

Aus der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie des LMU Klinikums der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker

**Evidenzbasierte Behandlungspfade für die Notfallbildgebung beim
älteren Patienten nach Sturz aus niedriger Fallhöhe**

Der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München als
kumulative Habilitationsschrift

vorgelegt von

Dr. med. Dr. rer. nat. Vera Pedersen, MHBA

München 2024

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Liste der zur kumulativen Habilitation beitragenden Publikationen	11
Stand der Forschung	12
Ziele der Habilitationsarbeit	14
Ergebnisse	15
Publikation A: Systematische Übersicht der gegenwärtigen Evidenz zur diagnostischen Genauigkeit und Sicherheit der konventionellen Röntgenuntersuchung zur Frakturdiagnostik beim älteren Menschen nach einem niederenergetischen Sturz.	15
Publikation B: Charakteristika und Outcome von älteren Patienten, die sich nach einem niederenergetischen Sturz in einer Notaufnahme vorstellen.	20
Publikation C: Prävalenz von Frakturen und diagnostische Genauigkeit der Röntgen-Untersuchung beim älteren Patienten nach einem niederenergetischen Sturz.	22
Publikation D: Prävalenz und Bedeutung von CT-Nebenbefunden beim älteren Patienten nach einem niederenergetischen Sturz.	26
Publikation E: Diagnostischer Wert des Proteins S100b als Prädiktor für traumatische intrakranielle Blutungen bei älteren Erwachsenen mit niederenergetischen Stürzen.	29
Publikation F: Die klinische Akutheit in der Notaufnahme und der Verletzungsschweregrad bestimmen die Krankenhouseinweisung älterer Patienten mit niederenergetischen Stürzen niedriger Energie.	32
Diskussion	35
Publikation A: Systematische Übersicht der gegenwärtigen Evidenz zur diagnostischen Genauigkeit und Sicherheit der konventionellen Röntgen-Untersuchung zur Frakturdiagnostik beim älteren Menschen nach einem niederenergetischen Sturz.	35
Publikation B: Charakteristika und Outcome von älteren Patienten, die sich nach einem niederenergetischen Sturz in einer Notaufnahme vorstellen.	38
Publikation C: Prävalenz von Frakturen und diagnostische Genauigkeit der Röntgen-Untersuchung beim älteren Patienten nach einem niederenergetischen Sturz.	40
Publikation D: Prävalenz und Bedeutung von CT-Nebenbefunden beim älteren Patienten nach einem niederenergetischen Sturz.	43
Publikation E: Diagnostischer Wert des Proteins S100b als Prädiktor für traumatische intrakranielle Blutungen bei älteren Erwachsenen mit niederenergetischen Stürzen.	46
Publikation F: Die klinische Akutheit in der Notaufnahme und der Verletzungsschweregrad bestimmen die Krankenhouseinweisung älterer Patienten mit niederenergetischen Stürzen.	49

Ausblick	52
Abkürzungsverzeichnis	53
Literaturverzeichnis	55
Danksagung	62

Zusammenfassung

Stürze gehören mit 10 bis 15% zu den häufigsten Ursachen einer Vorstellung in einer Notaufnahme,¹⁻⁵ und sie stellen eine der häufigsten Todesursachen bei den Älteren in den Industrienationen dar.⁶ Die sturzauslösenden Risikofaktoren sind mannigfaltig, wie z.B. Hochrisikomedikationen, Elektrolytstörungen, Herzrhythmusstörungen, Gangstörung, Visusschwäche oder eine akute systemische Erkrankung, wie z.B. eine Infektion, einige davon sind modifizierbar.⁷ Ab dem 65. Lebensjahr nimmt die Inzidenz für einen Sturz aus niedriger Fallhöhe kontinuierlich zu, bei den über 80-Jährigen stürzt schon jeder Zweite einmal pro Jahr.^{2, 6} Stürze dieser Art, aus dem Stand, aus oder von einem niedrigen Möbelstück oder von einer Stufe bzw. unter einem Meter, im Folgenden als niederenergetische Stürze (LEF, low energy fall) bezeichnet, sind die häufigste Ursache für leichtere aber auch schwerwiegende Verletzungen in dieser Altersgruppe.^{6, 8} Zudem erhöhen niederenergetische Stürze das Risiko für eine Krankenhausaufnahme,^{3, 9, 10} und sind mit einer erheblichen Mortalität und Morbidität assoziiert,^{2, 11, 12} die mit dem Alter zuzunehmen scheint. Zu den häufigsten sturzbedingten Verletzungen gehören Schädel-Hirn-Verletzungen und Knochenbrüche wie z.B. hüftgelenknahe Frakturen, Beckenverletzungen oder Wirbelkörperfrakturen.^{2, 11, 13} Die Inzidenz für einen sturzbedingten Knochenbruch wird auf ca. 5% geschätzt. Insbesondere die mit einer Osteoporose assoziierten Frakturen, wie z.B. die hüftnahen Frakturen, Beckenfrakturen oder Wirbelkörperfrakturen erzeugen in Deutschland geschätzte Behandlungs- und Folgekosten von bis zu 4.5 Mrd. Euro jährlich.¹⁴

Notaufnahmen sind sehr häufig die ersten Institutionen, die ältere Patienten nach einem Sturz aufsuchen, oder wohin sie durch Rettungsdienste oder Notärzte gebracht werden. Ein geringer Anteil der gestürzten Älteren wird aufgrund einer schon am Unfallort schwerer eingeschätzten Verletzung, v.a. bei einem vermuteten schweren Schädel-Hirn-Trauma, oder abnormalen Vitalzeichen als mutmaßlich Schwer- bzw. Mehrfachverletzte über den Schockraum einer Klinik angemeldet und aufgenommen. Der überwiegende Anteil der gestürzten Älteren wird jedoch mit nur geringer Dringlichkeit und vermuteter geringer Verletzungsschwere in der Notaufnahme vorstellig, wie aktuellere große internationale Auswertungen aus Traumaregistern zeigen.^{11, 15} In der Notaufnahme wird ein Großteil der Patienten nach einem LEF in einem sequenziellen Prozess aus körperlicher Untersuchung und befundabhängig konventio-

nen Röntgen (XR)-Untersuchungen der vermutlich verletzten Körperregionen untersucht. Bei Anhalt für ein Schädel-Hirn-Trauma (SHT) werden die Untersuchungen ergänzt durch Computertomographie (CT)-Untersuchungen des Schädelns (cCT) und meist der Halswirbelsäule. Die diagnostische Genauigkeit der konventionellen Röntgen-Untersuchung, insbesondere Frakturen am Körperstamm zu diagnostizieren bzw. auszuschließen ist Inhalt vieler Debatten im klinischen Alltag, und v.a. diskrepante oder nicht eindeutige Befunde führen in der Regel zu CT-Untersuchungen um die Diagnose zu sichern. Es ist bekannt, dass Bildgebung an sich ein unabhängiger Risikofaktor für einen verlängerten Aufenthalt des älteren Patienten in einer Notaufnahme über 4 Stunden ist, was wiederum assoziiert ist mit einem erhöhten Risiko für eine Krankenhausaufnahme, einer erhöhten 30-Tage-Wiedervorstellungsrate, einem verlängerten Krankenhausaufenthalt und einer erhöhten Krankenhausmortalität.¹⁶ Der niederschwellige Einsatz der CT-Untersuchung beim älteren Patienten mit LEF in der Notaufnahme wird kontrovers diskutiert.^{6, 17} Ob eine initiale und ausschließliche, also Erstlinien-CT-Untersuchung bestimmter Körperregionen oder des gesamten Körperstamms bei diesen Patienten im Hinblick auf den diagnostischen Vorteil oder das klinische Outcome einen Vorteil bringt, gibt es derzeit wenig wissenschaftliche Evidenzen.

Ziel der **Publikation A** war es durch eine systematische Übersichtsarbeit mit Metaanalyse eine Einschätzung der diagnostischen Genauigkeit und Sicherheit der XR-Untersuchung bei älteren Patienten mit niederenergetischem Sturz im Vergleich zur CT-Untersuchung zu erhalten. Eine umfassende Datenbankrecherche konnte 11 Studien nach definierten PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcome) Kriterien identifizieren. Alle Studien hatten ein hohes Verzerrungsrisiko (risk of bias) und waren von schwacher methodischer Qualität, bei einer relevanten Heterogenität. Aus diesem Grund konnte die eigentlich geplante Meta-Analyse nicht durchgeführt werden. Die Auswertung zeigt, dass die XR-Untersuchung einen relevanten Anteil von Frakturen der Wirbelsäule, des Beckens und der Rippen beim älteren Menschen nach einem LEF nicht detektiert. Unbeantwortet bleibt die Frage, ob eine Erstlinien-CT-Untersuchung Vorteile für den klinischen Outcome bringt. Auch bleibt es unklar, ob es für den Patienten von Vorteil ist, wenn jede Fraktur erkannt wird.¹⁸

Grundlage der sich aus dieser schwachen Datenlage konsequent ergebenden Untersuchung war eine umfassende retrospektive bizentrische Datenerhebung (**Publikationen B bis E**) aller Patienten ≥ 65 Jahre, die sich konsekutiv aufgrund eines LEF in den zentralen, universitären Notaufnahmen des LMU Klinikums, Standort Großhadern, und des Universitätsspitals in Basel zwischen September 2014 und Ende Dezember 2016 vorstellten, und im Rahmen der Notfalluntersuchungen wenigstens eine CT-Untersuchung von Kopf, Wirbelsäule oder Körperstamm durchgeführt wurde.

In **Publikation B** wurde die gesamte Kohorte von insgesamt 7553 Patienten ausgewertet und charakterisiert. Es zeigt sich, dass 7.4% der Patienten über den Schockraum der Kliniken vorgestellt wurden. Von den Patienten ohne Schockraumversorgung wurden zwei Drittel zur stationären Therapie aufgenommen, die Hälfte davon wurde 5 Tage und länger stationär behandelt. Die Krankenhausmortalität lag bei 2% und verdoppelte sich signifikant, wenn der Sturz 48 Stunden oder länger zurücklag. In diesen Fällen war die Mortalität zu 90% nicht sturzassoziiert, sondern stand mit einer schweren akuten medizinischen oder neurologischen Erkrankung im Zusammenhang.

In **Publikation C** wurden die Daten von insgesamt 2839 Patienten aus dem gesamtkollektiv (n=7553; **Publikation B**) die vom 01. Januar 2016 bis 31. Dezember 2016 in den beiden universitären Notaufnahmen aufgrund eines LEF behandelt wurden im Detail analysiert. Die Auswertung ergab eine Prävalenz für eine oder mehrere Frakturen des Stammskeletts, also Wirbelsäule, Becken, proximale lange Röhrenknochen oder Rippen von 20.6% der Patienten. In 11% der durchgeführten bildgebenden Untersuchungen folgte der XR- eine CT-Untersuchung. Hierbei wären insgesamt 30% der Fraktur ohne die darauffolgende CT-Untersuchung nicht richtig erkannt worden. Zudem konnte gezeigt werden, dass die alleinige CT-Untersuchung eine signifikant höhere mediane effektive Dosisabschätzung von 9.14 Millisievert (mSv) verursacht, als die sequenziellen XR- und CT-Untersuchungen (5.50 mSv), wobei hierzu vor allem die CT-Untersuchungen der Brust- und Lendenwirbelsäule beitragen. Aufgrund der vorliegenden Daten kann keine generelle Empfehlung zur Erstlinien-CT-Untersuchung der aufgrund der klinischen Untersuchung mutmaßlich betroffenen Körperregionen nach jedem LEF in der Notaufnahme gegeben werden. Jedoch sprechen die Daten dafür, dass aufgrund einer Sensitivität von 49.7% und einem negativen Vor-

hersagequotienten (LR⁻, negative likelihood ratio) von 0.5 eine unauffällige XR-Untersuchung eine klinisch relevante Fraktur nicht sicher ausschließen kann, und folglich bei klinischem Verdacht die CT-Untersuchung niederschwellig indiziert werden sollte.

Neben der Strahlenbelastung durch eine CT-Untersuchung, werden nicht-traumaassoziierte Nebenbefunde, die im CT detektiert werden, und möglicherweise kostenintensive und belastende Folgeuntersuchungen oder -therapien nach sich ziehen, gegen die Durchführung einer initialen CT-Untersuchung bei diesen Patienten angeführt. Aus diesem Grund wurde in **Publikation D** die Prävalenz von CT-Nebenbefunden, sog. incidental findings (IF) in der in **Publikation C** beschriebenen Patientenko-horte systematisch erfasst und nach ihrer Behandlungsdringlichkeit in dringlich (1), relevant (2), potenziell relevant aber aktuell ohne klinische Bedeutung (3) und harm-los (4) kategorisiert.¹⁹ Insgesamt wurde bei drei Viertel der Patienten ein IF diagnosti-ziert, 16.4% der IFs wurden als dringlich oder relevant bewertet, bei denen eine so-fortige weiterführende Therapie oder Diagnostik durchgeführt wurde oder eine zeit-nahe Verlaufskontrolle empfohlen wurde. Nebenbefunde wurden vor allem in Abdo-men, Thorax und Hals gefunden. Als Risikofaktor für einen IF wurde Alter identifiziert, Frauen (75.2%) waren signifikant häufiger von IFs betroffen als Männer (71.5%). Die Studie zeigt, dass die meisten der im CT gefundenen IFs asymptomatisch sind und Ausdruck der häufigsten altersbedingten Veränderungen sind, wie z.B. arteriosklero-tischen Gefäßveränderungen. Die als dringlich eingestuften Nebenbefunde diagnosti-zieren häufig maligne Erkrankungen, die ggf. andernfalls unentdeckt geblieben wä-ren, oder aber auch akute Erkrankungen, die behandelbar und möglicherweise auch als sturzverursachend zu werten sind, wie z.B. Pneumonien. Die Ergebnisse der Stu-die erlauben die Schlussfolgerung, dass im klinischen Alltag der sicheren Diagnostik aller sturzbedingten Verletzungen und prognostisch relevanter bzw. therapierbarer Nebenbefunde der Vorzug zu geben ist, gegenüber einer möglicherweise erhöhten Krankheitslast und Ressourcenbeanspruchung durch Folgeuntersuchungen oder -behandlungen.

Traumatische Schädel-Hirn-Verletzungen und intrakranielle Blutungen zählen zu den häufigsten Verletzungen nach einem Sturz beim älteren Menschen.^{12, 13} Die Auswer-tungen der Kohorte aus **Publikationen C und D** konnte eine Prävalenz für eine trau-matische intrakranielle Blutung (tICH) von 6.9% zeigen, mit einer Krankenhaus-Mor-

talität von 8%.²⁰ Die stärksten Prädiktoren für eine tICH waren sichtbare supraklavikuläre Verletzungszeichen wie Platzwunden oder Prellungen und im cCT nachgewiesene Schädelfrakturen. Die Einnahme von blutverdünnenden Medikamenten wie Thrombozytenaggregationshemmer oder orale Antikoagulanzien war nicht mit dem Risiko für eine tICH oder deren Schwere assoziiert. Um zu untersuchen, ob der häufig in der initialen Risikostratifizierung des leichten SHT zur Indikation einer cCT eingesetzte Biomarker Protein S100b auch beim älteren Patienten mit LEF zur Entscheidungsfindung sinnvoll eingesetzt werden kann, wurde in **Publikation E** die Patientenohorte, die zwischen September 2014 und Dezember 2016 in der zentralen Notaufnahme des LMU Klinikums, Standort Großhadern (n=2687), behandelt wurde als Subgruppe analysiert, da nur hier das kalziumbindende Protein S100b einem lokalen Algorithmus folgend routinemäßig bei Verdacht auf ein leichtes SHT bestimmt wird.²¹ Die Studie bestätigt zum einen die bereits gezeigte fehlende Assoziation der tICH mit der Einnahme blutverdünner Medikamente. Der Biomarker S100b stellt keinen signifikanten Prädiktor für das Vorliegen einer tICH dar, mit einer Sensitivität von 91.6% und eine Spezifität von 17.8% für eine tICH und einem Area under the curve (AUC) Wert von 0.59 bei der receiver operating characteristics (ROC) Analyse. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass bei dieser besonderen Patientenpopulation, im Gegensatz zu den in den Validierungen des Biomarkers eingeschlossenen jüngeren Kohorten,²¹⁻²³ der Biomarker zum initialen Screening für die Entscheidung zur cCT-Untersuchung nicht ausreichend ist.

