179080.
37. Andresz S, Gilchrist J, Gimenez IC, Vermeersch F. Synthesis of the European ALARA Network 18th Workshop. *J Radiol Prot*. 2020 May 20. doi: 10.1088/1361-6498/ab9508. Epub ahead of print. PMID: 32434162.
38. Nekolla EA, Schegerer AA, Griebel J, Brix G. Häufigkeit und Dosis diagnostischer und interventioneller Röntgenanwendungen : Trends zwischen 2007 und 2014 [Frequency and doses of diagnostic and interventional X-ray applications : Trends between 2007 and 2014]. *Radiologe*. 2017 Jul;57(7):555-562. German. doi: 10.1007/s00117-017-0242-y. PMID: 28361179.
39. Mallee WH, Doornberg JN, Ring D, Maas M, Muhl M, van Dijk CN, Goslings JC. Computed tomography for suspected scaphoid fractures: comparison of reformations in the plane of the wrist versus the long axis of the scaphoid. *Hand (N Y)*. 2014 Mar;9(1):117-21. doi: 10.1007/s11552-013-9556-z. PMID: 24570648; PMCID: PMC3928374.
40. Keijzers GB, Giannakopoulos GF, Del Mar C, Bakker FC, Geeraedts LM Jr. The effect of tertiary surveys on missed injuries in trauma: a systematic review. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2012 Nov 29;20:77. doi: 10.1186/1757-7241-20-77. PMID: 23190504; PMCID: PMC3546883.
41. Vles WJ, Veen EJ, Roukema JA, Meeuwis JD, Leenen LP. Consequences of delayed diagnoses in trauma patients: a prospective study. *J Am Coll Surg*. 2003 Oct;197(4):596-602. doi: 10.1016/S1072-7515(03)00601-X. PMID: 14522329.
42. Schädel-Höpfner M, Siebert H. Operative Versorgungsstrategien für Handverletzungen beim Polytrauma. Eine systematische Literaturübersicht [Operative strategies for hand injuries in multiple trauma. A systematic review of the literature]. *Unfallchirurg*. 2005;108(10):850-857. doi:10.1007/s00113-005-0996-y

43. Clementson M, Thomsen N, Björkman A. Diagnostik och behandling av akuta skafoideumfrakturer [Scaphoid fractures - Guidelines for diagnosis and treatment]. *Lakartidningen*. 2019 Jun 18;116:FL9M. Swedish. PMID: 31211404.
44. Jørgsholm P, Thomsen NO, Besjakov J, Abrahamsson SO, Björkman A. The benefit of magnetic resonance imaging for patients with posttraumatic radial wrist tenderness. *J Hand Surg Am*. 2013 Jan;38(1):29-33. doi: 10.1016/j.jhsa.2012.09.034. Epub 2012 Nov 30. PMID: 23200950.
45. Scholtz JE, Wichmann JL, Kaup M, Fischer S, Kerl JM, Lehnert T, Vogl TJ, Bauer RW. First performance evaluation of software for automatic segmentation, labeling and reformation of anatomical aligned axial images of the thoracolumbar spine at CT. *Eur J Radiol*. 2015 Mar;84(3):437-442. doi: 10.1016/j.ejrad.2014.11.043. Epub 2014 Dec 13. PMID: 25554009.

8. Abkürzungsverzeichnis

ALARA: as low as reasonably achievable

CT: Computertomographie

DRKS: Deutsches Register Klinischer Studien

FN: falsch negativ

FP: falsch positiv

GCS: Glasgow Coma Scale

ITS: Intensivstation

KI: Konfidenzintervall

MRT: Magnetresonanztomographie

NPW: negative prädiktive Werte

PPW: positive prädiktive Werte

RN: richtig negativ

RP: richtig positiv

SA: Standardabweichung

STARD: Standards for Reporting of Diagnostic Accuracy

STROBE: Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology

WBCT: Ganzkörpertomographie

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Charakteristika der Polytrauma Patienten.....	11
Tabelle 2: Werte der diagnostischen Genauigkeit der Primärbefundung im WBCT und der sekundären Befundung nach weiterer Bildgebung.....	12

10. Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Studiendesign gemäß den STROBE- und STARD-Richtlinien mit Angaben zur Aufnahme, zum Ausschluss und zum Vergleich zwischen dem Index-Test (primärer radiologischer Befund) und dem Referenz-Test (erneute Bewertung durch Radiologen).....7
- Abbildung 2:** Ein 52-jähriger männlicher Patient erlitt einen Motorradunfall und wurde mithilfe eines WBCT untersucht gemäß der S3 Leitlinie für Behandlungen von Polytraumata und Schwerverletzten [Neugebauer]. Rekonstruktionen zeigen sagittal distale intraartikuläre Radiusfrakturen beider Handgelenke (A rechts, B links). Die Bildgebung zeigt zusätzliche Verletzungen der unteren linken Extremität mit proximaler Fraktur der Fibula in koronaler Rekonstruktion (C), und eine Fraktur des medialen Malleolus in koronalen (D) und sagittalen Rekonstruktionen.....14
- Abbildung 3:** Vorgeschlagener Algorithmus für die Erhöhung der Detektionsrate knöcherner Hand/- und Handgelenkverletzungen gemäß dem Konzept der Tertiäruntersuchung.....19

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während der Anfertigung dieser Dissertation unterstützt haben. Insbesondere gilt mein Dank den folgenden Personen, ohne deren Hilfe die Anfertigung dieser Doktorarbeit niemals zustande gekommen wären: Mein Dank gilt zunächst meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Mutze, für die Betreuung dieser Arbeit sowie der freundlichen Hilfe und Unterstützung, insbesondere bei Dr. Leonie Goelz, die im Rahmen dieses Themas sehr wichtig waren. Insbesondere der konstruktive Austausch und die regelmäßigen Gespräche auf fachlicher und persönlicher Ebene waren stets eine große Hilfe für mich und haben mich stets positiv beeinflusst und ermutigt. Meiner Freundin Linda danke ich von ganzem Herzen für ihre uneingeschränkte Unterstützung, ihre Liebe und Motivation. Darüber hinaus gilt mein Dank meinen Eltern, Freunden und Studienkollegen, die mich auch in schwierigen Zeiten unterstützt und immer wieder aufgeheitert haben.

RESEARCH

Open Access



Incidence and underreporting of osseous wrist and hand injuries on whole-body computed tomographies at a level 1 trauma center

L. Schmehl¹, A. Hönning², A. Asmus³, S. Kim⁴, S. Mutze^{1,5}, A. Eisenschenk^{3,4} and L. Goelz^{1,5*}

Abstract

Background: To investigate the incidence of osseous wrist and hand injuries on whole-body computed tomographies (WBCT) at an urban maximum-care trauma center, to report the number of missed cases in primary radiology reports, and to develop an algorithm for improved detection of these injuries.

Methods: Retrospective analysis reviewing all WBCT for a period of 8 months for osseous wrist and hand injuries. (1) Reconstruction of hands/wrists in three planes (thickness 1–2 mm) and analysis by a blinded musculoskeletal radiologist. (2) Scanning of primary radiology reports and comparison to the re-evaluation. (3) Calculation of the diagnostic accuracy of WBCT during primary reporting. (4) Search for factors potentially influencing the incidence (trauma mechanism, associated injuries, Glasgow Coma Scale, artifacts). (5) Development of an algorithm to improve the detection rate.

Results: Five hundred six WBCT were included between 01/2020 and 08/2020. 59 (11.7%) WBCT showed 92 osseous wrist or hand injuries. Distal intra-articular radius fractures occurred most frequently ($n = 24$, 26.1%); 22 patients (37.3%) showed multiple injuries. The sensitivity of WBCT in the detection of wrist and hand fractures during primary evaluation was low with 4 positive cases identified correctly (6.8%; 95% CI 1.9 to 16.5), while the specificity was 100% (95% CI 99.2 to 100.0). Forty-three cases (72.9%) were detected on additional imaging after clinical reassessment. Twelve injuries remained undetected (20.3%). Motorcycle accidents were more common in positive cases (22.0% vs. 10.1%, $p = 0.006$). 98% of positive cases showed additional fractures of the upper and/or lower extremities, whereas 37% of the patients without osseous wrist and hand injuries suffered such fractures ($p < 0.001$). The remaining investigated factors did not seem to influence the occurrence.

Conclusion: Osseous wrist and hand injuries are present in 11.7% on WBCT after polytrauma. 93.2% of injuries were missed primarily, resulting in a very low sensitivity of WBCT during primary reporting. Motorcycle accidents might predispose for these injuries, and they often cause additional fractures of the extremities. Clinical re-evaluation of patients and secondary re-evaluation of WBCT with preparation of dedicated multiplanar reformations are essential in polytrauma cases to detect osseous injuries of wrist and hand reliably.

*Correspondence: Leonie.Goelz@ukb.de

¹ Department of Radiology and Neuroradiology, BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin, Warener Str. 7, 12683 Berlin, Germany
Full list of author information is available at the end of the article



© The Author(s) 2021. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

Trial registration: The study was registered prospectively on November 17th, 2020, at the German register for clinical trials (DRKS-ID: [DRKS00023589](https://www.drks.de/DRKS00023589)).

Keywords: Osseous injuries, Wrist, Hand, Missed injuries, Underreporting, Whole-body computed tomographies, WBCT, Polytrauma

Background

Extremity injuries are frequently missed on whole-body computed tomographies (WBCT) depending on the patients' ability to express pain and the severity of additional injuries. Hence, overlooking of injuries is more likely to occur in cases of old, critically injured, and unconscious patients [1, 2]. The quality of clinical exams and imaging, the experience of physicians, and their interdisciplinary cooperation also influence detection rates of injuries [3]. In an effort to reduce the number of missed injuries, the concept of repeated examinations was introduced: within a defined time-window after an accident, after stabilization of a patient, or after the patient regains consciousness, another thorough clinical exam is conducted, and existing diagnostic imaging is reviewed or complemented [4]. Injuries are then detected with a delay, but fractures of the extremities can usually be treated in a timely fashion [5].

Difficulties during interpretation of WBCT can occur because of artifacts which increase due to unfavorable bedding of patients for WBCT acquisition [6, 7]. Fractures of the carpus are detected on dedicated thin-slice CT of less than 1 mm thickness more accurately [8]. Additionally, reconstruction of each hand and wrist in coronal and sagittal planes after WBCT is intricate which makes thorough examination of these body parts very time-consuming after polytrauma.

Existing literature describes 14–60% extremity fractures among all missed injuries [3, 4, 9]. In a meta-analysis from 2008, 4–33% of extremity fractures were located at the hand or wrist after polytrauma [10]. Recent studies on the prevalence of osseous wrist and hand fractures in polytraumatized patients at specialized centers are often based on patient records or trauma registries [11, 12]. However, imaging studies with modern computed tomography (CT) scanners could possibly visualize more subtle injuries and allow for introduction of a reference test through review by experienced musculoskeletal radiologists. Münn et al. reported 15.5% hand and forearm fractures upon retrospective review of ventilated trauma patients on WBCT [13]. We examined factors influencing the visibility of these injuries on WBCT in this cohort previously [14]. Yet, osseous injuries of the wrist and hand are relevant for all polytrauma patients, especially if

long-term damages can be prevented and the working ability can be restored [15, 16].

In 2011 twenty different medical societies first co-published the German S3 guideline for the treatment of polytrauma and the severely injured and defined indications for WBCT after trauma [17]. This current study aims to assess the prevalence, injury patterns, trauma mechanisms, and potentially influencing factors of osseous wrist and hand fractures in a real-life polytrauma patient cohort examined with WBCT at a level 1 trauma center.