Der LEF des älteren Menschen mit Verletzungsfolgen ist ein häufiges und für den Patienten und das Gesundheitssystem relevantes Ereignis, das sich perspektivisch durch den demographischen Wandel in den kommenden Jahren häufen wird. Für eine angemessene Planung, Einsatz von Ressourcen und natürlich für eine patientenorientierte Behandlung, die die Bedürfnisse des älteren Menschen frühzeitig schon in der Notaufnahme erkennt, gilt es neben den Verletzungen weitere Risikofaktoren zu identifizieren, die eine möglichst frühe Vorhersage über eine stationäre Aufnahme, sowie Verlauf und Dauer der stationären Behandlung erlauben. Hierzu kann ein prospektiv durchgeführtes geriatrie-spezifisches Assessment (u.a. Klinischer Frailty Index, CFS; Charlson-Komorbiditätsindex, CCI; Barthel-Index; Delir-Screening) einschließlich patienten-berichteter validierter Erhebungen zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität (u.a. European Quality of Life 5 Dimensions, EQ5D;

Short Form 36, SF36) in der Notaufnahme hinsichtlich einer Assoziation mit Krankenhausaufnahme, Verweildauer und Mortalität untersucht werden. In **Publikation F** wurde diese Assessments monozentrisch, prospektiv tablet-basiert in einer neuen Kohorte von 201 älteren Patienten, die sich zwischen dem 01. November und 08. März 2021 nach einem LEF in der Notaufnahme des LMU Klinikums, Standort Großhadern, vorgestellt haben durchgeführt, und deren Vorhersagekraft für eine Krankenhausaufnahme und Krankenhausmortalität ausgewertet. Bei einer Aufnahmerate von 45.3% und einer Krankenhausmortalität von 3.6% waren Polypharmazie (Einnahme von ≥ 5 Medikamenten), eine hohe Behandlungsdringlichkeit (niedriger Emergency Severity Index; ESI) und eine höhere Verletzungsschwere (Injury Severity Score; ISS) signifikant mit der stationären Aufnahme assoziiert. Der CCI war signifikant mit Krankenhausmortalität assoziiert. Dies bedeutet, dass die klinische Akutheit und die Verletzungsschwere der gestürzten älteren Patienten einfach zu erhebende Prädiktoren für die Planung der Ressource *stationäre Behandlung* sein kann. Als Proof-of-Principle Untersuchung zeigt die Studie darüber hinaus, dass digitale Technologien auch in der Notaufnahme einsetzbar sind und ein geriatrisches Assessment schon dort erleichtern können und sog. patient-reported outcome measures (PROMs) z.B. zur aktuellen Lebensqualität, direkt erfasst und potenziell sowohl in Studien als auch in Routineerfassungen eingesetzt werden können.

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen bis jetzt, dass der LEF des älteren Menschen mit Verletzungsfolgen ein häufiges und sowohl für den Patienten als auch für die Gesundheitssysteme relevantes Ereignis ist. Die hier beschriebene Kohorte ist derzeit, obwohl retrospektiv in ihrem Studiendesign, die größte und am sorgfältigsten untersuchte Kohorte, da ausschließlich Daten aus den elektronischen Patientenakten erhoben wurde. Die Selektion der Patienten lässt, im Gegensatz zu den bislang publizierten Studien mit großen Patientenzahlen^{11, 12, 15} eine umfassende Bewertung der Patienten zu, die nicht über den Schockraum vorgestellt werden, und sind damit repräsentativ für den größten Teil der Population der Älteren mit LEF in unseren Notaufnahmen.

In der Zusammenschau deuten die Daten der einzelnen, sich ergänzenden Studien darauf hin, dass die derzeit praktizierten klinischen Entscheidungs- und Diagnostikpfade beim älteren Sturzpatienten eine gesonderte und differenzierte Betrachtung er-

fordern. Notfall- und akutmedizinische Prozesse und Standards während der Behandlung dieser vulnerablen Patientengruppe sind, v.a. in der Notaufnahme, anzupassen, um Ressourcen gezielt einzusetzen, die Patientensicherheit und -zufriedenheit zu erhöhen, möglicherweise deren Prognose zu verbessern und Kosten zu senken. Der retrospektive beobachtende Charakter der Studien limitiert deren Aussagekraft im Hinblick auf die Frage, ob eine initiale CT-Untersuchung von Kopf bis über das Becken hinaus, ggf. in Niedrigdosistechnik, als alleinige initiale bildgebende Diagnostik nach einem LEF vorteilhaft ist, mit Blick auf die diagnostische Sicherheit aber auch patientenbezogene Faktoren wie Verkürzung der Aufenthaltsdauern in den Notaufnahmen und dem Krankenhaus, weniger Komplikationen (z.B. Delir) und einer Reduktion der kurz- und mittelfristig entstehenden Gesundheitskosten. Diese Fragen müssen durch eine prospektive multizentrische kontrollierte Interventionsstudie beantwortet werden, in der gegen die aktuell gültige Standardpraxis verglichen wird.

Liste der zur kumulativen Habilitation beitragenden Publikationen

- A. **Pedersen V.**, Lampart A., Bingisser R., Nickel C.H. Accuracy of plain radiography in detecting fractures in older individuals after low-energy falls: current evidence. *Trauma Surg Acute Care Open* 2020;5:e000560.doi:10.1136/tsaco-2020-000560.
- B. **Pedersen V.**, Lampart A., Kammerlander C., Böcker W., Nickel C.H., Bingisser. R. Older Patients with Low-Energy Falls Presenting to the Emergency Department: Characteristics and Outcomes. *J Am Geriatr Soc* 2019 Jul;67(7):1527-1529. doi: 10.1111/jgs.15915.
- C. Lampart A., Arnold I., Mäder N., Niedermeier S., Escher A., Stahl R., Trumm C., Kammerlander C., Böcker W., Nickel C.H., Bingisser R., **Pedersen V.** Prevalence of Fractures and Diagnostic Accuracy of Emergency X-ray in Older Adults Sustaining a Low-Energy Fall: A Retrospective Study. *J Clin Med* 2019 Dec 30;9(1):97. doi: 10.3390/jcm9010097.
- D. Niedermeier S., Wania R., Lampart A., Stahl R., Trumm C., Kammerlander C., Böcker W., Nickel C.H., Bingisser R., Armbruster M., **Pedersen V.** Incidental CT Findings in the Elderly with Low-Energy Falls: Prevalence and Implications. *Diagnostics* 2022;12(2):354. doi: 10.3390/diagnostics12020354.
- E. Wania R., Lampart, A., Niedermeier, S., Stahl, R., Trumm, C., Reidler, P., Kammerlander, C., Böcker, W., Klein, M., **Pedersen, V.** Diagnostic value of protein S100b as predictor of traumatic intracranial haemorrhage in elderly adults with low-energy falls: results from a retrospective observational study. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2023 Jul 13. doi: 10.1007/s00068-023-02324-7
- F. Clemens V., Saller M., Meller R., Neuerburg C., Kammerlander C., Böcker W., Klein M. **Pedersen V.** Feasibility of structured tablet-based survey of older patients with low energy falls in the emergency department: outcomes from a prospective study *J Clin Med.* 2023 Apr 27;12(9):3144. doi: 10.3390/jcm12093144.

Stand der Forschung

Niederenergetische Stürze d.h. Stürze aus dem Stand, aus dem Bett oder von einem Stuhl, betreffen ein Drittel aller älteren Personen ab dem 65. Lebensjahr und gehören zu den häufigsten Todesursachen in den Industrienationen.⁶ Die jährliche Inzidenz für einen Sturz aus niedriger Fallhöhe nimmt sowohl in Deutschland als auch international in den Industrienationen im höheren Lebensalter zu, so liegt die Sturzhäufigkeit bei 28 bis 35% pro Jahr mit 65 Jahren und bei bis zu 50% mit 80 Jahren.² Ebenso nimmt der Anteil älterer Menschen, die sich in einer Notaufnahme vorstellen kontinuierlich zu.¹⁻⁵ So betrug z.B. der Anteil an Patienten älter 65 Jahre im Jahr 2019 über 35% aller Notfallpatienten (ca. 40.000/Jahr) in der Zentralen Notaufnahme (ZNA) des LMU Klinikums, Standort Großhadern. Bei mehr als 16% dieser Patienten war ein Sturz mit seinen Folgen der Vorstellungsgrund. LEF sind mit einer signifikanten Morbidität und Mortalität verbunden.^{11, 12} Registerauswertungen zeigen, dass der LEF der führende Traumechanismus des älteren Menschen ist, und im Gegensatz zum jungen Menschen ein vergleichbarer Unfallmechanismus bei älteren Menschen schwerere Verletzungen mit einer schlechteren Prognose zur Folge hat.^{11, 15}

Die mögliche Verletzungsschwere wird bei der Erstbeurteilung, sowohl präklinisch als auch in der Notaufnahme aufgrund des angenommenen niederenergetischen Traumas, aber auch häufig aufgrund wenig präziser Angaben der häufig multimorbid vorerkrankten Patienten unterschätzt.^{6, 24} Dies verursacht im klinischen Alltag ein Spannungsfeld zwischen diagnostischer Unterversorgung mit übersehenden, behandlungsrelevanten Pathologien²⁵ und der begründeten Sorge einer Überdiagnostik.¹⁸ Begleitende Faktoren, wie z.B. Ko- bzw. Multimorbidität, Osteoporose, kognitive Störungen oder Polypharmazie können die richtungsweisende klinische Beurteilung des Patienten erschweren. Häufig konkurrieren schwerwiegende (häufig sturzauslösende) akute internistische oder neurologische Erkrankungen (z.B. Schlaganfall, Herzinfarkt, Sepsis, Herzrhythmusstörungen, schwere Elektrolytentgleisungen), so dass die Diagnostik der sturzbedingten Verletzungen des Stammskeletts (Wirbelsäule, Thorax, Becken) in der Akutdiagnostik nachgeordnete Priorität hat. Neben einer relevanten Prävalenz intrakranieller Traumafolgen und Verletzungen der Halswirbelsäule sind es insbesondere die Verletzungen des Stammskeletts (Wirbelsäule, Becken) und der proximalen Röhrenknochen sowie Thoraxverletzungen (Rippenserienfrakturen, Hämo-/Pneumothorax), die eine relevante Morbidität darstellen^{11, 26, 27} und potenziell

einer zeitnahen Intervention bedürfen. Sollten diese Verletzungen zunächst unerkannt bleiben, kann damit ein prolongierter Krankenhausaufenthalt mit verspäteter chirurgischer Versorgung und damit verbundenem schlechterem Outcome vergesellschaftet sein,²⁵ woraus sich ein Plädoyer für eine algorithmus-basierte Überdiagnostik ableiten lässt.

Derzeit existieren dafür aber weder Leitlinien oder akzeptierte klinische Entscheidungswege, noch standardisierte patientenorientierte und ressourcenangepasste Prozesse, die im Hinblick darauf ein pragmatisches und sicheres Vorgehen bei der Notfallbildgebung definieren. Nach derzeitiger Kenntnis liegen aktuell keine prospektiven systematischen Untersuchungen vor, die ein Standard-Management bestehend aus sequenziellen XR-Untersuchungen des Stammskeletts und des Thorax und ggf. CT-Untersuchungen vom Schädel und der Halswirbelsäule gegen ein natives Ganzkörper-CT-Protokoll (Schädel, Halswirbelsäule, Thorax, Abdomen, Becken, proximales Femur, Schulter und proximale obere Extremität) beim geriatrischen Patienten nach LEF ohne Schockraumaktivierung untersucht haben.

Das Ziel der vorliegenden Habilitationsarbeit war es die gängige Praxis der Notfalluntersuchung und Notfallbildgebung des älteren Patienten nach einem LEF im Hinblick auf diagnostische Sicherheit, Risiken und Ressourcenbedarf zu bewerten.

Ziele der Habilitationsarbeit

Zur Bewertung der gängigen Praxis der Notfalluntersuchung und Notfallbildgebung des älteren Patienten nach einem LEF im Hinblick auf diagnostische Sicherheit, Risiken und Ressourcenbedarf ergeben sich folgende Fragestellungen für das vorliegende Habilitationsprojekt:

1. Wie ist die aktuelle Evidenz zur diagnostischen Genauigkeit der konventionellen Röntgen-Untersuchung bei der Diagnostik von Frakturen des Achsenskeletts beim älteren Patienten nach einem niederenergetischen Sturz? (Publikation A)
2. Was charakterisiert den älteren Patienten der sich ohne Schockraumaktivierung nach einem niederenergetischen Sturz in einer Notaufnahme vorstellt? (Publikation B bis F)
3. Wie hoch ist die Prävalenz von Frakturen und diagnostische Genauigkeit der Röntgen-Untersuchung beim älteren Patienten nach einem niederenergetischen Sturz? (Publikation C)
4. Wie hoch ist die Prävalenz und Bedeutung von CT-Nebenbefunden beim älteren Patienten nach einem niederenergetischen Sturz? (Publikation D)
5. Wie ist der diagnostische Wert des Biomarkers Protein S100b beim Screening für intrakranielle Blutungen beim älteren Patienten mit LEF? (Publikation E)
6. Gibt es einfach zu erfassende outcome-orientierte klinische Prädiktoren für den Ressourcenbedarf von älteren Patienten nach einem niederenergetischen Sturz, und können digital-unterstützte Assessments in der Notaufnahme eingesetzt werden? (Publikation E und F)

Ergebnisse

Publikation A: Systematische Übersicht der gegenwärtigen Evidenz zur diagnostischen Genauigkeit und Sicherheit der konventionellen Röntgenuntersuchung zur Frakturdagnostik beim älteren Menschen nach einem niederenergetischen Sturz.

Um eine systematische Übersicht der gegenwärtigen Evidenz zur diagnostischen Genauigkeit der XR beim LEF des älteren Patienten zu gewinnen wurde eine systematische Literatursuche mit Metaanalyse durchgeführt. Die umfassende Datenbankrecherche in Pubmed, EMBASE, Cochrane Library, WHO International Clinical Trial Platform und ClinicalTrial.gov über den Suchzeitraum vom jeweiligen Beginn der Datenbank bis Januar 2020 liefert 8944 Treffer. Davon erfüllten 11 Studien die definierten PICO-(Population, Intervention, Comparison, Outcome) Kriterien²⁸ (Tab. 1) und wurden analysiert (Abb. 1).

Tabelle 1. Suchanfragen gemäß PICO-Kriterien²⁸.

Population	geriatric patient \geq 65 years of age, ground level fall (GLF, fall from: standing position (including snow/ice), low furniture, being carried or supported by a second person, wheel chair, stairs (up to 1m height), minor trauma/injury, low energy trauma. (fulfilled if \geq 80% of eligible patients met the criteria).
Intervention	CT, whole body CT, full body CT, computed axial tomography (CAT scan), computer aided tomography, positron emission tomography (PET), single-photon emission computed tomography (SPECT), specifically of: torso, ribs, abdomen, spine, pelvis
Comparison	No measure or any but CT; in the same region as the intervention
Outcome	fracture

CT: Computertomographie; GLF: ground level fall; PET: Positronen-Emissionscomputertomographie; SPECT: Single-Photon-Emissionscomputertomographie

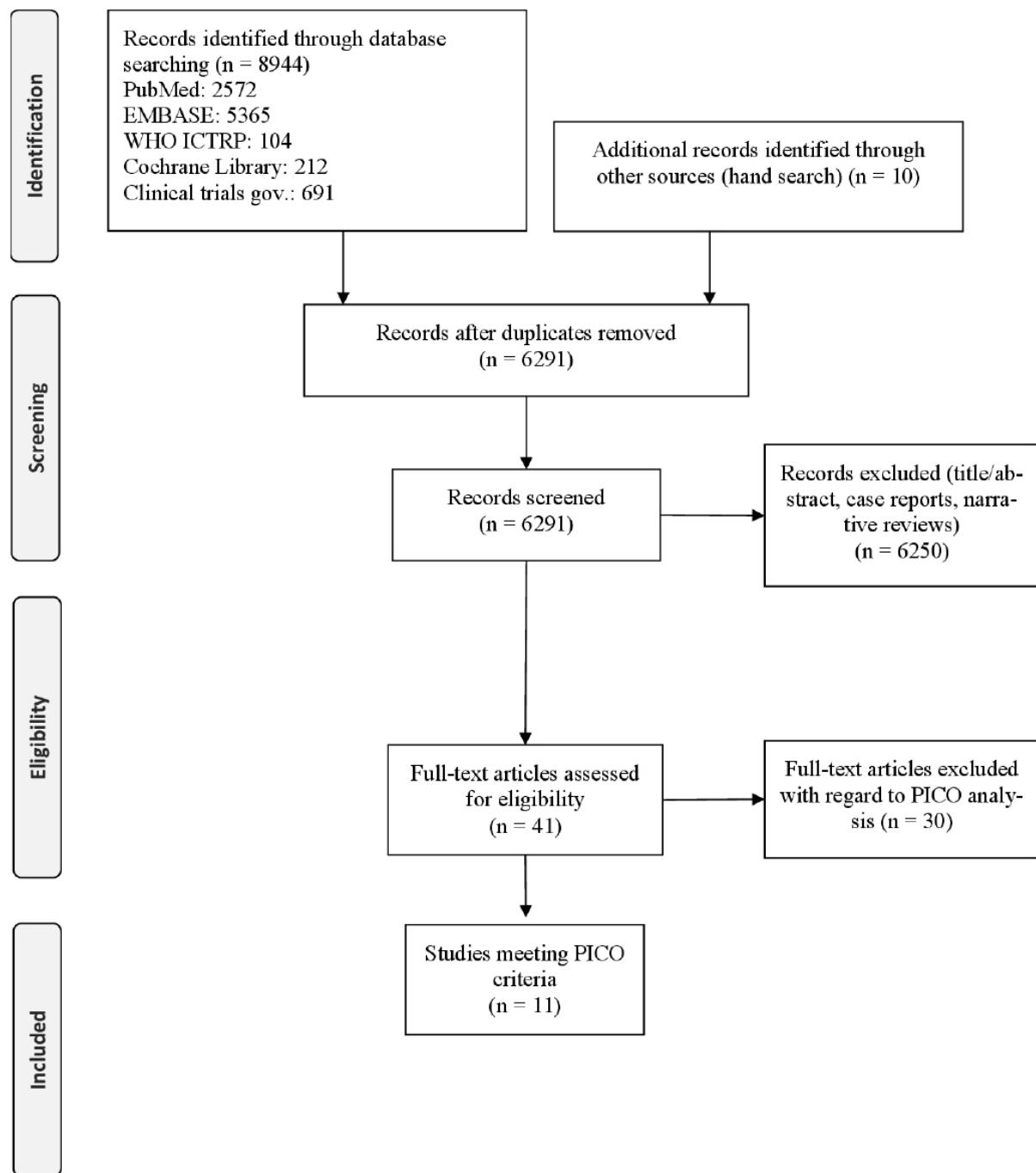


Abbildung 1. Flussdiagramm zur Identifikation und Einschluss relevanter Studien nach PRISMA²⁹. PICO: Population, Intervention, Comparison, Outcome; PRISMA: Preferred Reporting Items for Systematic Review and Metaanalysis (aus ³⁰).

Die identifizierten Studien hatten ein hohes Verzerrungsrisiko (risk of bias) nach QUADAS-Assessment^{31, 32} (Abb. 2).

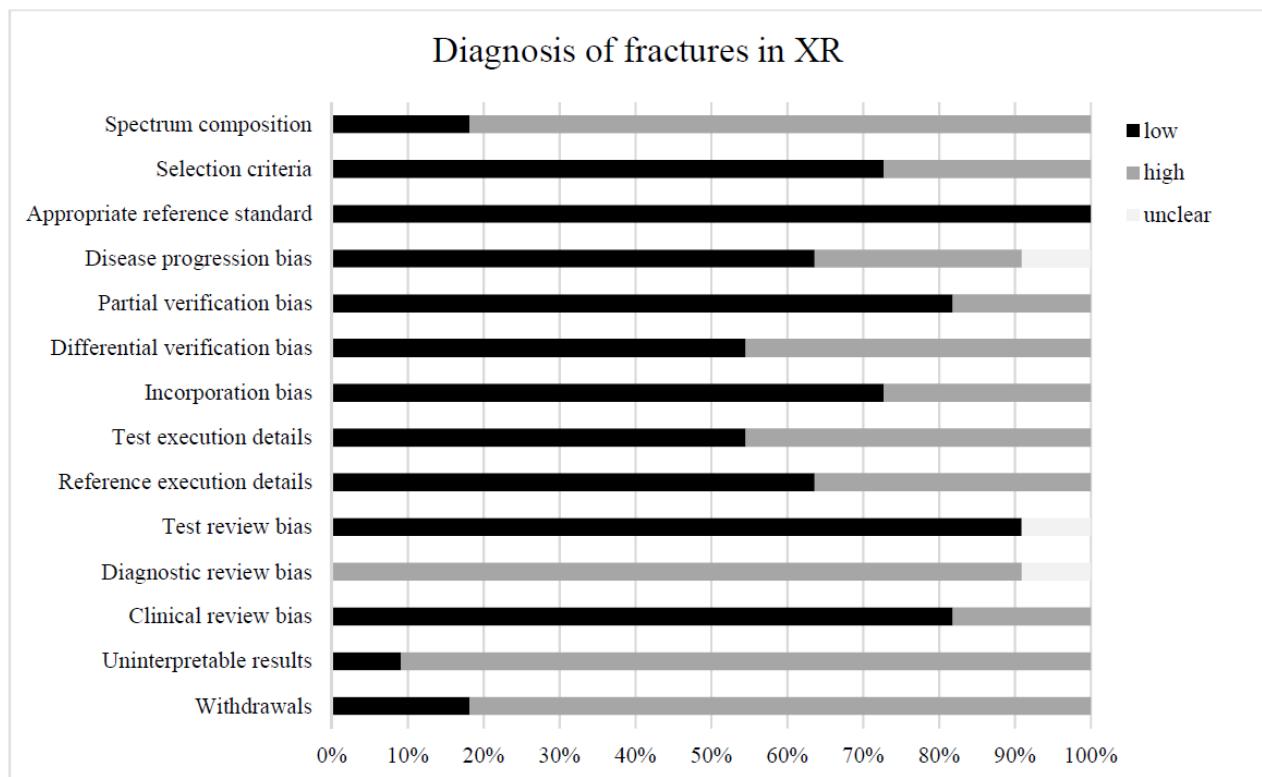


Abbildung 2. Anteil der Studien (n=11) mit „niedrigem Risiko (low)“, „hohem Risiko (high)“ oder „unklarem Risiko (unclear)“ für jedes der QUADAS-Items bezogen auf die Diagnose von Rippenfrakturen, Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule und des Beckenrings. QUADAS: Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies; XR: konventionelle Röntgenuntersuchung (aus ³⁰).

Die Heterogenität war signifikant bei Studien zu Beckenringfrakturen (df: 8, Q: 101.1, I₂: 92.1%, p<0.001) und zu Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule (df: 1, Q: 3.9, I₂: 74.1%, p=0.049), und nicht signifikant bei Studien zu Rippenfrakturen (df: 1, Q: 0.61, I₂: 0%, p=0.44). Die geplante Metaanalyse konnte aufgrund der Heterogenität nicht durchgeführt werden. Die Analysen der Spezifität und Sensitivität der XR-Untersuchung lagen abhängig von der untersuchten Region des Stammskeletts zwischen 55 und 100% bzw. 10 und 58% für die korrekte Frakturdetektion, im Vergleich zur CT-Untersuchung als Goldstandard (Tab. 2).

Die diagnostische Genauigkeit der XR zur Diagnose von Rippenfrakturen liegt in der Untersuchung von zwei Studien^{33, 34} mit insgesamt 398 Patienten bei 72.1 bzw. 83.0% mit einer LR⁺ von 0.8 bzw. 0.6 (siehe Tab. 2). In einer der beiden Studien³³ konnte keine signifikanten Unterschiede bei der Krankenhausaufenthaltsdauer, der Aufnahmerate auf Intensivstation, der Aufenthaltsdauer auf Intensivstation und der Sterblichkeit zwischen den Patienten mit und ohne Rippenfrakturen zeigen. In zwei

Studien wurde die diagnostische Genauigkeit von biplanaren XR-Aufnahmen im Bereich der thorakalen (n=140 Patienten) bzw. lumbalen Wirbelsäule (n=76 Patienten) untersucht.^{34, 35} Die diagnostische Genauigkeit der XR für den Nachweis einer Fraktur im Bereich der thorakolumbalen Wirbelsäule lag zwischen 51.4³⁵ und 63.6 (thorakal) bzw. 75.0% (lumbal)³⁴ mit einer LR⁻ zwischen 0.9³⁵ und 0.4 (lumbal) bzw. 0.6 (thorakal).³⁴ In beiden Studien war die effektive Dosisabschätzung 26-³⁵ bis 55-fach³⁴ im Bereich der Brustwirbelsäule bzw. 13-fach im Bereich der Lendenwirbelsäule³⁴ in der CT-Untersuchung erhöht im Vergleich zur XR-Untersuchung.

Insgesamt wurde in 9 der identifizierten Studien die diagnostische Genauigkeit der XR-Untersuchung beim Nachweis von Beckenringfrakturen untersucht, an gesamt 1622 Patienten.^{34, 36-43} Aufgrund der methodischen Schwäche konnte nur in 5 dieser Studien eine Berechnung der diagnostischen Genauigkeit durchgeführt werden. Sie lag zwischen 13.3⁴¹ und 76.9%⁴², mit einer LR⁻ zwischen 0.5⁴² und 1.5.⁴¹ Die Auswertung der effektiven Dosisabschätzung zeigte absolute Werte für die XR-Untersuchung von im Median 0.02 mSv im Vergleich zu 3.16 mSv in der CT-Untersuchung³⁴, was einer 158-fachen Zunahme in dieser Region entspricht. Der initial CT-geführte Nachweis von Beckenringfrakturen mit einer operativen Stabilisierung der Fraktur resultiert in einer kürzeren Krankenhausverweildauer verglichen mit der initialen XR-Diagnostik.³⁶ Insgesamt resultierte die CT-Untersuchung in einer Zunahme der Diagnose von Frakturen des hinteren Beckenrings, inkl. Os sacrum und einer Zunahme der chirurgischen Stabilisierung.³⁶

Tabelle 2. Messungen der diagnostischen Genauigkeit (95%-Konfidenzintervall) der XR-Untersuchung für die Frakturerkennung in den jeweiligen Körperregionen in den eingeschlossenen Studien jeweils verglichen mit der CT-Untersuchung als Goldstandard (aus ³⁰).

Publication	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	LR ⁺	LR ⁻	Accuracy (%)
Thorax and rib cage							
Lampart <i>et al</i> ²⁰	22.7 (7.8–45.4)	95.7 (85.2–99.5)	71.4 (34.5–92.2)	72.1 (67.2–76.6)	5.2 (1.1–24.9)	0.8 (0.6–1.0)	72.1 (59.9–82.3)
Singleton <i>et al</i> ¹⁹	41.7 (31.7–52.2)	100 (98.4–100)	100 (n/a)	80.7 (77.9–83.2)	n/a	0.6 (0.5–0.7)	83.0 (78.5–86.9)
Thoracolumbar spine							
Karul <i>et al</i> ²⁸	49.2 (36.6–61.9)	54.8 (38.7–70.2)	62.8 (52.7–71.8)	41.1 (32.6–50.1)	1.1 (0.7–1.7)	0.9 (0.6–1.3)	51.4 (41.5–61.2)
Lampart <i>et al</i> ²⁰ (thoracic spine)	40.0 (19.1–64.0)	100 (75.3–100)	100 (n/a)	52.0 (43.1–60.8)	n/a	0.6 (0.4–0.9)	63.6 (45.1–79.6)
Lampart <i>et al</i> ²⁰ (lumbar spine)	57.8 (42.2–72.3)	100 (88.8–100)	100 (n/a)	62.0 (53.7–69.7)	n/a	0.4 (0.3–0.6)	75.0 (63.7–84.2)
Hip and pelvic ring							
Böhme <i>et al</i> ²¹	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Dunker <i>et al</i> ²²	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Eggenberger <i>et al</i> ²⁹	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Heikal <i>et al</i> ²³	10.5 (2.9–24.8)	100 (87.2–100)	100 (n/a)	44.3 (41.6–47)	n/a	0.9 (0.8–1.0)	47.7 (35.2–60.5)
Lampart <i>et al</i> ²⁰	31.4 (23.3–40.5)	98.6 (92.6–99.9)	97.4 (84.2–99.6)	46.5 (43.4–49.5)	22.9 (3.2–163.5)	0.7 (0.6–0.8)	56.7 (49.4–63.8)
Natoli <i>et al</i> ²⁴	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Nüchtern <i>et al</i> ²⁷	0 (0–7.4)	66.7 (34.9–90.1)	0	14.3 (10.5–19.9)	0	1.5 (1.0–2.2)	13.3 (5.9–24.6)
Schicho <i>et al</i> ²⁵	52.2 (45.5–58.7)	95.5 (92.5–97.5)	89.6 (83.6–93.6)	72.7 (69.9–75.4)	11.6 (6.8–19.6)	0.5 (0.4–0.6)	76.9 (73.2–80.4)
Thomas <i>et al</i> ²⁶	0 (0–3.4)	100 (96.1–100)	n/a	46.7 (46.7–46.7)	n/a	1. (1.0–1.0)	46.7 (39.7–53.9)

LR⁺, positive likelihood ratios; LR⁻, negative likelihood ratio; n/a, not applicable; NPV, negative predictive value; PPV, positive predictive value; XR, plain radiography.

Publikation B: Charakteristika und Outcome von älteren Patienten, die sich nach einem niederenergetischen Sturz in einer Notaufnahme vorstellen.

Um eine umfassende Charakterisierung der älteren Patienten, die sich nach bzw. mit einem LEF in einer Notaufnahme vorstellen, vornehmen zu können, wurde eine retrospektive Beobachtungsstudie an einer großen repräsentativen Kohorte durchgeführt. Hierzu wurden Patienten konsekutiv retrospektiv eingeschlossen, die über 28 Monate an zwei universitären zentralen Notaufnahmen in Deutschland (LMU Klinikum, Standort Großhadern) und der Schweiz (Universitätsspital Basel) behandelt wurden, am Aufnahmetag 65 Jahre oder älter waren, einen LEF innerhalb der vorangegangenen 7 Tage erlitten haben und eine CT-Untersuchung in der Notaufnahme oder innerhalb von 48 Stunden nach Aufnahme erhielten. Von den 7553 identifizierten Patienten wurden 7.4% über den Schockraum vorgestellt. Das mediane Alter der 6268 Patienten **ohne** Schockraumzuweisung war 82 Jahre, 61.9% der Patienten waren weiblich. Zwei Drittel (65%) der Patienten wurden zur stationären Therapie aufgenommen, die Hälfte davon wurde 5 Tage und länger stationär behandelt. Die Krankenhausmortalität lag bei 2% und verdoppelte sich signifikant auf 4.2%, wenn der Sturz 48 Stunden oder länger zurücklag, wobei in diesen Fällen, die Mortalität zu 90% nicht sturzassoziiert war, sondern mit einer schweren akuten medizinischen oder neurologischen Erkrankung im Zusammenhang stand. Die mediane Aufenthaltsdauer in den Notaufnahmen lag bei knapp 5 Stunden bei stationärer Aufnahme und bei 4:24 Stunden bei den ambulant verbliebenen Patienten (Tab. 3).

Tabelle 3. Charakteristika von 6268 älteren Patienten, mit einem niederenergetischen Sturz ohne Schockraumzuweisung (aus⁴⁴).

Table 1. Baseline characteristics of 6268 older adult patients presenting with a low-energy fall

Characteristics	Total (n = 6268)	Basel, Switzerland (n = 3160)	Munich, Germany (n = 3108)	P value
Age, y				
Median (range)	82 (65-105)	83 (65-104)	81 (65-105)	.05 ^a
65-74, %	21.1	21.0	21.2	
75-84, %	40.0	38.4	41.7	
>85, %	38.8	40.6	37.1	
Female subjects, No. (%)	3882 (61.9)	1967 (62.2)	1915 (61.6)	.62 ^b
In-hospital mortality, No. (%)	125 (2)	61 (1.9)	64 (2.1)	.86 ^b
Presentation after fall ≤24 h, No. (%)	5545 (88.5)	2710 (85.8)	2835 (91.2)	<.001 ^b
In-hospital mortality, No. (%)	100 (1.8)			
Fall-related mortality, No. (%)	42 (42)			.006 ^c
Presentation after fall ≤48 h, No. (%)	370 (5.9)	240 (7.6)	130 (4.2)	
In-hospital mortality, No. (%)	10 (2.7)			
Fall-related mortality, No. (%)	1 (10)			
Presentation after fall ≤7 d, No. (%)	353 (5.6)	210 (6.6)	143 (4.6)	.001 ^d
In-hospital mortality, No. (%)	15 (4.2)			
Fall-related mortality, No. (%)	1 (6.7)			
Hospital admission, No. (%)	4076 (65)	2026 (64)	2050 (66)	.13 ^b
ICU admission, No./total (%)	249/4076 (4.0)	130/2026 (4.1)	119/2050 (3.8)	.018 ^b
Hospital LOS, median (range), d	4 (1-157)	2 (1-84)	5 (1-157)	<.001 ^e
ED LOS admitted, median (95% CI), h	4:57 (4:53-5:02)	5:51 (5:42-5:58)	4:07 (4:02-4:15)	<.001 ^e
ED LOS discharged, (median (95% CI), h	4:24 (4:19-4:30)	4:18 (4:11-4:25)	4:31 (4:24-4:39)	.662 ^e

CI: Konfidenzintervall; ED: Notaufnahme; ICU: Intensivstation, LOS: Aufenthaltsdauer.