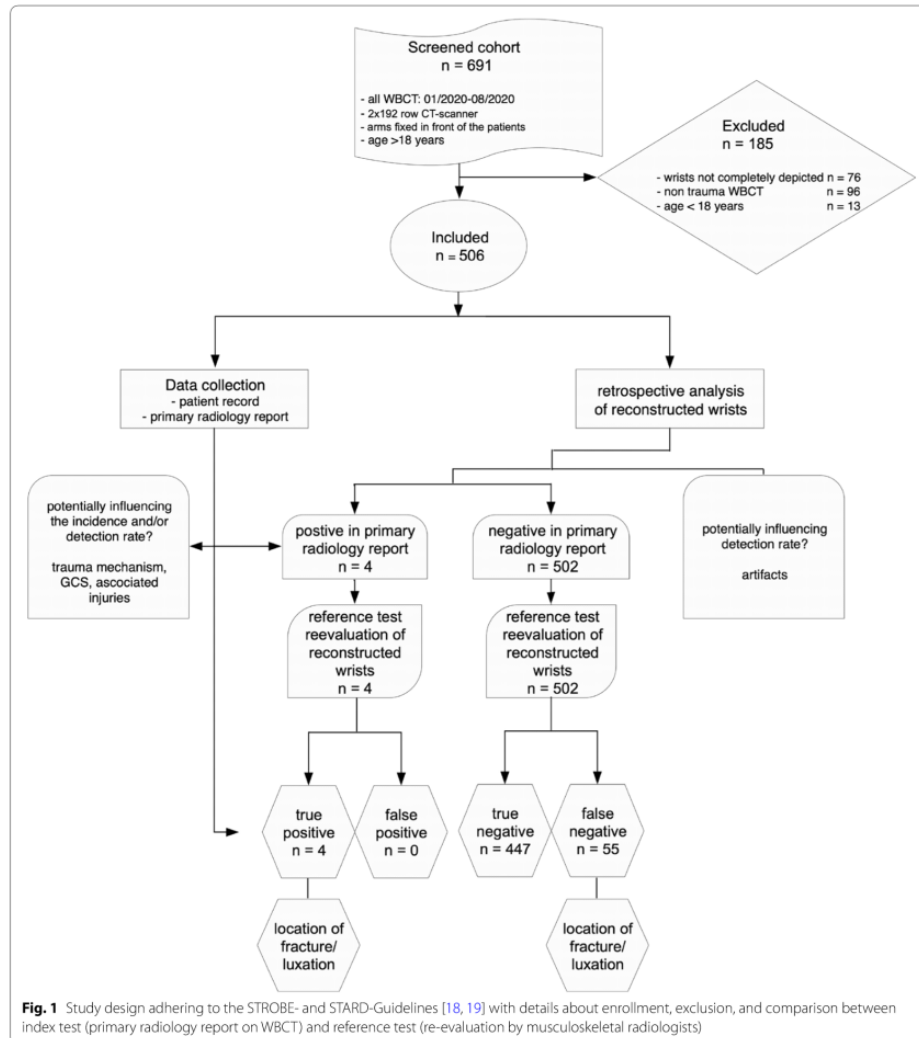
Methods

Study design

This retrospective analysis was registered prospectively at the German register for clinical trials (DRKS-ID: [DRKS00023589](https://www.drks.de/DRKS00023589)) on November 17th, 2020 and conducted in accordance with the Declaration of Helsinki 2013. The institutional review board (Medical Association of Berlin, Germany, Eth-45/20) approved the study protocol and waived the necessity for written consent. The study consisted of seven phases: screening/enrollment, primary radiology report classification, reconstruction of hands/wrists, review by a blinded musculoskeletal radiologist, comparison of the primary report and re-evaluation, search for factors potentially influencing the incidence in imaging and patient records, and calculation of the diagnostic accuracy of WBCT during primary reporting. Figure 1 summarizes the study protocol according to the Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) Initiative [18].

Screening and enrollment

Screening of consecutive WBCT was conducted from January 2020 to August 2020. Patients were treated due to suspected polytrauma according to the German S3 guideline for the treatment of polytrauma and the severely injured [17]. WBCT was indicated in cases with pathological vital signs, at least two relevantly injured body regions, and/or after relevant trauma mechanisms such as severe road traffic accidents and falls from heights of more than 3 m [20]. Eligible patients had to be ≥ 18 years of age. Examinations due to a non-emergent cause and studies with incomplete depiction of hands or wrists were excluded from this study.



Imaging

WBCT were acquired using a double-source CT scanner with two 192 row detectors (Somatom Force, Siemens, Germany). Scans had a slice thickness of

0.75 mm and were performed in spiral technique. The patients' arms were fixed in front of the patients during imaging.

Report classification and preparation of cases

Fractures and luxations between the forearm (distal radius and ulnar) and the metacarpal bones were considered positive cases. After inclusion, primary radiology reports (RR) were reviewed manually and classified as either “positive-by-report” or “negative-by-report” by an independent reader. The types and locations of osseous wrist and hand injuries were recorded in a pseudonymized table per patient and side (Excel, Microsoft 365, USA). Coronal and sagittal reconstructions of 1–2 mm thickness were prepared with a post-processing software (IntelliSpace Portal 11, Philips, Netherlands) and stored in a Picture Archiving and Communication System (PACS) (IntelliSpace, Philips, Netherlands) separately for each wrist/hand.

Reference test and discrepancy review

Reconstructed images were reviewed by two musculoskeletal radiologists blinded to the primary radiology reports. Osseous injuries were recorded for each wrist/hand. Uncertain cases were discussed to determine a conclusive result. Results of the reference test were classified as “positive-by-reference” or “negative-by-reference”. The presence of beam-hardening, motion, or metal artifacts, and artifacts induced by contrast-agent in the veins of the upper extremities were recorded by the reviewers.

Comparison of primary RR and reference test resulted in true positive, false positive, true negative, and false negative cases. False negative cases were further examined by an independent reader for secondary imaging (plain radiographs, CT, or MRI) and delayed diagnosis.

Patient records

For final data collection, records of included patients were reviewed for age, sex, trauma mechanism, vigilance upon primary presentation, and during hospitalization on the intensive care unit (ICU) using the Glasgow Coma Scale (GCS), additional injuries of the body, as well as the therapy of hand/wrist injuries. Cases of patients with missed hand/wrist injuries which had been discharged without correct diagnosis and therapy were examined by a board-certified hand surgeon for therapeutic consequences. Based on this review, the medical need for contacting these patients was determined.

Endpoint analysis and statistical analysis

Our reporting adhered to the Standards for Reporting of Diagnostic Accuracy (STARD) statement and recommendations [19]. Results of primary reporting on WBCT and secondary reporting on additional imaging compared with that of the reference standard (review

by musculoskeletal radiologists) were reported as true positives (TP), false positives (FP), true negatives (TN), and false negatives (FN). The diagnostic accuracy was expressed as sensitivity, specificity, positive (PPV) and negative (NPV) predicted values with 95% Clopper Pearson [21] confidence intervals (CI).

Associations between the likelihood of suffering osseous wrist and hand injuries and various parameters (localization of osseous wrist/hand injuries, additional injuries, artifacts, trauma mechanism, and GCS) were evaluated via Pearson's chi squared two-sided test. *P*-values < 0.05 were considered statistically significant.

Descriptive statistics included arithmetic mean, standard deviation (SD), minimum and maximum (range), and absolute (*n*) and relative (%) proportions. Missing values were not imputed but presented for each variable if existing. The SPSS software package for Windows, version 28 (IBM, Armonk, NY, USA) was employed for all statistical analyses.