Gruppenvergleich mit ^aT-Test, ^bFisher's exact test, ^cPearson Chi² Test, ^dunivariate logistische Regression, ^eMann-Whitney U-Test.

Publikation C: Prävalenz von Frakturen und diagnostische Genauigkeit der Röntgen-Untersuchung beim älteren Patienten nach einem niederenergetischen Sturz.

Um Informationen über die tatsächlichen Verletzungen und die diagnostische Genauigkeit der XR-Untersuchung zum Nachweis bzw. Ausschluss von Frakturen am Stammskelett im Rahmen der Notfalluntersuchungen zu erhalten, wurden an einer Subpopulation der in Publikation B beschriebenen Kohorte eine detaillierte Analyse der Verletzungsmuster, der radiologischen Befunde und einer Abschätzung der effektiven Dosisabschätzung aus den digitalen Patientenakten retrospektiv durchgeführt. Eingeschlossen wurde konsekutiv alle Patienten, die über 12 Monat (01. Januar 2016 bis 31.12.2016) mit einem LEF in einer der beiden Notaufnahmen mit XR- und CT-Untersuchungen von Kopf und verschiedenen Regionen des Stammskeletts, also Wirbelsäule, Becken, proximale lange Röhrenknochen und Rippen (in unterschiedlicher Verteilung) untersucht wurden (Abb. 3 und 4).

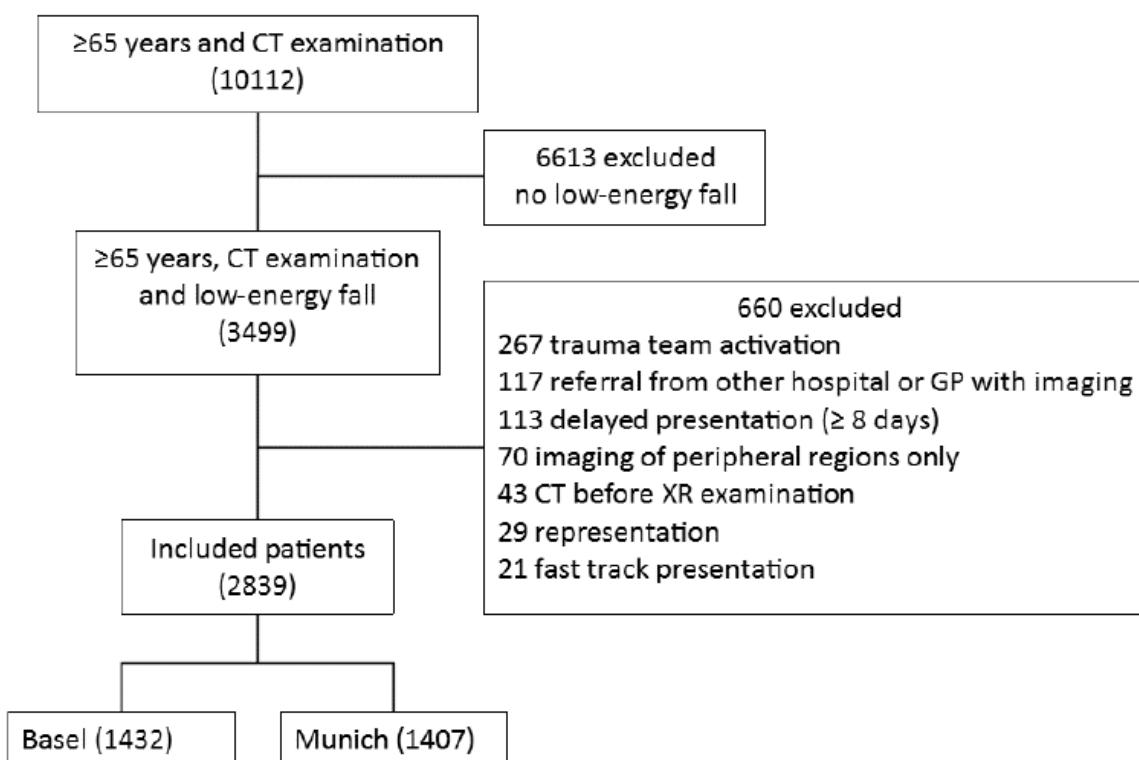


Abbildung 3. Einschluss- und Ausschluss-Flussdiagramm der Patientenauswahl vom 1. Januar 2016 bis 31. Dezember 2016 in Basel und München, bei denen eine CT-Untersuchung des Kopfes, der Wirbelsäule, des Brustkorbs, Beckenringes oder der proximalen Röhrenknochen bei der Vorstellung in der Notaufnahme oder innerhalb von 48 Stunden durchgeführt wurde. CT: Computertomographie; GP: Hausarzt/niedergelassener Facharzt; XR: Röntgen-Untersuchung (aus³⁴).

Es wurden insgesamt 2839 Patienten eingeschlossen, medianes Alter war 82 Jahre, mit einem Frauenanteil von 64.1%. Insgesamt erlitten 20.6% der Patienten eine oder mehrere Frakturen, 13% der Patienten hatten keinerlei Verletzungen nach einem Sturzereignis (sog. non-injurious fall). Die Frakturprävalenzen lagen bei 1.4% an der Halswirbelsäule (39/2839), 2.2% an der Brustwirbelsäule (62/2839), 2.5% an der Lendenwirbelsäule (71/2839), 3.0% am Brustkorb (86/2839), 5.4% am Beckenring (152/2839), 3.9% am proximalen Humerus (112/2839), 3.9% am proximalen Femur (112/2839) und 0.6% (18/2839) in den anderen abgebildeten Regionen (Klavikula, Skapula, Sternum, Os coccygis). Die mediane Verletzungsschwere ISS lag bei 3 (95% CI: 2–3), die Krankenhausmortalität betrug 3.3% (62/2839). Die Krankenhaus-aufnahmerate bei Patienten mit Frakturen war 88.4% (517/585). Im Vergleich dazu wurden 60.4% (1362/2254) und damit signifikant weniger ($p<0.001$, Fisher's exact-test) Patienten die keine Frakturen erlitten haben stationär aufgenommen.

Insgesamt erhielten 15.9% (452/2839) Patienten eine CT-Untersuchung in Folge einer XR-Untersuchung in einer Körperregion, d.h. von insgesamt 4901 Bildgebungsprozessen wurde in 540 Prozeduren (11%) der XR-Untersuchung eine CT-Untersuchung nachgeordnet (Abb. 4).

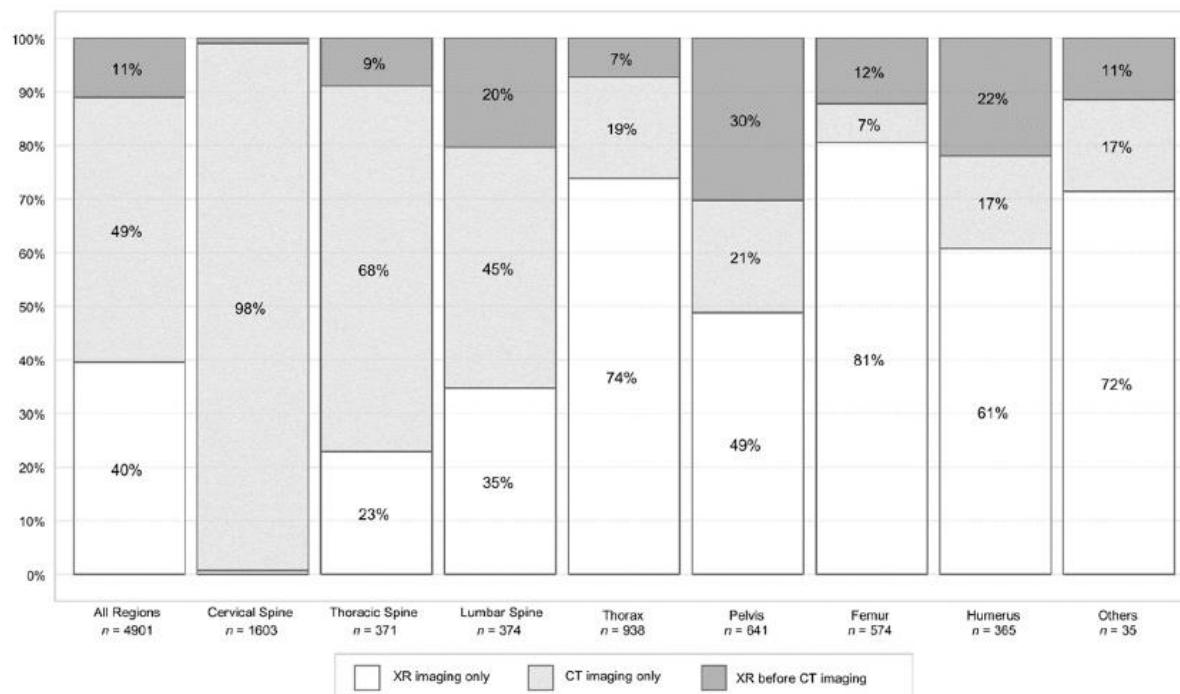


Abbildung 4. Anteil (%) der bildgebenden Arbeitsabläufe "nur XR-Bildgebung", "nur CT-Bildgebung" und "X vor CT-Bildgebung" von 4901 Bildgebungsverfahren der Halswirbelsäule, Brustwirbelsäule,

Lendenwirbelsäule, Brustkorb, Beckenring, proximaler Oberschenkelknochen und Oberarmknochen sowie andere Regionen (Schlüsselbein, Skapula, Sternum und Steißbein). CT: Computertomographie; XR: Röntgen-Untersuchung (aus³⁴).

Hierbei wären insgesamt 30% der Fraktur ohne die darauffolgende CT-Untersuchung nicht richtig erkannt worden, je nach Körperregion lag dieser Anteil zwischen 11 (proximaler Oberschenkelknochen) und 43% (Becken) (Abb. 5).

Insgesamt lag die Sensitivität der XR-Untersuchung zur Erkennung von Frakturen bei 49.7 % (95% CI: 44.0–55.3) und die Spezifität bei 98.2 % (95% CI: 95.5–99.5). Der positiv-prädiktive Wert (PPV) betrug 97.5% (95% CI: 93.7–99.1), der negativ-prädiktive Wert (NPV) lag bei 58.0% (95% CI: 55.3–60.7), die positive Likelihood-Ratio (LR^+) bei 27.6 (95% CI: 10.5–74.0) und die LR^- bei 0.5 (95% CI: 0.5–0.6). Abbildung 5 veranschaulicht den kumulativen Prozentsatz der Diagnosen, die ungenau gewesen wären, wenn die CT-Untersuchung nicht durchgeführt worden wäre.

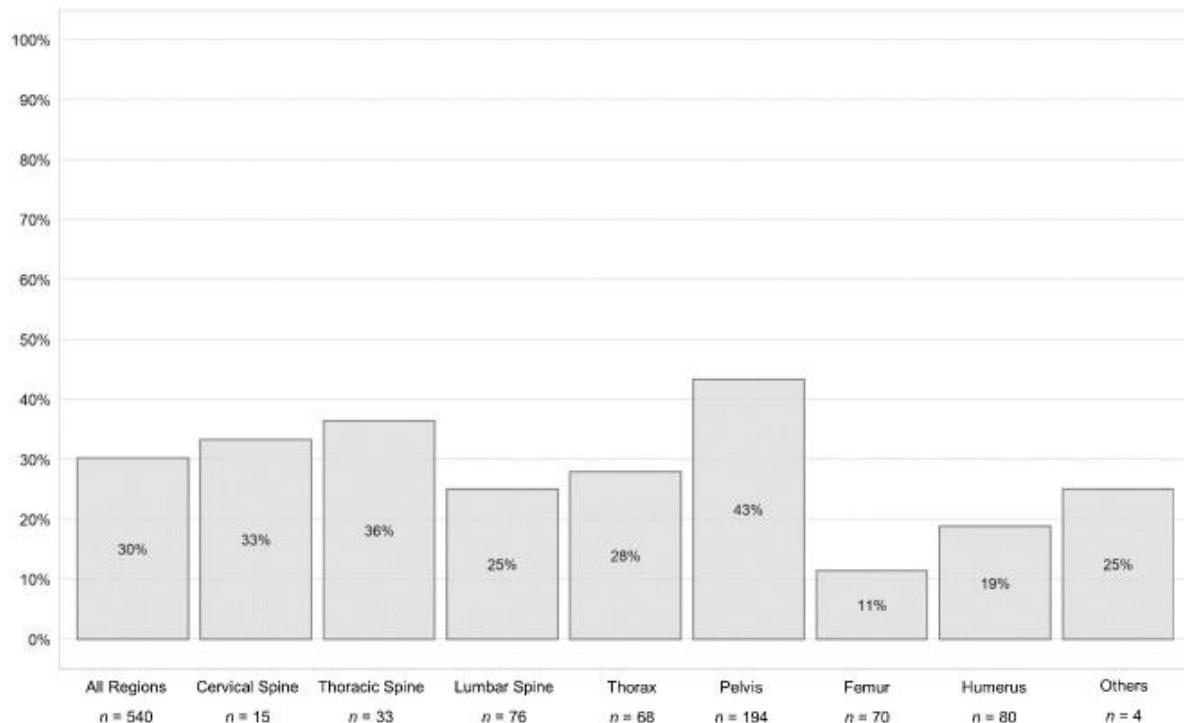


Abbildung 5. Kumulativer Prozentsatz der Diagnosen, die ohne CT ungenau gewesen wären bei n=540 bildgebenden Verfahren der Halswirbelsäule, der Brustwirbelsäule, der Lendenwirbelsäule, des Brustkorbs, des Beckenrings, des proximalen Oberschenkelknochens und des Oberarmknochens sowie anderer Regionen (Schlüsselbein, Skapula, Sternum und Steißbein) (aus³⁴).

Eine Abschätzung der effektiven Dosis konnte in 2484 Fällen (87.5%) durchgeführt werden. Die höchste effektive mediane Dosis von 9.14 mSv (Bereich 0.14–46.4 mSv, IQR: 5.94–15.6 mSv) wurden in Fällen mit "CT-Untersuchung" verabreicht. Diese war signifikant höher als in Fällen mit "XR vor CT-Untersuchung", mit einer medianen effektiven Dosis von 5.50 mSv (Bereich 0.03–49.6 mSv, IQR: 3.17–9.27; $p<0.001$ post-hoc False Discovery Rate nach Benjamini-Hochberg). Tabelle 4 fasst die effektive Dosisabschätzung für die verschiedenen Körperregionen zusammen und setzt sie in Bezug zu vorbekannten Werten.⁴⁵

Tabelle 4. Zusammenfassung der effektiven Dosisabschätzung in mSv (Median, IQR) in Abhängigkeit von der Körperregion (bei 2484 Patienten), im Vergleich zu früher veröffentlichten Daten (Mittelwert, Standardabweichung).⁴⁵

	Effective dose XR	Effective dose CT	Effective dose CT⁴⁵
Head	n.a.	1.40 (0.17–0.19)	n.a.
Cervical spine	0.09 (0.06–0.22)	3.29 (0.25–1.54)	4.36 ± 2.03
Thoracic spine	0.23 (0.23–0.61)	12.68 (9.06–16.77)	17.99 ± 6.12
Lumbar spine	0.62 (0.39–1.03)	8.08 (4.57–9.67)	19.15 ± 5.63
Chest	0.02 (0.01–0.02)	3.57 (3.52–5.18)	5.27 ± 1.68
Pelvis	0.02 (0.02–0.03)	3.16 (1.54–2.39)	4.85 ± 1.74
Humerus	0.02 (0.03–0.04)	n.a.	2.06 ± 1.52
Femur	0.02 (0.02–0.04)	0.048 (0.02–0.08)	0.16 ± 0.12

CT: Computertomographie; IQR: Interquartalsbereich; mSv: Millisievert; XR: native Röntgen-Untersuchung; n.a.: nicht anwendbar.

Publikation D: Prävalenz und Bedeutung von CT-Nebenbefunden beim älteren Patienten nach einem niederenergetischen Sturz.

Um die Prävalenz und die klinische Relevanz im Sinne einer Behandlungsdringlichkeit von CT-Nebenbefunden beim älteren Patienten mit einem Sturzereignis zu beschreiben, wurden alle durch die Radiologie beschriebenen IFs der untersuchten Körperregionen in den CT-Befunde in Studie C eingeschlossenen Patienten analysiert und in einem Bewertungssystem nach dringlich (1), relevant (2), potenziell relevant aber aktuell ohne klinische Bedeutung (3) und harmlos (4) kategorisiert.¹⁹ Insgesamt wurde bei drei Viertel (73.9%) der Patienten ein Nebenbefund diagnostiziert, mit durchschnittlich 1.6 IFs pro Patient. Von diesen wurden 16.4% der IFs als dringlich oder relevant bewertet, bei denen eine sofortige weiterführende Therapie oder Diagnostik durchgeführt wurde (Kategorie 1) oder eine zeitnahe Verlaufskontrolle (Kategorie 2) empfohlen wurde (Tab. 5).

Tabelle 5. Verteilung der Nebenbefunde nach Dringlichkeit nach¹⁹ (aus⁴⁶).

Category	Definition	%
1	Urgent treatment or further examination	7.6
2	Follow-up within 3 to 6 months	8.8
3	Asymptomatic but potentially relevant	78.5
4	Harmless, no further investigation	5.1

Nebenbefunde wurden vor allem in Abdomen, Thorax und Hals gefunden. Zunehmendes Lebensalter ist mit der Prävalenz eines Nebenbefunds assoziiert (OR: 1.053, 95% CI: 1.042–1.064, $p < 0.001$), in der Altersgruppe ≥ 85 Jahre wurden in 82.7% der Patienten ein Nebenbefund identifiziert. Insgesamt waren Frauen (75.2%) häufiger von Nebenbefunden betroffen als Männer (71.5%) ($\text{Chi}^2: 4.73$, df: 1, $p = 0.03$). Die Abbildungen 6 und 7 stellen die Verteilungen der Nebenbefunde je Kategorie in den verschiedenen Körperregionen (Abb. 6) und je Altersklasse (Abb. 7) dar. Die Top-5-Nebenbefunde der Dringlichkeitskategorien 1 und 2 sind Tabelle 6 zusammengefasst.

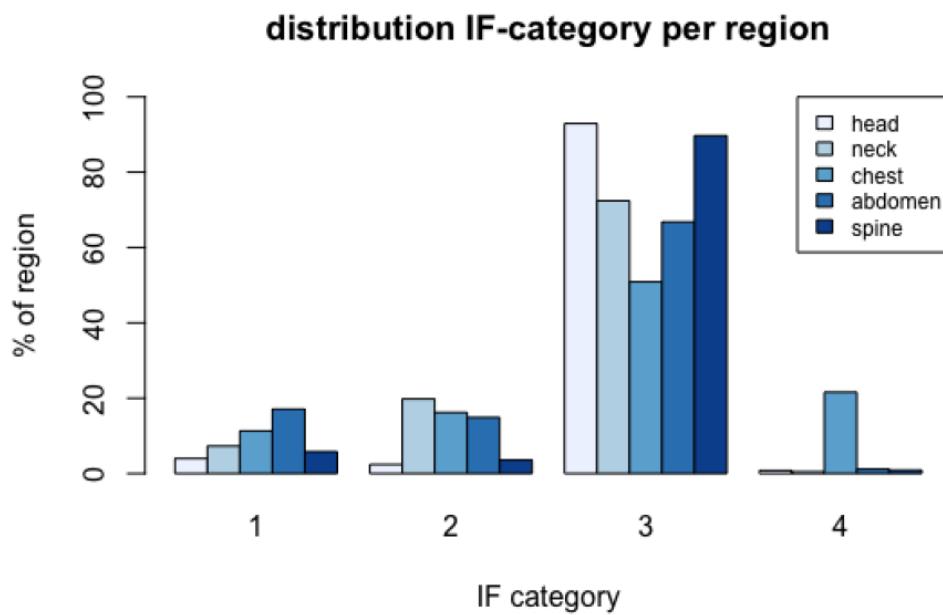


Abbildung 6. Verteilung der Nebenbefunde nach Dringlichkeitskategorie in den verschiedenen Körperregionen (aus⁴⁶).

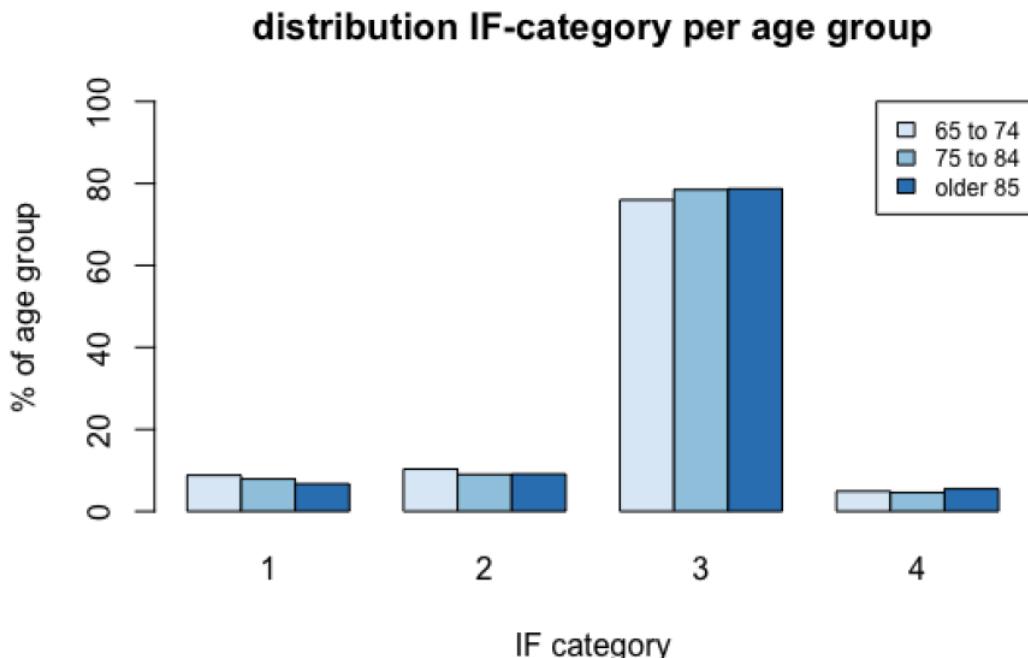


Abbildung 7. Verteilung der Nebenbefunde nach Dringlichkeitskategorie in den Altersklassen (aus⁴⁶).

Tabelle 6. Top-5-Nebenbefunde der Dringlichkeitskategorie 1 und 2 in den verschiedenen Körperregionen (aus⁴⁶).

Category	Head	Neck	Chest	Abdomen	Spine
1	n = 69	n = 29	n = 81	n = 72	n = 13
	Brain masses (31) Metastases/Osteolysis (10) Suspected normal pressure Hydrocephalus (8) Meningioma (6) Atherosclerosis (intracranial carotid artery, circle of Willis) (6)	Atherosclerosis (extracranial carotid artery) (8) Multinodular goitre (7) Mass (5) Lymphadenopathy (4) Hypodense thyroid lesion (2)	Infiltrates/Pneumonia (44) Lymphadenopathy (13) Lung nodules (12) Pleural effusion (11) Pulmonary oedema (8)	Mass/Metastases (13) Solid liver lesion of unclear aetiology (11) Adrenal myolipoma (10) Renal mass (9) Abdominal aortic aneurysm (6)	Osteolysis (8) Mass (4) Suspected Myelopathy (1)
2	n = 41	n = 79	n = 116	n = 63	n = 8
	Meningioma (16) Suspected normal pressure hydrocephalus (12) Mass (9) Cerebral artery aneurysms (7) Atherosclerosis (intracranial carotid artery, circle of Willis) (2)	Multinodular goitre (34) Atherosclerosis (extracranial carotid artery) (17) Goitre (13) Hypodense thyroid lesions (10) Thyroid mass (6)	Lung nodules (47) Aortic lesions (18) Cardiomegaly (18) Aortic ectasia (14) Lymphadenopathy (8)	Abdominal aortic aneurysm < 4 cm (16) Prostate hyperplasia (8) Solid liver lesion (suspected for haemangioma) (7) Liver cyst (6) Hiatal hernia (4)	Severe foraminal stenosis (3) Distracted disc space (3) Haemangioma (1) Atypical haemangioma (1)

Publikation E: Diagnostischer Wert des Proteins S100b als Prädiktor für traumatische intrakranielle Blutungen bei älteren Erwachsenen mit niederenergetischen Stürzen.

Um den diagnostischen Wert des kalziumbindenden Proteins S100b in Verbindung mit klinischen Befunden als Prädiktor für eine tICH zu analysieren, wurden an einer Subpopulation der in Publikation B beschriebenen Kohorte eine detaillierte monozentrische Analyse der Patienten mit tICH retrospektiv durchgeführt. Eingeschlossen wurde konsekutiv alle Patienten, die über 28 Monate am Studienort LMU Klinikum, Standort Großhadern, mit einem LEF in der Notaufnahme mit einem cCT untersucht wurden (Abb. 8). In diese Auswertung wurden insgesamt 2687 Patienten eingeschlossen.

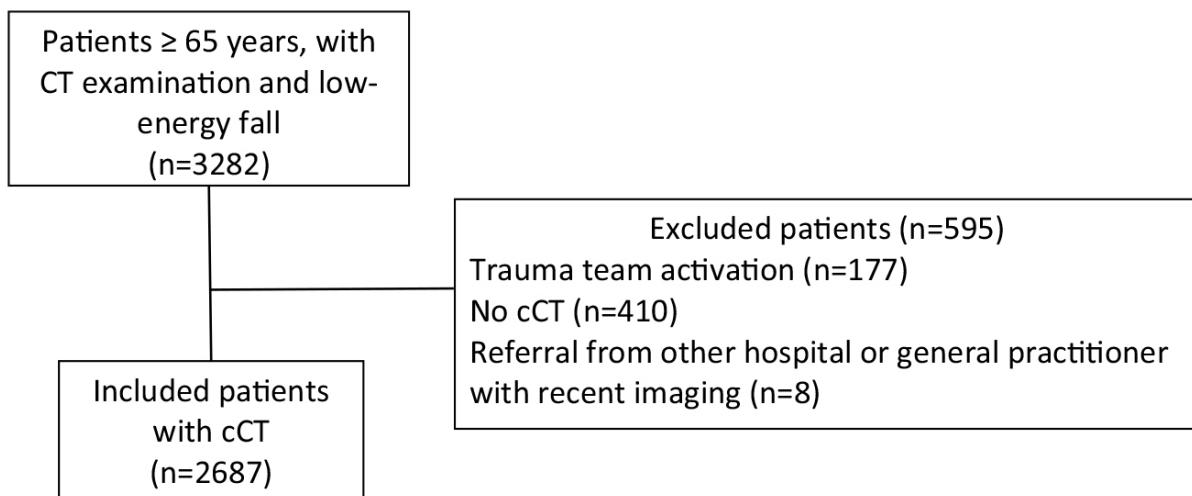


Abbildung 8. Ein- und Ausschluss-Flussdiagramm der Patientenauswahl vom 1. September 2014 bis zum 31. Dezember 2016, die mit einer cCT-Untersuchung in der Notaufnahme oder innerhalb 48 Stunden während des Indexaufenthaltes untersucht wurden (aus⁴⁷).

Eine tICH wurde bei 6.7% (180/2687) Patienten festgestellt. Von diesen hatten 127 (70.6 %) eine schwere tICH (kopfspezifischen Verletzungsschwere hAIS ≥ 3), 24 wurden auf der Intensivstation behandelt (14.0%), 22 erhielten einen neurochirurgischen Eingriff (12.2%) und 11 (6.1%) verstarben im Krankenhaus. Von den 180 Patienten mit tICH hatten 150 (83.3%) eine isolierte Kopfverletzung.

Multivariable Regressionsmodelle zeigten, dass die Einnahme von Antikoagulanzien (Marcumar, neue orale Antikoagulanzien, Heparin) oder Thrombozytenaggregationshemmer bzw. deren Kombinationen nicht mit dem primären Ereignis einer tICH (OR: 0.97; 95% CI: 0,68–1,37; $p = 0.85$), der Krankenhausmortalität (OR: 1.96; 95% CI: 0.95–4.34; $p = 0.08$), oder der Verletzungsschwere ISS (Inzidenzratenverhältnis IRR:

0.97; 95% CI: 0.88–1.07; $p = 0.60$) assoziiert war. Bei den Patienten mit tICH (180/2687) war eine Antikoagulation oder Thrombozytenaggregationshemmer nicht mit der hAIS assoziiert (IRR: 0.75; 95% CI: 0.36–1.55; $p = 0.43$).

Im multivariablen logistischen Regressionsmodell war die im cCT detektierte Schädelfrakturen der stärkste Prädiktor (OR: 46.3; 95% CI: 19.3–123.8; $p < 0.001$) für eine tICH. Frakturen des Gesichtsschädelns (OR: 2.29; 95% CI: 1.33–4.33; $p = 0.01$), männliches Geschlecht (OR: 1.60; 95% CI: 1.01–2.54; $p = 0.04$) und erhöhte INR-Werte (OR: 1.36; 95% CI: 1.03–1.77; $p = 0.02$) waren ebenfalls prädiktiv für eine tICH. Der Glasgow Koma Skala (GCS)-Wert (OR: 0.83; 95% CI: 0.66–1.09; $p = 0.14$) und der ESI-Wert (OR: 0.79; 95% CI: 0.50–1.24; $p = 0.3$) waren nicht prädiktiv für eine tICH. Jede Form der Antikoagulation oder Thrombozytenaggregationshemmung waren nicht prädiktiv für eine tICH (OR: 1.14; 95% CI: 0.71–1.86; $p = 0.6$). Der Biomarker S100b war nicht prädiktiv (OR: 1.08; 95% CI: 0.90–1.25; $p = 0.35$) für eine tICH (Abb. 9).

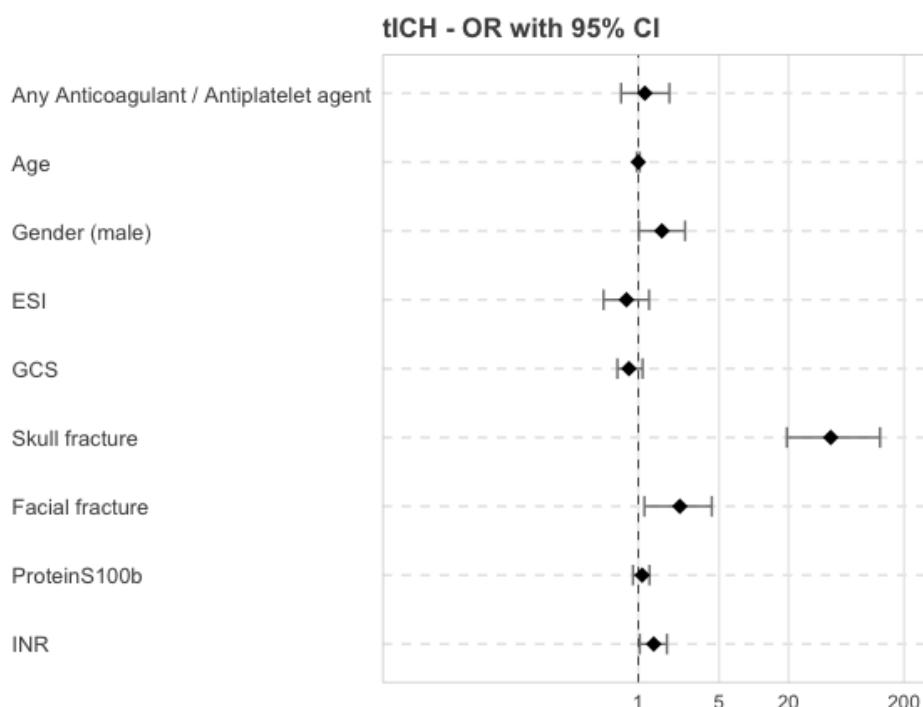


Abbildung 9. Multivariabiles logistisches Regressionsmodell für Risikofaktoren (Odds Ratio OR mit 95% Konfidenz Intervall) für das primäre Ergebnis einer traumatischen intrakraniellen Blutung (tICH). ESI: Emergency Severity Index; GCS: Glasgow Koma Skala; INR: Internationale Normalized Ratio (aus⁴⁷).

Bei einem Cut-off-Schwellenwert von 0.1 ng/ml für das Serumprotein S100b betrug die Sensitivität 91.6% (CI 95%: 85.1–95.9), die Spezifität 17.8% (CI 95%: 16–19.6), der PPV 7.4% (CI 95%: 7.9–7.8) und der NPV 96.7% (CI 95%: 94.2–98.2) für die Vorhersage einer tICH. Die AUC-Werte von S100b lagen bei 0.59 (95% CI: 0.54–0.64), die entsprechende ROC-Kurve ist in Abbildung 10 dargestellt. Bei einem Cut-off-Schwellenwert von 0.305 pg/ml lag die Sensitivität bei 63% und die Spezifität bei 54%, der PPV bei 95% und der NPV bei 9.2% für die Vorhersage einer tICH. Bei 10 Patienten mit einer durch cCT nachgewiesenen tICH, die innerhalb von 24 Stunden nach dem Indexsturz in der Notaufnahme untersucht wurden, lagen die S100b-Konzentrationen unter dem definierten Cut-off-Schwellenwerten von 0.1 ng/ml bei der Erstmessung.