Results

Six hundred ninety-one WBCT were screened according to the inclusion and exclusion criteria between January 2020 and August 2020 at the study center (Fig. 1). Seventy-six cases were excluded because of incomplete depiction of wrists, 96 WBCT were performed for non-traumatic causes, and 13 minors were excluded from the study.

Five hundred six consecutive WBCT of 137 (27.1%) female and 369 (72.9%) male patients were included with a mean age of 53 (18–98) years. Basic demographics were similar in patients with and without osseous injuries of wrist and hand (Table 1).

Primary analysis

The radiology reports of WBCT identified *n* = 4 osseous injuries of the wrist and hand. These cases were confirmed during review by the reference as true positive, none of them were false positive cases. Among the remaining 502 cases, the musculoskeletal radiologists identified *n* = 55 additional false negative cases either with fractures (*n* = 42), luxations (*n* = 2), or both fractures and luxations (*n* = 11). Four hundred forty-seven cases were true negative. After review by the gold standard the prevalence of osseous hand and wrist fractures was 11.7% (*n* = 59). 55 (93.2%) of these injuries were missed during primary reporting. Table 2 summarizes the identified cases of fractures and luxations during primary reporting and re-evaluation.

The diagnostic accuracy of primary reporting after WBCT for diagnosing osseous wrist and hand injuries was low with a sensitivity of only 6.8% (95% CI 1.9–16.5%) and a specificity of 100.0% (95% CI 99.2–100.0%) (Table 3).

Table 1 Characteristics of polytraumatized patients

Variable	No wrist/hand injuries	Wrist/hand Injuries	Total
n	447	59	506
Mean age, years (SD [range])	53.4 (19.7 [18 to 98])	49.9 (17.2 [18 to 88])	53.0 (19.5 [18 to 98])
Gender, n (%)			
Male	324 (72.5)	45 (76.3)	369 (72.9)
Female	123 (27.5)	14 (23.7)	137 (27.1)
ICU, n (%)			
Yes	147 (32.9)	22 (37.3)	169 (33.4)
No	300 (67.1)	37 (62.7)	337 (66.6)
GCS at ER (SD [range])	12.9 (4.3 [3 to 15])	13.9 (2.9 [3 to 15])	13.0 (4.2 [3 to 15])
GCS at ICU (SD [range])	9.7 (5.9 [3 to 15])	11.6 (5.4 [3 to 15])	9.9 (5.9 [3 to 15])
Motorcycle accident, n (%)*			
Yes	45 (10.1)	13 (22.0)	58 (11.5)
No	398 (89.0)	45 (76.3)	443 (87.5)
Missing	4 (0.9)	1 (1.7)	5 (1.0)
Additional extremity injury, n (%)**			
Yes	165 (36.9)	58 (98.3)	223 (44.1)
No	281 (62.9)	1 (1.7)	282 (55.8)
Missing	1 (0.2)	0	1 (0.1)

SD Standard Deviation, ICU Intensive Care Unit, GCS Glasgow Coma Scale, ER Emergency Room, * $p = 0.006$, ** $p < 0.001$.

Table 2 Cross tabulations of findings during primary reporting versus reference test

		Re-evaluation				Total
		No wrist/hand injury	Fracture	Luxation	Both	
Primary Reporting on WBCT	Wrist/hand injury	0	4 (8.7%)	0	0	4 (0.8%)
	No wrist/hand injury	447 (100%)	42 (9.3%)	2 (100%)	11 (100%)	502 (99.2%)
	Total	447	46	2	11	506
Secondary Imaging and Reporting	Wrist/hand injury	0	34 (73.9%)	2 (100%)	11 (100%)	47 (9.3%)
	No wrist/hand injury	447 (100%)	12 (26.1%)	0	0	459 (90.7%)
	Total	447	46	2	11	506

Table 3 Measures of diagnostic accuracy of primary reporting on WBCT and secondary reporting after additional imaging

Index test	TP	FP	TN	FN	Sensitivity (95% CI)	Specificity (95% CI)	PPV (95% CI)	NPV (95% CI)
Primary reporting on WBCT	4	0	447	55	6.8% (1.9–16.5%)	100.0% (99.2–100.0%)	100.0% (39.8–100.0%)	89.0% (86.0–91.6%)
Secondary imaging and reporting	47	0	447	12	79.7% (67.2–89.0%)	100.0% (99.2–100.0%)	100.0% (92.5–100.0%)	97.4% (95.5–98.6%)

TP True positive, FP False positive, TN True negative, FN False negative, PPV Positive predicted value, NPV Negative predicted value, CI Confidence interval

After additional, secondary imaging 47 patients with osseous injuries of wrist or hand were identified. Most of these cases ($n = 36$) were identified through additional plain radiographs shortly after WBCT. Secondary imaging using CT ($n = 6$) and MRI ($n = 1$) was less common. 20.3% ($n = 12$) of cases with injuries remained undetected until discharge. The overall diagnostic accuracy after WBCT and secondary

imaging for diagnosing osseous wrist and hand injuries in the patient cohort after suspected polytrauma clearly increased when using an additional imaging modality with a sensitivity of 79.7% (95% CI 67.2–89.0%) and a specificity of 100.0% (95% CI 99.2–100.0%) (Table 2).

Types of osseous injuries

Ninety-two different osseous injuries were reported, 22 patients suffered multiple injuries. Distal intra-articular radius fractures occurred most frequently ($n = 24$, 26.1%). Fractures of the ulna process ($n = 18$, 19.6%), distal extra-articular radius fractures ($n = 10$, 10.9%), distal ulna fractures ($n = 6$, 6.5%), fractures of Os triquetrum ($n = 5$, 5.4%) and Os pisiforme ($n = 2$, 2.2%), scaphoid fractures ($n = 4$, 4.3%), fractures of hamulus ossis hamati ($n = 2$, 2.2%), and fractures of the various metacarpal bones ($n = 19$, 20.7%) were the other types of fractures described in the collective. Two (2.6%) luxations, one of the distal radio-ulnar joint and one of the radio-joint were observed.

Association between various parameters and the likelihood of injuries

Trauma mechanism

In the group with osseous injuries, falls accounted for 22 (37.2%), motor-bicycle accidents for 13 (22.0%), car accidents for 10 (16.9%), bicycle accidents for 7 (11.9%), and accidents as pedestrians for 5 (8.5%) of cases. Two accidents were not described in patient records. Motor-bicycle accidents were described significantly less frequent in patients without osseous injuries of wrist and hand ($n = 45$, 10.1%; $p = 0.006$) (Table. 1, Fig. 2). Falls from heights > 3 m were the most common reason for WBCT in this group ($n = 219$, 49.0%).

Vigilance

169 (33.4%) patients were treated in the ICU. The fractions of patients treated in the ICU did not differ significantly between patients with and without hand/wrist injuries (37.3% vs. 32.9%, $p = 0.61$). Mean GCS was similar in both patient groups at presentation in the emergency room (ER) and in the ICU. Vigilance was further analyzed for patients with osseous wrist/hand injuries to evaluate the missed rate in a dichotomic fashion for patients with mild impairment but reliable expression, and localization of pain (GCS ≥ 13 points) and patients with more severe cognitive limitations (GCS 3–12 points). The fraction of missed cases

did not differ significantly in patients with GCS 3–12 and patients with GCS > 12 (28.6% vs. 19.2%, $p = 0.56$).

Injury patterns

58 (98.3%) of patients with osseous injuries of wrist or hand suffered additional injuries of the upper and/or lower extremities while only 165 (36.9%) of patients without wrist/hand injuries showed concomitant extremity fractures ($p < 0.001$), (Fig. 2). The pelvis was injured in 16 (27.1%) patients with wrist/hand injuries compared to 55 patients (12.3%) without wrist/hand injuries ($p = 0.21$). In patients with wrist/hand injuries the head ($n = 33$, 55.9%), thorax ($n = 18$, 30.5%), spine ($n = 15$, 25.4%), and abdomen ($n = 5$, 8.5%) were injured in descending frequency, whereas the head ($n = 234$, 52.3%), thorax ($n = 162$, 36.2%), spine ($n = 148$, 33.1%), and abdomen ($n = 42$, 9.4%) were injured in patients without wrist/hand injuries. More than one organ system was injured in 22 (37.3%) cases with osseous hand and wrist injuries vs. 182 (40.7%) cases without these osseous injuries.

Artifacts

Artifacts were reported in 114 (22.9%) cases ($n = 9/15.3\%$ of cases with and 105/23.5% of cases without osseous wrist or hand injuries). They were mostly caused by contrast agent in distal veins of the hands ($n = 73$, 62.9%) and foreign bodies ($n = 25$, 21.6%). Due to the low percentage of documented artifacts in patients with wrist and hand injuries, the influence of artifacts on primary detection rates on WBCT was not formally tested.

Clinical relevance

Twenty-three patients were treated surgically and 24 were treated nonoperatively. Twelve non-displaced fractures of wrist and hand but no luxations remained undetected until discharge: three patients with distal intra-articular radius fractures, three patients with fractures of the 5th metacarpal bone, three patients with fractures of the 2nd metacarpal bone, two patients with fractures of the Os triquetrum, and one patient with a fracture of the distal scaphoid tubercle. A board-certified hand surgeon reviewed the cases and determined that after a time-gap of at least 10 months, physical and radiological follow-up of these patients were no longer medically indicated in almost all cases. All injuries could have been treated nonoperatively with immobilization. Alternatively, the distal intra-articular radius fractures and the fractures

(See figure on next page.)

Fig. 2 A 52-year-old male patient suffered a motorcycle accident and was examined using WBCT according to the S3 guideline for the treatment of polytrauma and the severely injured [17]. Multiplanar reformations in sagittal planes show distal intraarticular fractures of the radius of both wrists (A right side, B left side). Imaging showed additional injuries of the left lower extremity with proximal fracture of the fibula on a coronal reformation (C), and fracture of the medial malleolus on coronal (D) and sagittal (E) reformations. Motorcycle accidents might predispose for injuries of wrist and hand, and they often cause additional fractures of the extremities



Fig. 2 (See legend on previous page.)

of metacarpal bones ($n = 9$) could have been treated surgically. Two patients, one with distal intra-articular radius fracture and one with a fracture of the 2nd metacarpal bone, died due to severe injuries. However, two young patients, one with distal intra-articular radius fracture and one with distal scaphoid tubercle fracture were informed and invited back for follow-up radiographs and examination motivated by the employer's liability insurance association. Both fractures were consolidated properly without signs of post-traumatic arthrosis.

Discussion

Incidence

The frequency of osseous injuries of the wrist and hand on WBCT was 11.7% in this cohort of patients after severe trauma. Distal intra-articular radius fractures occurred most frequently (26.1%). In recent imaging and register studies incidences varied between 15.5% for fractures of hand and forearm in ventilated patients and 36.1% for osseous and soft-tissue injuries [12, 13]. Ferree et al. reported an incidence of 3.5% for fractures and dislocations of the hand with a predisposition for fractures of the metacarpal bones (48%) [11]. Our recent study included 32 fractures of the hand, most of these injuries (59.4%) were also fractures of the metacarpal bones.

It appears reasonable, that the frequency of osseous hand and wrist injuries is influenced by the characteristics of the analyzed patient cohort and that the methods of a CT imaging study differ significantly from a retrospective review of patient records or a register study. One reason for a lower proportion of osseous hand and wrist injuries in the current patient collective might be differences in study design. The selection of the screening cohort was based on the German S3 guideline for the treatment of polytrauma and the severely injured [20] and consisted of a typical, real-life cohort of all trauma patients who were examined via WBCT during the study period. An alternate approach through patient records and data bases, including patients based on the severity of injuries, should increase the pretest probability of the examination results [12]. For the same reason, the incidence of osseous wrist and hand fractures might be higher in a cohort of ventilated patients, which have potentially suffered greater severity of injuries or high-impact trauma.

Additionally, our study and the publication by Fritsche-Oestern et al. did not reveal a significant impact of a low GCS on osseous injuries of the hand or wrist [12]. Also, examination of injury patterns of patients with and without osseous injuries of wrist and hand did not support a

mere association of the incidence of osseous wrist/hand injuries and the number and severity of other injuries. An accumulation of motorcyclists and patients with associated additional fractures of the extremities sets focus on the mechanics and force of an accident. Osseous injuries of the wrist and hand can follow selective mono-trauma through a fall from a standing height but can be more complex with multiple fractures in high-impact injuries [22, 23]. An understanding of specific trauma mechanisms and associated injuries can be beneficial in suspecting and diagnosing osseous injuries of the wrist and hand.