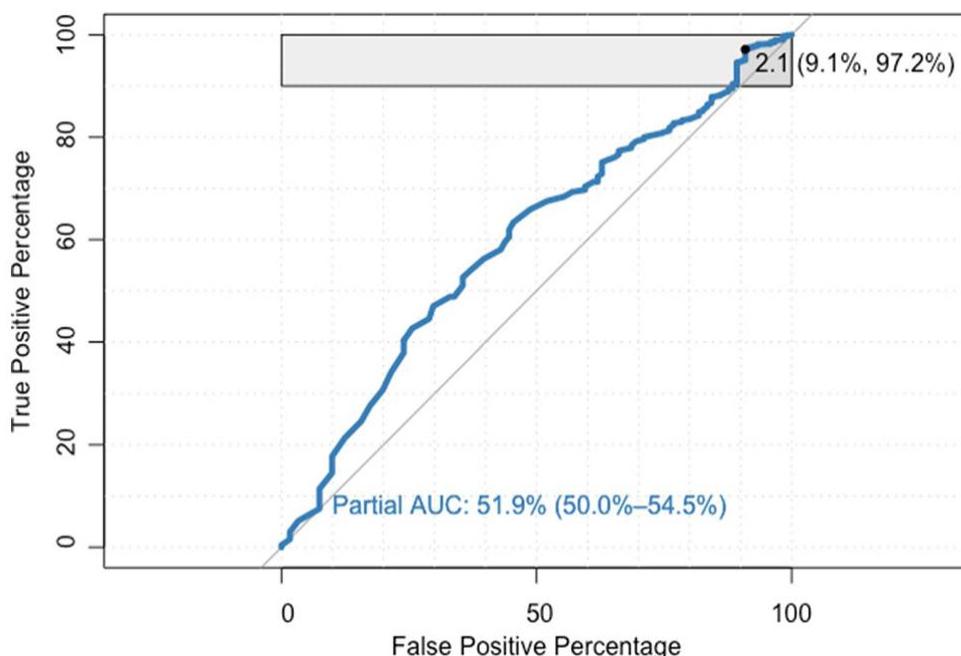


Abbildung 10. Receiver-Operating-Characteristic-(ROC) Kurve der diagnostischen Performance von Protein S100b (S100b) als Biomarker zur Vorhersage einer tICH im cCT innerhalb von 48 Stunden nach dem Indexsturz. Abgebildet ist die partielle Fläche unter der Kurve (pAUC) (mit 95 %CI), wobei die Spezifität und Sensitivität auf 90-100 % bei einem Cut-off-Schwellenwert von 2.1 ng/ml auf dem jeweiligen Niveau der Spezifität/Sensitivität festgelegt sind (aus⁴⁷).

Publikation F: Die klinische Akutheit in der Notaufnahme und der Verletzungsschweregrad bestimmen die Krankenhauseinweisung älterer Patienten mit niedrigerenergetischen Stürzen niedriger Energie.

Um Risikofaktoren zu identifizieren, die eine möglichst frühe Vorhersage über eine stationäre Aufnahme, Verlauf und Dauer bei älteren Patienten mit einem LEF erlauben, wurde eine Tablet-unterstützte prospektive beobachtende Untersuchung mit umfassendem geriatrie-spezifischem (Selbst-)Assessment durchgeführt. Hierzu wurden in der Notaufnahme nach schriftlicher Einwilligung zum Studieneinschluss neben validierten klinischen Bewertungen (u.a. Clinical Frailty Scale, CSF; Charlson-Komoborbiditätsindex, CCI; Barthel-Index, Delir-Screening) patienten-berichtete validierter Erhebungsinstrumente (patient reported outcome measures PROMSs) zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität (u.a. European Quality of Life 5 Dimensions, EQ5D; Short Form 36, SF36) durchgeführt. Im Zeitraum von 4 Monaten (01. November 2020 bis 08. März 2021) wurden insgesamt 618 ältere Patienten in Folge eines LEF in der Notaufnahme des Studienzentrums LMU Klinikum, Standort Großhadern vorstellig. 201 Patienten wurden in die Untersuchung eingeschlossen (Abb. 11).

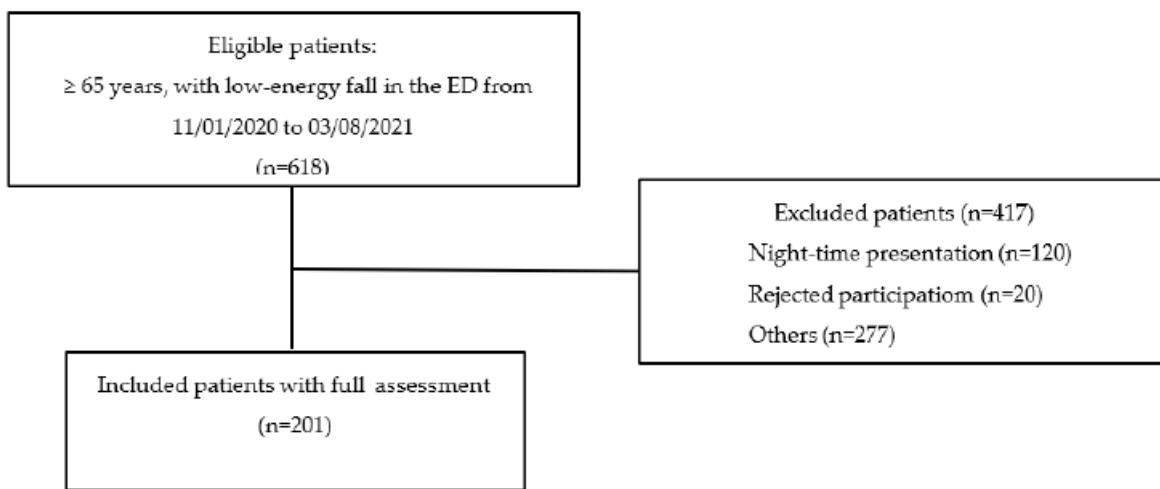


Abbildung 11. Ein- und Ausschluss-Flussdiagramm der Studienpatienten vom 01. November 2020 bis zum 08. März 2021 (aus⁴⁸).

Das mediane Alter betrug 82 Jahre (IQR: 78–88), 62.7% (126/201) der eingeschlossenen Patienten waren weiblich. Die stationäre Aufnahmerate der Studienpatienten betrug 45.3% (110/201), die Krankenhausmortalität war 3.6% (4/110). Drei der 201 (1.5%) Patienten wurden nach dem Sturzereignis über den Schockraum vorgestellt. Demographische und klinische Merkmale der Studienpatienten sowie Unterschiede

zwischen den stationär aufgenommenen und entlassenen Patienten sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7. Demographische und klinische Merkmale der Patienten der Studiengruppe (n = 201) mit stationärer Aufnahme im Vergleich zu Patienten, die aus der Notaufnahme entlassen wurden (aus⁴⁸).

	Study Patients (n = 201)	Hospital Admission (n = 110)	Discharged from ED (n = 91)	p-Value
Age (median, IQR)	82 (78–88)	82.5 (71.5–93.5)	81 (73–89)	0.28 ^a
Females (%)	126 (62.7)	69 (62.7)	57 (62.6)	0.99 ^b
Total Number of medications (mean, 95%CI)	5.5 (4.9–6.1)	5.76 (4.9–6.56)	5.15 (4.3–6.0)	0.41 ^a
Polypharmacy (%)	100 (49.8)	60 (54.5) *	40 (44)	0.009 ^b
CCI (Median, IQR)	5 (2–14)	5 (2–14)	5 (2–11)	0.167 ^a
Barthel Index (mean, 95%CI)	92.7 (90.9–94.6)	92.9 (90.7–95.2)	92.5 (89.4–95.6)	0.31 ^a
CFS-9 (Median, IQR)	3 (2.5–4)	3 (2–4)	3 (1–5)	0.42 ^a
Vision impairment (%)	54 (26.9)	34 (30.9)	20 (22)	0.17 ^b
Hearing impairment (%)	31 (15.4)	19 (17.3)	12 (13.2)	0.55 ^b
ISS (median, IQR)	3 (2–4)	4 (0–18) **	1 (0–13)	<0.01 ^a
ESI (median, IQR)	3 (1–4)	3 (1–4) **	3 (3–4)	0.004 ^a
Mechanism of fall (%)				
Standing	159 (79.1)	89 (80.9)	70 (76.9)	
Furniture	19 (19.5)	11 (10)	8 (8.8)	
Below 1 m	14 (7)	8 (7.3)	6 (6.6)	0.6 ^b
Bicycle	8 (4)	3 (2.7)	5 (5.5)	
unknown	1 (0.5)	1 (0.9)	0	
Level of care (%)				
Independent	23 (11.4)	12 (11.9)	11 (12.1)	0.79 ^b
Nursing home	178 (88.6)	98 (89.1)	80 (87.9)	
Delay to presentation (%)				
0–24 h	172 (85.6)	96 (87.3)	76 (75.9)	
24–48 h	15 (7.5)	10 (9.1)	5 (5.5)	0.16 ^b
48 h–7 days	12 (5.9)	3 (2.7)	9 (9.9)	
>7 days	2 (1)	1 (0.9)	1 (1.1)	

95%CI: 95% Konfidenzintervall; CCI: Charlson Comorbidity Index; CFS: clinical frailty scale; ESI: emergency severity index; IQR: Interquartilsbereich; ISS: injury severity scale. ^aKruskal-Wallis-Test, ^bPearson's Chi-Quadrat Test mit Bonferroni-Korrektur für Mehrfachvergleiche. *Signifikanter Unterschied zu entlassenen Patienten.

Die binäre multivariate logistische Regressionsanalyse ergab Polypharmazie (OR: 8.48; 95% CI: 1.21–59.37: p = 0.03), niedrigere ESI-Scores (OR: 0.33; 95% CI: 0.17–0.64; p = 0.001) und steigender ISS (OR: 1.54; 95% CI: 1.32–1.79: p < 0.001) als Risikofaktoren für die stationäre Aufnahme (Tab. 8). Insgesamt waren 19.9% der Patienten in der Studie schwer (ISS ≥ 9) oder sehr schwer (ISS ≥ 16) durch den Sturz verletzt. Thrombozytenaggregationshemmer oder Antikoagulanzien, waren nicht mit der stationären Aufnahme (Chi²: 0.05; p = 0.83) oder Sterblichkeit (Chi²: 0.65; p = 0.63) assoziiert. Die binäre logistische Regressionsanalyse zeigte einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem CCI und der Krankenhausmortalität bei stationär aufgenommenen Patienten (OR: 2.60; 95% CI: 1.17–5.81; p = 0.03).

Tabelle 8. Multivariate logistische Regressionsanalyse potenzieller Risikofaktoren für eine Krankenhausaufnahme (n = 201) (aus⁴⁸).

Variable	OR	95%CI	p-Value
Age	1.00	0.95–1.05	0.96
Polypharmacy	8.48	1.21–59.37	0.03
Barthel Index	1.02	0.99–1.06	0.24
CFS-9	1.19	0.86–1.63	0.29
CCI	1.15	0.96–1.39	0.14
ISS	1.54	1.32–1.79	<0.001
ESI	0.33	0.17–0.64	0.001

95% CI: 95% Konfidenzintervall; CCI: Charlson Comorbidity Index; CFS: clinical frailty scale; ESI: emergency severity index; OR: Odds Ratio.

Insgesamt waren 52 der 201 befragten Patienten (25.9%) in der Lage, das tablet-gestützte Assessment der PROMs in der Notaufnahme ohne Hilfe nach kurzer Einweisung durch den Interviewer durchzuführen. Die logistische Regressionsanalyse ergab einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Fähigkeit, das Tablet zu benutzen, mit dem Alter (OR: 0.94; 95% CI: 0.89–0.99; p = 0.03) und dem Grad der Gebrechlichkeit CFS (OR: 0.71; 95% CI: 0.51–0.99; p = 0.042) und keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Barthel Index (OR: 1.03; 95% CI: 0.97–1.09; p = 0.35), dem CCI (OR: 1.12; 95% CI: 0.93–1.35; p = 0.22) oder dem ISS (OR: 1.0; 95% CI: 0.91–1.1; p = 0.98). Die Fähigkeit zum Tablet-Gebrauch war nicht mit einer Hör- oder Sehbehinderung oder dem aktuellen Pflegegrad (unabhängig selbstversorgend, Pflegeheimbewohner) assoziiert.

Diskussion

Publikation A: Systematische Übersicht der gegenwärtigen Evidenz zur diagnostischen Genauigkeit und Sicherheit der konventionellen Röntgen-Untersuchung zur Frakturdiagnostik beim älteren Menschen nach einem niederenergetischen Sturz.

Die systematische Übersichtsarbeit der gegenwärtigen Evidenz zur diagnostischen Genauigkeit der XR-Untersuchung beim LEF des älteren Patienten auf Grundlage einer systematischen Literatursuche mit definierten PICO-Kriterien ergab zusammenfassend, dass hochwertige Evidenz hinsichtlich dieser Fragestellung derzeit nicht vorliegt. Die Suche ergab wenige Beobachtungsstudien, vor allem retrospektiv, mit relevanter klinischer und statistischer Heterogenität, so dass ein Vergleich mittels Metaanalyse nicht durchgeführt werden konnte.

Die Auswertung hinsichtlich der Testleistung zeigte, dass die diagnostische Genauigkeit von XR-Untersuchungen eine Fraktur zu erkennen nur mäßig bis schlecht war, verglichen zum Goldstandard CT, in Abhängigkeit von den untersuchten Skelettregionen. Die in der Auswertung geschätzten Sensitivitäten lagen bei 52% oder weniger, der NPV reichte von 14 bis 81%, und die LR⁻ lag bestenfalls bei 0.4. Letzteres deutet darauf hin, dass eine unauffällige (negative) XR-Aufnahme Frakturen des Rippenthorax, der Brust- oder Lendenwirbelsäule und des Beckenrings nicht sicher ausschließt.

Die klinische Relevanz dessen ist derzeit unbekannt. Nur vier der analysierten Studien befassten sich mit dieser Frage und berichteten über die klinischen und chirurgischen Ergebnisse als sekundäre Endpunkte.^{33, 34, 36, 40} So führte eine genaue Detektion von Frakturen des hinteren Beckenrings zu einem Anstieg der operativen Therapie, wobei eine frühe CT-Untersuchung die Krankenhausaufenthaltsdauer bei operativ behandelten Patienten verkürzte.³⁶ Jedoch zeigte sich auch wenn Beckenringfrakturen aufgrund der Behandlungspolitik einer Einrichtung nicht operativ behandelt werden, die Anzahl der im CT erkannten Frakturen des hinteren Beckenrings keinen Einfluss auf die Krankenaufnahme und die Krankenaufenthaltsdauer hat.⁴⁰

Bei Rippenfrakturen führte eine genaue Diagnose nicht zu Unterschieden in der Krankenaufenthaltsdauer, ICU-Aufnahmerate oder Krankenhausmortalität (7.3% ohne vs. 10.3% mit Rippenfrakturen), ohne Korrektur für die Gesamtverletzungsschwere.³³ Eine Assoziation einer Bildgebungsstrategie, also nur XR-Untersuchung,

nur CT-Untersuchung, oder XR- gefolgt von CT-Untersuchung, mit der Häufigkeit von operativen Behandlungen konnte nicht gezeigt werden.³⁴

Die hier durchgeführte systematische Übersichtsarbeit hat Stärken und Limitationen. Die Stärken dieser Untersuchung war ein gut definiertes Suchprotokoll und eine umfassende Suchstrategie über mehrere Datenbanken hinweg und die strikte Befolgung der PRISMA-Leitlinien.²⁹ Außerdem wurden ausschließlich Studien berücksichtigt, die die CT-Bildgebung als Goldstandard für die Frakturdiagnose definiert haben. Die größte Limitation der systematischen Übersichtsarbeit ist das Fehlen von qualitativ hochwertigen Studien zur gewählten Fragestellung. Die systematische Datenbankrecherche ergab keine randomisierten kontrollierten Studien oder hochwertige nicht-randomisierte Studien, so dass die gewonnenen Erkenntnisse bestenfalls als schwach zu werten sind. Durch die Erweiterung des Einschlusskriteriums *Population* konnten Studien mit Patienten im Alter von ≥ 55 Jahren bzw. Studienpopulationen mit einer Mehrheit ($\geq 50\%$) von Patienten im Alter von ≥ 65 Jahren oder reine Traumapopulationen mit einer Mehrheit ($\geq 50\%$) von Patienten mit einem LEF, identifiziert werden. Mit dieser Strategie konnten neun zusätzliche Studien eingeschlossen und analysiert werden. Weiterhin war die Heterogenität der Studien aufgrund von Unterschieden in der Qualität, der gewählten Endpunkte sowie unterschiedlicher Einschlusskriterien, erheblich. Die Anwendung der QUADAS-Kriterien^{31, 32} für die Qualitätsbewertung ergab ein insgesamt hohes Risiko für Verzerrungen der Studien, hauptsächlich in Bezug auf das Patientenspektrum, die Durchführung des diagnostischen Tests und die diagnostische Überprüfung. Schließlich gab es keine Verblindung bei der Auswertung der Qualität der identifizierten Studien und des Verzerrungsrisikos, weder für die Namen der Autoren noch für die Institution, in der die Studien durchgeführt wurden, noch für die Zeitschriften, in denen die Studien veröffentlicht wurden. Dies kann potenziell Verzerrungen bei der Bewertung der methodischen Qualität der Studien verursachen.