Underreporting

Underreporting occurred in 93.2% of osseous wrist and hand injuries, therefore diagnostic accuracy was low for WBCT during primary reporting. After repeated examination, secondary imaging, and reporting, 20.3% of the injuries remained unreported. In literature, the frequencies of missed wrist/hand fractures differ between 4.1 and 32.9% [10, 12, 14]. Missed injuries have been shown to be more likely in intubated and severely injured patients [24, 25]. Previous data also suggests that on-call duty predisposes for missed fractures and other injuries [14, 26]. Nevertheless, reasons for underreporting were not identified by this current study.

In addition, the subtlety of fractures plays an important role during the diagnostic process [27]. Pfeifer and Pape reviewed that 15–22.3% of all missed injuries were clinically relevant [10]. In the process of this current study, 2 of 12 patients with missed injuries were recalled for re-examination and follow-up imaging as suggested by the employer's liability insurance association. According to a board-specialized hand surgeon, surgical treatment of these 12 missed injuries was not mandatory. However, it cannot be excluded that failure to detect these injuries and to prescribe immobilization led to worsened clinical outcomes.

In an attempt to reduce the number of missed fractures, authors have suggested improvement of training of clinicians and radiologists, and some promoted the importance of radiographs in diagnosing extremity fractures [27–29]. However, the era of WBCT with the ability to examine patients from head to toe, and the basic radiological principle to apply as little radiation as reasonably achievable (ALARA = as low as reasonably achievable), demands for critical discussion about the possibilities of WBCT and concurrent responsibilities of clinicians and radiologists [30]. The availability of high-quality imaging of wrists and hands on WBCT can be regarded as an opportunity to avoid additional radiation exposure through plain radiographs despite

their low contribution to the overall radiation exposure of patients [31]. Admittedly, providing multiplanar reformations of each wrist and hand is a time-consuming process and in cases of polytraumatized patients not the primary concern of clinicians and radiologist. But the importance of multiplanar reformations should be undeniable considering the typical unordered position of hands on WBCT and studies about the additional use of multiplanar reformations i.e., for diagnosing scaphoid fractures [32].

Algorithm to improve detection of osseous wrist and hand injuries

The concept of re-examination and re-evaluation of existing imaging after polytrauma is routine procedure at the study site. In cases of suspected wrist and hand fractures however, clinical suspicion led to additional, mostly radiographic imaging, and increased detection of osseous wrist and hand injuries from 6.8 to 79.7%.

In trauma surgery, the concept of tertiary survey is commonly established to ensure re-examination of patients after emergency care, typically within 24h after admission, and again after patients reach consciousness



Fig. 3 Proposed algorithm for increasing detection of osseous injuries of hand and wrist in accordance with the concept of tertiary survey

and are mobilized [33]. Re-evaluation of existing imaging should be part of tertiary surveys and can reduce the number of missed injuries further [34, 35]. Together with primary triggers for profound engagement with a patient's wrist and hand after polytrauma on WBCT, such as the type of accident and injury patterns, the results of secondary or tertiary clinical examinations and raised suspicions could be regarded as a second chance not only to review existing imaging but to prepare the necessary multiplanar reformations and confirm or exclude osseous injuries without further radiation exposure in a timely fashion [36]. In cases of doubt, targeted MRI might be an option to detect even occult fractures after stabilization of polytrauma patients [37, 38] (Fig. 3). Targeted MRI also enables identification of soft-tissue injuries after (sub-) luxations which reposition spontaneously and are therefore impossible to detect on WBCT reformations. Symptomatic patients with inconclusive CT reformations should thus be examined until all imaging methods are exhausted.

Improvements in intelligent technologies might enable automated multiplanar reformation of complex structures such as hand and wrist from WBCT in the future and further increase detection rates and diagnostic performance [39].

Limitations

Certain limitations of this study must be addressed. First, the retrospective study design is susceptible to selection bias and missing data. By adhering to the STROBE standards, transparency of the inclusion process of consecutive patients was essential as a countermeasure. Secondly, the exploratory study design and lack of sample size calculations results in limited comparisons. On the other hand, significant differences, such as a higher number of motorcyclists among patients with osseous wrist and hand injuries, are likely to be reliable. In addition, despite the single-center design, the large number of cases with a total of 1012 multiplanar reformatted wrists/hands is one of the strengths of the study. Patient records could be accessed in detail and reasons for missing data were reduced. Lastly, interobserver comparison of the reference tests were not part of the study. Nevertheless, all included cases, wrists and hands were reviewed and thus diagnostic accuracy could be measured on a gold standard as demanded by the STARD Guidelines [19].

Conclusion

Osseous wrist and hand injuries are present in 11.7% on WBCT after polytrauma. 93.2% of injuries were missed primarily, resulting in a very low sensitivity of WBCT during primary reporting. Motorcycle accidents might

predispose for these injuries, and they often cause additional injuries of the upper and/or lower extremities (Fig. 2).

Clinical re-examination of patients and careful re-evaluation of WBCT with preparation of specific multiplanar reformations are essential in polytrauma cases to detect osseous injuries of wrist and hand reliably.

Targeted MRI should be performed to identify occult fractures and soft-tissue injuries in symptomatic patients with inconclusive CT results in the post-acute phase after severe injuries.

Abbreviations

WBCT: Whole-body computed tomographies; CT: Computed tomography; DRKS: German register for clinical trials (Deutsches Register Klinischer Studien); STROBE: Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology; RR: Radiology report; ICU: Intensive care unit; GCS: Glasgow Coma Scale; STARD: Standards for Reporting of Diagnostic Accuracy; TP: True positives; FP: False positives; TN: True negatives; FN: False negatives; PPV: Positive predicted values; NPV: Negative predicted values; CI: Confidence intervals; SD: Standard deviation; ER: Emergency room; ALARA: As low as reasonably achievable.

Acknowledgements

None.

Authors' contributions

LS: data acquisition, data interpretation, manuscript preparation; AH: statistical analysis, draft revision; AA: patient follow-up, draft revision; SK: data interpretation, draft revision; AE: study planning, draft revision; SM: image analysis, data revision; LG: image analysis, data interpretation, manuscript preparation. All authors read and approved the final manuscript.

Funding

No funding was received by any of the authors to conduct this study.