Zusammenfassend wird gezeigt, dass zum Zeitpunkt der Auswertung keine methodisch hochwertigen Studien, die die Genauigkeit der XR-Untersuchung im Rahmen der Notfallbildgebung beim gestürzten Älteren untersuchen, veröffentlicht waren. Die Übersichtsarbeit zeigt, dass die XR-Untersuchung einen relevanten Anteil von Frakturen der Wirbelsäule, des Beckens und der Rippen beim älteren Menschen nach einem LEF nicht detektiert. Ob eine Erstlinien-CT-Untersuchung einen Vorteil für das

klinische Ergebnis bringt, konnte auf der Grundlage der zum Zeitpunkt der Analyse vorliegenden Studien nicht gezeigt werden. Ebenso bleibt unbeantwortet, ob es für den Patienten von Vorteil ist, wenn jede Fraktur erkannt wird.

Publikation B: Charakteristika und Outcome von älteren Patienten, die sich nach einem niederenergetischen Sturz in einer Notaufnahme vorstellen.

Die bislang vorliegenden Daten, die über den älteren Patienten mit einem Sturzeignis und dessen Folgen berichten, entstammen vor allem Registerdatenbanken, wie z.B. dem Traumaregister der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie[®]⁴⁹ dem britischen Trauma Audit and Research Network (TARN) Register¹⁵ oder regionalen U.S. amerikanischen Traumadatenbanken.¹¹ Diese Daten sind sehr heterogen hinsichtlich des Traumamechanismus und beinhalten einen relevanten Selektionsbias, denn die Patienten, die hier erfasst wurden, wurden über den Schockraum vorgestellt und erfüllten präklinische Kriterien, womit sie zumindest potenziell als schwer verletzt galten. Der klinische Alltag zeigt jedoch, dass nur ein geringer Anteil der älteren Patienten nach einem LEF über den Schockraum vorstellig wird. Die systematische Literatursuche (Publikation A) bestätigte diese Beobachtung. Publikation B ist die erste bekannte Auswertung, die die Patientenmerkmale und klinischen Ergebnisse einer unselektierten Kohorte älterer Patienten mit einem LEF in einer Notaufnahme, analysiert. In der hier untersuchten Kohorte werden mehr als 90% der Patienten mit einem LEF ohne Aktivierung des Schock- oder Trauma-Teams, d.h. ohne Schockraumversorgung, in der Notaufnahme untersucht und behandelt. Dies könnte entweder auf eine gewisse Unterschätzung des Verletzungsrisikos zurückzuführen sein, sowohl in der prähospitalen Einschätzung als auch in der Notaufnahme,^{15, 24, 50} oder auf die relativ gutartige Natur des LEF in Bezug auf schwerwiegende Folgen. Die durchgeführte Studie liefert Beweise für beide Hypothesen: Einerseits wurden zwei Drittel der gestürzten Patienten ins Krankenhaus aufgenommen, und die Hälfte dieser Patienten wurden 5 Tage oder länger im Krankenhaus behandelt. Andererseits lag die Krankenhausmortalität bei 2%, und eine direkte Verlegung auf die Intensivstation erfolgte nur bei 4% dieser Patienten, vergleichbar mit einer durchschnittlichen Notaufnahmepopulation.⁵¹ In der Untersuchung zeigt sich, dass sich die Dauer des Krankenhausaufenthaltes signifikant zwischen den beiden Studienorten unterscheidet. Dies erklärt sich möglicherweise durch unterschiedliche lokale bzw. regionale Versorgungsstrukturen für geriatrische Akutpatienten. In Basel übernimmt eine angegliederte Klinik für Akutgeriatrie mit einer angemessenen Bettenkapazität für die zu versorgende Region die häufig erforderliche spezifische geriatrische Behandlung und

Versorgungsplanung frühzeitig im Behandlungsverlauf. Die Krankenhaussterblichkeit in den initial versorgenden Akutkliniken scheint davon unbeeinflusst.

Vergleiche mit Ergebnissen bei mehr selektierten Patientengruppen, wie z. B. Patienten aus dem britischen Traumaregister¹⁵ oder älteren Patienten mit Schwäche und Stürzen^{12, 52} zeigen folgendes Muster: Die Krankenhausmortalität der untersuchten Kohorte war niedriger als in den Registerstudien mit 3.7 bzw. 4.4%^{11, 12} und 6% bei gebrechlichen älteren Patienten.⁵² Umgekehrt war die Hospitalisierungsrate von 65% in unserer Kohorte vergleichbar mit 58% bei den gebrechlichen Patienten⁵² und 67% in einer All-comer-Kohorte älterer Notaufnahmepatienten.⁵³ Die Sterblichkeit der Patienten mit LEF steigt mit der Dauer vom Sturz bis zur Vorstellung in der Notaufnahme, von 1.8% bei Patienten, die innerhalb von 24 Stunden vorstellig wurden, auf 4.2% bei Patienten, die nach 3 Tagen und später in der Notaufnahme vorstellig werden. Die genaue Überprüfung der Krankenblätter ergab, dass die Krankenhausmortalität bei der frühen Vorstellung in 42% der Fälle mit dem Sturz zusammenhing, während die Mortalität bei verzögerter Einlieferung in mehr als 90% der Fälle mit schweren akuten medizinischen oder neurologischen Erkrankungen zusammenhing.

Zusammenfassend ist die vorliegende Studie die erste, die eine große, repräsentativen Studienpopulation älterer Patienten mit einem LEF in zwei repräsentativen urbanen mitteleuropäischen Notaufnahmen beschreibt. Insgesamt deutet die Auswertung auf eher harmlosere klinische Outcomes als bisher berichtet hin. Jedoch sind verspätet vorstellige Patienten vergleichbar mit der Gruppe der gebrechlichen älteren Patienten,⁵² mit einer hohen Prävalenz schwerer Grunderkrankungen und einer höheren Sterblichkeit.

Publikation C: Prävalenz von Frakturen und diagnostische Genauigkeit der Röntgen-Untersuchung beim älteren Patienten nach einem niederenergetischen Sturz.

Basierend auf den Patienten mit LEF, die in Publikation B global charakterisiert wurden, wurden in dieser Studie die Daten von insgesamt 2839 Patienten die im Jahr 2016 in den beiden Notaufnahmen am LMU Klinikum, Standort Großhadern, und am Universitätsspital Basel behandelt wurden, detailliert analysiert. Das wichtigste Ergebnis dieser Studie ist, dass einer von fünf älteren Erwachsenen mit LEF, die in der Notaufnahme vorstellig werden, Frakturen des Achsenskeletts, des Beckenrings oder der proximalen Röhrenknochen, isoliert oder in Kombinationen, erlitten hat, die durch XR- und CT-Untersuchungen diagnostiziert werden. Frakturen des Beckenrings, des proximalen Femurs und des Humerus weisen in dieser Kohorte die höchste Prävalenz auf.

Insgesamt zeigt die detaillierte Analyse, dass bei einer von fünf XR-Untersuchungen eine CT-Untersuchungen der gleichen Körperregion zur Diagnosesicherung angefordert wird. Die Kreuztabellenanalyse zeigt, dass die Frakturerkennung durch die XR-Untersuchung einerseits spezifisch ist, andererseits jedoch eine unauffällige (negative) XR-Aufnahme Frakturen in der untersuchten Körperregion nicht sicher ausschließen kann. Die XR-Untersuchung zeigt die geringste diagnostische Genauigkeit bei der Erkennung von Frakturen im Beckenring, an der Hals- und Brustwirbelsäule sowie des Rippenthorax. Die relevanteste Schlussfolgerung hieraus ist die, dass eine unauffällige XR-Untersuchung in dieser Patientenpopulation mit diesem Traumamechanismus eine Fraktur am Stammskelett nicht sicher ausschließen kann und bei nicht eindeutigem radiologischem Befund oder diskrepantem klinischem Befund, d.h. Schmerzen oder Immobilisierung, eine CT-Untersuchung zur Sicherung der Diagnose zu empfehlen ist. In dieser Studie wurde darüber hinaus die effektiven Dosisabschätzungen durch die Notfallbildgebung bei 2484 Patienten ausgewertet und im Sinne einer Nutzen-Risiko-Abschätzung auf Basis anerkannter Strahlenschutzempfehlungen eingeordnet. Es kann gezeigt werden, dass die alleinige CT-Untersuchung eine signifikant höhere mediane effektive Dosisabschätzung von 9.14 mSv verursacht, als die sequenziellen XR- und CT-Untersuchungen (5.50 mSv), wobei hierzu vor allem die CT-Untersuchungen der Brust- und Lendenwirbelsäule beitragen. Ein „niedriges“⁵⁴ Krebs-Lebenszeit-Risiko von 3.6 pro 10000⁵⁵ ab dem 60. Lebensjahr,

das durch die CT-Untersuchung entsteht und bis zum 80. Lebensjahr als „sehr gering“^{54, 55} bewertet wird. Dies muss im Kontext mit der insgesamt diagnostischen Schwäche der XR-Untersuchung betrachtet werden, und fällt aus meiner Sicht nicht ins Gewicht. Trotzdem kann eine generelle Empfehlung zur Erstlinien-CT-Untersuchung nach jedem LEF in der Notaufnahme auf Grundlage der vorliegenden Daten nicht gegeben werden. Weitere prospektive Untersuchungen müssen klinische Kriterien bzw. Risikofaktoren identifizieren, bei denen die Patienten von einer sofortigen CT-Untersuchung, auch im Hinblick auf ein patientenorientiertes Outcome profitieren.¹⁸

Im Kontext der Empfehlungen gängiger klinischer Leitlinien für das Management der stumpfen Verletzungen der Halswirbelsäule^{56, 57} bzw. Brust- und Lendenwirbelsäule^{58, 59} sind v.a. die Empfehlungen zur Bildgebung bei stumpfen thorakolumbalen Verletzungen quantitativ und qualitativ nicht zufriedenstellend, erst recht nicht für die ältere Bevölkerung.⁶⁰ Unsere Daten fügen nun einige neue Informationen über die ältere Bevölkerung und das Niedrigenergietauma basierend auf einer großen Kohorte hinzu: eine initiale CT-Untersuchung sollte erwogen werden, wenn der klinische Verdacht auf Verletzungen des Achsenskeletts oder des Beckenrings besteht, die körperliche Untersuchung nicht schlüssig ist und weitere CT-Untersuchungen wie z.B. eine CT des Kopfes und der Halswirbelsäule bei älteren Patienten mit LEF erforderlich sind.

Die vorliegende Studie weist mehrere Stärken auf, darunter eine große konsekutive Stichprobe aus zwei typischen europäischen urbanen Notfallzentren der tertiären Versorgung sowie eine rigorose Abstraktion der Krankenblätter für Einschlusskriterien und Endpunkte. Dennoch ist die Aussagekraft der Studie durch ihr retrospektives Design und die anfängliche Auswahl der Patienten limitiert. Das bedeutet, dass die Anordnung von CT-Untersuchungen in der Regel Behandler abhängig und nicht Algorithmus basiert erfolgte. Die erste Einschränkung besteht daher darin, dass die Prävalenz von Frakturen möglicherweise systematisch unterschätzt wird, da in der gängigen Praxis die meisten Patienten und Regionen nur mittels XR-Untersuchung untersucht werden. Zweitens stellt die anfängliche Patientenauswahl ein potenzielles Risiko für eine Selektionsverzerrung dar. Jedoch wurde bei der gewählten Einschlussstrategie kein Patient mit der Goldstandarduntersuchung CT verpasst, was für

die Berechnung der diagnostischen Genauigkeit erforderlich ist. Die dritte Einschränkung besteht darin, dass die klinische Relevanz aufgrund des retrospektiven Ansatzes unbekannt bleibt.

Auf Grundlage einer logistischen Regression konnten keine Unterschiede in der Rate chirurgischer Eingriffe zwischen den drei Gruppen (nur XR, nur CT oder XR vor CT) gefunden werden. Aus Sicht des Chirurgen ermöglicht nur eine genaue Frakturdiagnose die Beurteilung der Frakturstabilität und Prognose. Darüber hinaus beruhen Entscheidungen über eine Indikation zur operativen oder konservativen Versorgung, die Kommunikation mit den Patienten und die Erkennung einer möglicherweise zugrundeliegenden Osteoporose auf einer fundierten Diagnose.⁶¹

Zusammenfassend zeigt die vorliegende Studie, dass einer von fünf älteren Patienten mit LEF knöcherne Verletzungen des Achsenskeletts, des Beckenrings oder der proximalen Röhrenknochen erleidet. Die XR-Untersuchung als Versorgungsstandard hat eine mäßige diagnostische Genauigkeit beim Nachweis von Frakturen der Wirbelsäule, des Beckenrings und des Brustkorbs. Unter der Annahme, dass eine genaue Frakturdiagnose bei diesen Patienten wie in jeder anderen Altersgruppe angestrebt werden sollte, rechtfertigen unsere Ergebnisse eine höhere Strahlenbelastung durch Erstlinien-CT-Untersuchungen. Die vorliegende Datengrundlage ist eine Abbildung der aktuellen Behandlungswirklichkeit, und muss bezüglich der Verletzungsregion, der mutmaßlichen Verletzungsschwere und der bekannten Einschränkungen der diagnostischen Genauigkeit der XR-Untersuchung validiert werden. Um die patientenzentrierten klinischen Ergebnisse¹⁸ der verschiedenen Bildgebungsstrategien zu bewerten sowie Abwägungen zwischen erforderlichen, v.a. technischen Ressourcen, Strahlenexposition und Frakturerkennung zu erlauben, sind prospektive, multi-zentrische, randomisierte klinische Studien erforderlich.

Publikation D: Prävalenz und Bedeutung von CT-Nebenbefunden beim älteren Patienten nach einem niederenergetischen Sturz.

Die CT-Untersuchung wird häufig bei der Untersuchung Verletzter in der Notaufnahme eingesetzt, und auch zunehmend häufig im diagnostischen Work-up beim älteren Patienten nach einem LEF. Die vorangegangenen Arbeiten (Publikation A und C) deuten darauf hin, dass die CT-Untersuchungen bei diesen Patienten der XR-Untersuchung hinsichtlich der diagnostischen Sicherheit überlegen ist.^{30, 34} Jedoch birgt die CT-Untersuchung, neben der höheren Strahlenbelastung, das Risiko und Chance zusätzlicher Befunde, die mit dem eigentlichen Trauma nicht verbunden sind, sog. incidental findings (IFs) die nachfolgende, eventuell belastende Untersuchungen und Therapien nach sich ziehen können.¹⁸ Auch hier liegen v.a. beschreibende Studien an meist deutlich jüngeren Patientenkollektiven vor, v.a. aus Traumaregistern, die sich nur eingeschränkt auf die ältere Population übertragen lassen.^{19, 62-64} Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung war die vorliegende Studie, die erste Studie, die die Prävalenz von IFs bei älteren Erwachsenen, die mit LEF in der Notaufnahme vorstellig wurden und bei denen eine CT-Untersuchung zur Erkennung von traumatischen Läsionen durchgeführt wurde, untersucht hat. Das wichtigste Ergebnis dieser Studie ist, dass 73.9 % der eingeschlossenen Patienten mindestens eine IF in den untersuchten Körperregionen aufweisen. Die meisten IFs wurden im Abdomen, im Thorax und im Kopf festgestellt, und die überwiegende Mehrheit (83.6%) der entdeckten IFs war von geringer Bedeutung und erforderte keine weiterführende Diagnostik oder Behandlung. Allerdings ergaben sich in 16.4% der Fälle dringlich zu behandelnde oder relevante Nebenbefunde, wie z.B. akute Pneumonien, Tumoren oder Aneurysmen. Die vorliegenden Daten zeigen, dass das Alter ein Risikofaktor für IFs ist und dass das Geschlecht mit IFs in bestimmten Körperregionen zusammenhängt. Es kann davon ausgegangen werden, dass die IFs mit geringer Relevanz die durchschnittliche Prävalenz bestimmter altersbedingter Krankheiten wie z.B. Gefäßkrankheiten darstellen. Einige dieser Krankheiten sind möglicherweise bereits diagnostiziert und behandelt worden, so dass kein zusätzlicher Aufwand und Ressourceneinsatz zu erwarten ist. Nach unserer eigenen Erfahrung und in Übereinstimmung mit anderen Autoren^{19, 63-70} besteht ein Mangel an systematischer Dokumentation und Kommunikation von IFs insbesondere im Hinblick auf digitale Lösungen und allgemeine Richtlinien zur Kommunikation von IFs.⁷¹

Für den Umgang mit IFs mit dringlicher Kategorie 1 und 2 sind drei Überlegungen relevant. Zum Ersten zeigte die Untersuchung, dass die häufigsten IFs Befunde sind, die gut auf eine Behandlung ansprechen, wie z.B. Pneumonien, was sich prognostisch positiv für den Patienten auswirken kann. Zum Zweiten muss davon ausgegangen werden, dass diese Befunde früher oder später symptomatisch werden, wobei eine spätere Entdeckung die Prognose verschlechtern könnte.⁷⁰ Im Fall eines sehr alten Patienten muss der Nutzen dieser Beobachtung ggf. in Frage gestellt werden, da die Diagnose möglicherweise nicht lebensbegrenzend ist. Zum Dritten: Da bei den meisten älteren Erwachsenen mit LEF die Ursache der Stürze unklar bleibt,⁶ könnten einige der IFs auf die dem Sturz zugrundeliegende Erkrankung hinweisen, z.B. auf eine akute Infektion.