Availability of data and materials

The datasets generated and analyzed during the current study are not publicly available due to privacy restrictions but are available from the corresponding author in an anonymized form on reasonable request.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

This study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki 2013. The institutional review board (Medical Association of Berlin, Germany, Eth-45/20) approved the study protocol and waived the necessity for written consent.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Author details

¹Department of Radiology and Neuroradiology, BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin, Warener Str. 7, 12683 Berlin, Germany. ²Center for Clinical Research, BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin, Berlin, Germany. ³Department of Hand-, Replantation- and Microsurgery, BG Klinikum Unfallkrankenhaus Berlin, Berlin, Germany. ⁴Department of Hand Surgery and Microsurgery, University Medicine Greifswald, Greifswald, Germany. ⁵Institute for Diagnostic Radiology and Neuroradiology, University Medicine Greifswald, Greifswald, Germany.

Received: 27 July 2021 Accepted: 27 September 2021
Published online: 11 October 2021

References

- Janjua KJ, Sugrue M, Deane SA. Prospective evaluation of early missed injuries and the role of tertiary trauma survey. *J Trauma*. 1998;44(6):1000–7. <https://doi.org/10.1097/00005373-199806000-00012>.
- Eurin M, Haddad N, Zappa M, Lenoir T, Dauzac C, Vilgrain V, et al. Incidence and predictors of missed injuries in trauma patients in the initial hot report of whole-body CT scan. *Injury*. 2012;43(1):73–7. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2011.05.019> Epub 2011 Jun 12. PMID: 21663908.
- Pehle B, Kuehne CA, Block J, Waydhas C, Taeger G, Nast-Kolb D, et al. Die Bedeutung von verzögert diagnostizierten Läsionen bei Polytraumatisierten. Eine Studie an 1187 Schockraumpatienten [The significance of delayed diagnosis of lesions in multiply traumatized patients. A study of 1,187 shock room patients]. *Unfallchirurg*. 2006;109(11):964–74. <https://doi.org/10.1007/s00113-006-1161-y> discussion 975–6. German. PMID: 17058060.
- Roesle TR, Freitas CD, Moscovici HF, Zamboni C, Hungria JOS, Christian RW, et al. Tertiary assessment of trauma patients in a hospital in the city of São Paulo: a question of necessity. *Rev Bras Ortop*. 2013;48(4):357–61. <https://doi.org/10.1016/j.rboe.2012.08.007> PMID: 31304133; PMCID: PMC6565909.
- Thomson CB, Greaves I. Missed injury and the tertiary trauma survey. *Injury*. 2008;39(1):107–14. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2007.07.030>.
- Kahn J, Grupp U, Maurer M. How does arm positioning of polytraumatized patients in the initial computed tomography (CT) affect image quality and diagnostic accuracy? *Eur J Radiol*. 2014;83(1):e67–71. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.10.002>.
- Hickethier T, Mammadov K, Baeßler B, Lichtenstein T, Hinkelbein J, Smith L, et al. Whole-body computed tomography in trauma patients: optimization of the patient scanning position significantly shortens examination time while maintaining diagnostic image quality. *Ther Clin Risk Manag*. 2018;14:849–59. <https://doi.org/10.2147/TCRM.S162074> PMID: 29765226; PMCID: PMC5944460.
- Yin ZG, Zhang JB, Kan SL, Wang XG. Diagnostic accuracy of imaging modalities for suspected scaphoid fractures: meta-analysis combined with latent class analysis. *J Bone Joint Surg Br*. 2012;94(8):1077–85. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.9488.28998>.
- Houshian S, Larsen MS, Holm C. Missed injuries in a level I trauma center. *J Trauma*. 2002;52(4):715–9. <https://doi.org/10.1097/00005373-200204000-00018>.
- Pfeifer R, Pape HC. Missed injuries in trauma patients: A literature review. *Patient Saf Surg*. 2008;2:20. Published 2008 Aug 23. <https://doi.org/10.1186/1754-9493-2-20>.
- Ferree S, van der Vliet QMJ, van Heijl M, Houwert RM, Leenen LPH, Hietbrink F. Fractures and dislocations of the hand in polytrauma patients: incidence, injury pattern and functional outcome. *Injury*. 2017;48(4):930–5. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.02.034>.
- Fitschen-Oestern S, Lippross S, Lefering R, Klüter T, Behrendt P, Weuster M, et al. Missed hand and forearm injuries in multiple trauma patients: an analysis from the TraumaRegister DGU®. *Injury*. 2020;51(7):1608–17. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.04.022> Epub 2020 May 8. PMID: 32434714.
- Münn F, Laun RA, Asmus A, Bülow R, Bakir S, Haralambiev L, et al. Detection of fractures of hand and forearm in whole-body CT for suspected polytrauma in intubated patients. *BMC Musculoskeletal Disord*. 2020;21(1):49. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-3068-0> PMID: 31969135; PMCID: PMC6977285.
- Kim S, Goelz L, Münn F, Kim D, Millrose M, Eisenschank A, et al. Detection of missed fractures of hand and forearm in whole-body CT in a blinded reassessment. *BMC Musculoskeletal Disord*. 2021;22(1):589. <https://doi.org/10.1186/s12891-021-04425-z> PMID: 34174869; PMCID: PMC8236191.
- Mark G. Das Schicksal des polytraumatisierten Patienten mit einer "Bagatelverletzung" an der Hand [the fate of the polytraumatized patient with a "minor injury" of the hand]. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 1989;21(1):51–4.
- Ciclamini D, Panero B, Titolo P, Tos P, Battiston B. Particularities of hand and wrist complex injuries in polytrauma management. *Injury*. 2014;45(2):448–51. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.09.016>.
- Neugebauer E, Krettek C. German Society of Trauma Surgery (DGU). S3-Leitlinie Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung. Auf die Implementierung kommt es an! [S3 guidelines on treatment of polytrauma/severe injuries. What matters is the implementation!]. *Unfallchirurg*. 2012;115(1):6–7. doi: <https://doi.org/10.1007/s00113-011-2101-z>. PMID: 22274597.
- von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP. STROBE-Initiative. Das Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE)-Statement [The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting of observational studies]. *Internist (Berl)*. 2008;49(6):688–93. <https://doi.org/10.1007/s00108-008-2138-4> German. PMID: 18511988.
- Bossuyt PM, Reitsma JB, Bruns DE, Gatsonis CA, Glasziou PP, Irwig L, et al. STARD Group. STARD 2015: an updated list of essential items for reporting diagnostic accuracy studies. *BMJ*. 2015;351:h5527. <https://doi.org/10.1136/bmj.h5527> PMID: 26511519; PMCID: PMC4623764.
- Lendemann S, Ruchholtz S. German Society of Trauma Surgery (DGU). S3-Leitlinie Polytrauma/Schwererletzten-Behandlung. Schockraumversorgung [S3 guideline on treatment of polytrauma/severe injuries. Trauma room care]. *Unfallchirurg*. 2012;115(1):14–21. <https://doi.org/10.1007/s00113-011-2103-x> German. PMID: 22274599.
- Clopper CJ, Pearson ES. The use of confidence or fiducial limits illustrated in the case of the binomial. *Biometrika*. 1934;26:404–13. <https://doi.org/10.1093/biomet/26.4.404>.
- MacIntyre NJ, Dewan N. Epidemiology of distal radius fractures and factors predicting risk and prognosis. *J Hand Ther*. 2016;29(2):136–45. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2016.03.003> PMID: 27264899.
- Ferree S, van der Vliet QMJ, Nawijn F, Bhashyam AR, Houwert RM, Leenen LPH, et al. Epidemiology of distal radius fractures in polytrauma patients and the influence of high traumatic energy transfer. *Injury*. 2018;49(3):630–5. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.02.003> Epub 2018 Feb 5. PMID: 29429577.
- Montmany S, Navarro S, Rebasa P, Hermoso J, Hidalgo JM, Cánovas G. Estudio prospectivo de la incidencia de las lesiones inadvertidas en el paciente politraumatizado [A prospective study on the incidence of missed injuries in trauma patients]. *Cir Esp*. 2008;84(1):32–6. [https://doi.org/10.1016/s0009-739x\(08\)70601-8](https://doi.org/10.1016/s0009-739x(08)70601-8) Spanish. PMID: 18590673.
- Chen CW, Chu CM, Yu WY, Lou YT, Lin MR. Incidence rate and risk factors of missed injuries in major trauma patients. *Accid Anal Prev*. 2011;43(3):823–8. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.11.001> Epub 2010 Dec 3. PMID: 21376872.
- Mazahir S, Pardhan A, Rao S. Office hours vs after-hours. Do presentation times affect the rate of missed injuries in trauma patients? *Injury*. 2015;46(4):610–5. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.01.016> Epub 2015 Jan 16. PMID: 25636534.
- Wei CJ, Tsai WC, Tiu CM, Wu HT, Chiou HJ, Chang CY. Systematic analysis of missed extremity fractures in emergency radiology. *Acta Radiol*. 2006;47(7):710–7. <https://doi.org/10.1080/02841850600806340> PMID: 16950710.
- Tyson S, Hatem SF. Easily missed fractures of the upper extremity. *Radiol Clin N Am*. 2015;53(4):717–36. <https://doi.org/10.1016/j.rcl.2015.02.013> PMID: 26046507.
- Pinto A, Berritto D, Russo A, Riccitiello F, Caruso M, Bellioli MP, et al. Traumatic fractures in adults: missed diagnosis on plain radiographs in the Emergency Department. *Acta Biomed*. 2018;89(1-5):11–23. <https://doi.org/10.23750/abm.v89i1-5.7015> PMID: 29350641; PMCID: PMC6179080.
- Andresz S, Gilchrist J, Gimenez C, Vermeersch F. Synthesis of the European ALARA network 18th workshop. *J Radiol Prot*. 2020. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ab9508> Epub ahead of print. PMID: 32434162.
- Nekolla EA, Schegerer AA, Griebel J, Brix G. Häufigkeit und Dosis diagnostischer und interventioneller Röntgenanwendungen: Trends zwischen 2007 und 2014 [Frequency and doses of diagnostic and interventional X-ray applications: Trends between 2007 and 2014]. *Radiologe*. 2017;57(7):555–62. <https://doi.org/10.1007/s00117-017-0242-y> German. PMID: 28361179.
- Mallee WH, Doornberg JN, Ring D, Maas M, Muhl M, van Dijk CN, et al. Computed tomography for suspected scaphoid fractures: comparison