Auf der Grundlage dieser und früherer Studien bleiben die medizinisch-ökonomischen Auswirkungen wie Kosten-Nutzen-Verhältnis zwischen dem medizinischen Nutzen und der medizinischen Belastung, die sich aus dem Nachweis von IFs in bildgebenden Studien ergeben, unklar. Es wurde gezeigt, dass zwischen 5.3⁶⁹ und 6.2%⁷² aller entdeckten IFs zusätzliche Untersuchungen oder klinische Maßnahmen in ihren jeweiligen Einrichtungen nach sich ziehen. Auf dieser Grundlage wurden durchschnittliche Kosten von 2292 EUR pro IF in einer gemischten Notaufnahmekohorte berechnet, die durch nachgelagerte Maßnahmen ausgelöst wurden.⁶⁹ Bezogen auf alle entdeckten IFs, würden sich die durchschnittlichen Kosten auf 121 EUR entdecktem IF belaufen. In Bezug auf den medizinischen Nutzen oder Belastungen wurde in 1% der Fälle ein eindeutiger medizinischer Nutzen festgestellt, wohingegen in 0.5% der Fälle eine eindeutige medizinische Belastung festgestellt wurde, und in 4.6% der Fälle war das Nutzen-Belastungs-Verhältnis unklar.⁷² Es muss berücksichtigt werden, dass eine IF durch eine aktuelle CT-Untersuchung, die systematisch abgeklärt und dokumentiert wird, keine kostenintensiven Abklärungen in späteren Stadien mehr erforderlich machen würde. Um dies zu bestätigen sind gut konzipierte prospektive Kosten-Nutzen- und Kosten-Effektivitäts-Studien erforderlich.

Zusammenfassend zeigt diese Studie, dass IFs bei Notfall-CT-Untersuchungen bei älteren Erwachsenen häufig sind und ihre Prävalenz mit zunehmendem Alter steigt. Die überwiegende Mehrheit der IFs sind ohne klinische Bedeutung oder zum Zeitpunkt der Feststellung asymptomatisch mit eventuell zukünftiger klinischer Relevanz, und spiegeln die häufigsten altersbedingten Grunderkrankungen wie z.B. vaskuläre

Veränderungen wieder. In Anbetracht der zunehmenden Inanspruchnahme von Notfall-CT-Untersuchungen bei älteren Erwachsenen mit LEF, sind die Bedenken hinsichtlich der Krankheitslast bei IFs, den notwendigen weiteren Untersuchungen und der Inanspruchnahme von Ressourcen groß, können aber in 20% der Fälle einen eindeutigen Nutzen für den Patienten erbringen. Somit könnten mit der CT-Untersuchung nicht nur traumatische Läsionen, sondern therapiebare Erkrankungen erkannt werden. Entscheidend ist weniger die Indikation zur CT-Untersuchung, sondern die konsequente Bewertung und Dokumentation, einschließlich der Nebenbefunde.

Publikation E: Diagnostischer Wert des Proteins S100b als Prädiktor für traumatische intrakranielle Blutungen bei älteren Erwachsenen mit niederenergetischen Stürzen.

Die klinisch stärksten Prädiktoren für eine intrakranielle Blutung sind sichtbare supra-klavikuläre Verletzungszeichen, wie Platzwunden oder Prellungen, und im CT nachgewiesene Schädelfrakturen²⁰ sowie neurologische Auffälligkeiten und vorbekannt chronische Nierenerkrankungen.²⁶ Diese aktuelle Auswertung einer monozentrischen retrospektiven Kohorte findet eine Gesamtprävalenz von 6.7 % für eine tICH bei älteren Patienten mit LEF. Weder die Einnahme von Antikoagulanzien oder Thrombozytenaggregationshemmern noch die Kombination aus beiden sind relevante Risikofaktoren für eine tICH oder schwere intrakranielle Blutungen. Umgekehrt sind begleitende Schädelfrakturen mit einer tICH assoziiert. Obwohl das kalziumbindende Protein S100b als Biomarker bei der klinischen Entscheidung zur cCT-Untersuchung bei jüngeren Patienten mit einem leichten SHT in lokalen Behandlungsprotokollen²¹ und Leitlinien⁷³ herangezogen wird, zeigt der Biomarker in der aktuellen Auswertung eine schlechte diagnostische Performance bei der Vorhersage einer tICH in dieser realen Kohorte älterer Patienten mit ausschließlich niederenergetischen Stürzen.

Die aktuell jüngste Auswertung stützt frühere Erkenntnisse,^{20, 26, 74-78} wonach weder Antikoagulanzien, noch Thrombozytenaggregationshemmer noch deren Kombination Risikofaktoren für eine tICH oder eine schwere tICH darstellen. Folglich erlaubt es das Fehlen einer Antikoagulation oder Thrombozytenaggregationshemmung in der Medikation dieser Patienten nicht, auf eine cCT-Untersuchung zu verzichten.

Die Analyse unserer Studie ergab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Serumkonzentrationen von Protein S100b mit im cCT nachgewiesenen tICH. Die diagnostische Vorhersageeigenschaft des Biomarkers für eine tICH (AUC: 0.59) war schlechter und von geringerer Sensitivität und Spezifität als in früheren Studien.^{76, 79} Die aktuellen Ergebnisse müssen v.a. vor dem Hintergrund der ungenauen Angaben zum genauen Zeitpunkt des Indexsturzes, der selten innerhalb eines Intervall von 1 bis 3 Stunden^{21-23, 73, 80} lag, interpretiert werden. Daher könnte dies den klinischen Wert von Protein S100b als Screening-Biomarker in realen Kohorten älterer Erwachsener mit LEF und unbekannter oder ungenauer Zeit zwischen Verletzung und Einlieferung in die Notaufnahme beschränken.

Zwei frühere Studien haben die wirtschaftlichen Bedeutung des Proteins S100b als Screening-Instrument in der Notaufnahme hinsichtlich einer Reduktion der cCT-Untersuchungen und den damit verbundenen Kosten untersucht.^{81, 82} Die Aufnahme von Protein S100b in die skandinavischen Leitlinien^{73 83, 84} mit strikter Befolgung bei der Entscheidungsfindung, führte zu einer Kosteneinsparung von bis zu 71 € pro Patient mit Verdacht auf ein leichtes SHT.⁸¹ Wartezeiten für Bluttests oder abschließende CT-Untersuchungen wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt. Die Bestimmung des Protein S100b wurde kostenreduzierend, wenn der Anteil der Patienten, die sich einer cCT-Untersuchung unterziehen, hoch ist (> 78%) oder die Wartezeit auf den CT-Befund die Wartezeit auf Bluttestergebnisse um 96 Minuten übersteigt.⁸² Trotz der Möglichkeit, die Kosten zu senken, ist die diagnostische Leistungsfähigkeit des Proteins S100b zur Vorhersage von tICH begrenzt. Die vorliegenden Daten unterstützen die Überlegung, dass auf die Bestimmung von ProteinS100b bei der Abklärung älterer Erwachsener mit LEF und Risiko für tICH in der Notaufnahme verzichtet werden kann. Da es jedoch keine zuverlässigen alternativen klinischen Risikofaktoren gibt, die hier identifiziert wurden, können keine Empfehlungen zur Reduzierung von cCT-Untersuchungen bei diesen Patienten gemacht werden.

Die Limitation dieser Studie liegt v.a. in ihrem retrospektiven Design und der initialen Patientenselektion. Da die wichtigsten klinischen Befunde aus den elektronischen Patientenakten erfasst wurden, macht es die Studie von der Dokumentationsqualität und Granularität der Dokumentation abhängig. Zweitens stammen die Daten aus einem Studienzentrum. Daher können keine Schlussfolgerungen für die Gesamtpopulation der älteren Erwachsenen mit LEF gezogen werden. Drittens, ist die Anzahl der neurochirurgischen Eingriffe, die eine klinisch relevante Hirnverletzung definiert, zu gering, um eine statistisch aussagekräftige Analyse der Risiko- und Vorhersagefaktoren zu ermöglichen. Obwohl die Krankenhausmortalität von Patienten mit tICH in der aktuellen Studie mehr als verdreifacht war, starb die Mehrheit dieser Patienten aus anderen Gründen als an einer akuten tICH. Dies schränkt die Aussagekraft des Vorhersagemodells im Hinblick auf ungünstige Ergebnisse aufgrund der tICH zusätzlich ein.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei älteren Erwachsenen mit einem LEF die Prävalenz für eine tICH bei 6.7% liegt. Die Bestimmung der Serumkonzentratio-

nen des kalziumbindenden Proteins S100b ermöglicht keine zuverlässige Vorhersage einer tICH, wenn der genaue Zeitpunkt des Traumas unklar ist. Die Daten legen nahe, dass die Anamnese auf eine blutverdünnende Therapie, die Untersuchung auf klinische Befunde oder Biomarker nicht ausreicht, um bei älteren Patienten nach LEF sicher über den Verzicht auf eine cCT-Untersuchung zu entscheiden. Dies macht weiterführende prospektive Untersuchungen an dieser Patientenpopulation erforderlich.

Publikation F: Die klinische Akutheit in der Notaufnahme und der Verletzungsschweregrad bestimmen die Krankenhouseinweisung älterer Patienten mit niedrigerenergetischen Stürzen.

Die vorangegangenen Untersuchungen zeigen, dass der LEF des älteren Menschen mit Verletzungsfolgen ein häufiges und für den Patienten und das Gesundheitssystem relevantes Ereignis ist. Für die angemessene Planung und den Einsatz von Ressourcen und für eine patientengerechte Behandlung, die die Bedürfnisse des älteren Menschen frühzeitig schon in der Notaufnahme erkennt, gilt es neben den Verletzungen weitere Risikofaktoren zu identifizieren, die eine möglichst frühe Vorhersage über eine stationäre Aufnahme, Verlauf und Dauer erlauben.

In dieser prospektiven Beobachtungsstudie an einem Universitätsklinikum der umfassenden Notfallversorgungsstufe (LMU Klinikum, Standort Großhadern) wurden leicht zugängliche klinische Daten ermittelt, die helfen können, ältere Patienten mit LEF zu identifizieren, bei denen die Wahrscheinlichkeit einer Aufnahme hoch ist. Darüber hinaus ist dies eine Proof-of-Principle-Studie, die zeigt, dass digital unterstützte geriatrische Assessments inkl. der Erhebung von PROMs bei älteren Patienten auch während der akuten Behandlung in der Notaufnahme durchgeführt werden können und zukünftig Fachkräften bei der Durchführung einer gründlichen geriatrischen Beurteilung in der Notaufnahme dienlich sein kann.

Das ESI-Triage-Instrument erweist sich als valide bei der Vorhersage von Krankenhouseinweisung, Dauer des Krankenhausaufenthalts, Ressourcenverbrauch und Überleben von älteren (≥ 65 Jahre) Notfallpatienten.^{85, 86} Jedoch wurde argumentiert, dass der ESI-Score möglicherweise nicht der beste Prädiktor für die Krankenhouseinweisung ist und dass Alter ein signifikanter Prädiktor bei alten und sehr alten Patienten sei.⁸⁷ Die Ergebnisse der vorliegenden Studie fügen nun wertvolle Informationen hinzu. Bei älteren Patienten mit LEF ist die Schwere der akuten sturzbedingten Verletzung neben der Behandlungsdringlichkeit ESI ein zweiter Prädiktor für eine stationäre Aufnahme, und somit muss das Niedrigenergietauma als relevantes Gesundheitsproblem berücksichtigt werden. In Anbetracht der Tatsache, dass sturzbedingte Beschwerden einer der Hauptgründe für die Vorstellung älterer Patienten in

der Notaufnahme sind.^{1, 3-5} bedeutet dies für die Ressourcenplanung im Krankenhaus, dass wenn mindestens jeder zweite Patient mit einem LEF zur stationären Therapie aufgenommen wird, stationäre Behandlungskapazitäten zur Verfügung stehen müssen, inkl. chirurgischer und intensivmedizinischer Kapazitäten für jene Patienten mit schweren und schwersten Verletzungen, die chirurgische Eingriffe erfordern. Im Hinblick auf die Sicherheit dieser vulnerablen Patientengruppe sollte dies von der Krankenhausleitung, der Politik und den Gesundheitssystemen gefordert werden.

Diese Machbarkeitsstudie beweist, dass ein gewisser Anteil von 25% der älteren Patienten in der Notaufnahme in der Lage ist, tablet-gestützte Patientenbefragungen in der Notaufnahme durchzuführen. Dieses Ergebnis wird durch einige frühere Studien für die Notaufnahme⁸⁸ und den stationären Bereich⁸⁹ in Bezug auf ältere Patienten unterstützt. Die Daten, die aus tablet-gestützter Selbsteinschätzung beruhen wurden als zuverlässig und geeignet für eine breite klinische Anwendung validiert.⁸⁹ Limitierende Faktoren für die selbstständige Tablet-Nutzung in der vorliegenden Untersuchung waren Alter und der Grad der Gebrechlichkeit, was auf eine allgemeine Unfähigkeit im Umgang mit neuen Technologien hindeuten könnte. Dies könnte sich jedoch in den nächsten 5 bis 10 Jahren ändern, wenn die Generation derjenigen, die jetzt mit neuen Technologien vertraut sind, älter werden. Die Durchführung der vollständigen Beurteilung mit Interviews führt zu keiner signifikant längeren Verweildauer in der Notaufnahme oder einer merklichen Beeinträchtigung der Standarduntersuchungen in der Notaufnahme. In jüngster Zeit wurde hervorgehoben, dass die erfolgreiche Einführung von PROMs für verschiedene Patientenpopulationen in der Notaufnahme unter den besonderen Bedingungen der Akutversorgung, Forschern, Klinikern und politischen Entscheidungsträgern helfen kann, die Qualität und Patientenzentrierung der Akutversorgung zu verbessern.⁹⁰ Unsere Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass eine frühzeitige spezifische Beurteilung geriatrischer Patienten in der Notaufnahme machbar und umsetzbar ist und durch moderne, standardisierbare und übertragbare web-basierte Technologien unterstützt werden kann.

Die Stärke dieser Studie liegt in der gründlichen Untersuchung einer hochrelevanten Patientenpopulation für Notaufnahmen in Gesundheitssystemen mit hohem Einkommen. Trotzdem weist diese Machbarkeitsstudie mehrere Einschränkungen auf. Zum

einen ist aufgrund des monozentrischen Proof-of-principles Designs die externe Validität in Bezug auf die Durchführbarkeit der tablet-basierten Assessments begrenzt. In der Praxis könnten unterschiedliche Standards für das Management in den Notaufnahmen den Zugang der Patienten zu Interviewern oder Pflegekräften einschränken. Außerdem könnten begrenzte personelle Ressourcen die Durchführbarkeit eines routinemäßigen geriatrischen Assessments rund um die Uhr einschränken, unabhängig davon, ob institutionelle Software oder webbasierte Open-Source-Tools eingesetzt werden. Da der Einschlusszeitraum von der zweiten Welle der COVID-19-Pandemie in Deutschland überlagert wurde, besteht ein relevantes Risiko der Selektionsverzerrung, mit einer