- of reformatations in the plane of the wrist versus the long axis of the scaphoid. *Hand (N Y)*. 2014;9(1):117–21. <https://doi.org/10.1007/s11552-013-9556-z> PMID: 24570648; PMCID: PMC3928374.
33. Keijzers GB, Giannakopoulos GF, Del Mar C, Bakker FC, Geeraedts LM Jr. The effect of tertiary surveys on missed injuries in trauma: a systematic review. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2012;29(20):77. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-20-77> PMID: 23190504; PMCID: PMC3546883.
 34. Howard J, Sundararajan R, Thomas SG, Walsh M, Sundararajan M. Reducing missed injuries at a level II trauma center. *J Trauma Nurs*. 2006;13(3):89–95. <https://doi.org/10.1097/00043860-200607000-00003> PMID: 17052086.
 35. Vles WJ, Veen EJ, Roukema JA, Meeuwis JD, Leenen LP. Consequences of delayed diagnoses in trauma patients: a prospective study. *J Am Coll Surg*. 2003;197(4):596–602. [https://doi.org/10.1016/S1072-7515\(03\)00601-X](https://doi.org/10.1016/S1072-7515(03)00601-X) PMID: 14522329.
 36. Schädel-Höpfner M, Siebert H. Operative Versorgungsstrategien für Handverletzungen beim Polytrauma. Eine systematische Literaturübersicht [operative strategies for hand injuries in multiple trauma. A systematic review of the literature]. *Unfallchirurg*. 2005;108(10):850–7. <https://doi.org/10.1007/s00113-005-0996-y>.
 37. Clementson M, Thomsen N, Björkman A. Diagnostik och behandling av akuta skafoidfrakturer [Scaphoid fractures - Guidelines for diagnosis and treatment]. *Lakartidningen*. 2019;118:116 FL9M. Swedish. PMID: 31211404.
 38. Jørgsholm P, Thomsen NO, Besjakov J, Abrahamsson SO, Björkman A. The benefit of magnetic resonance imaging for patients with posttraumatic radial wrist tenderness. *J Hand Surg Am*. 2013;38(1):29–33. <https://doi.org/10.1016/j.jhssa.2012.09.034> Epub 2012 Nov 30. PMID: 23200950.
 39. Scholtz JE, Wichmann JL, Kaup M, Fischer S, Kerl JM, Lehnert T, et al. First performance evaluation of software for automatic segmentation, labeling and reformation of anatomical aligned axial images of the thoracolumbar spine at CT. *Eur J Radiol*. 2015;84(3):437–42. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.11.043> Epub 2014 Dec 13. PMID: 25554009.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions



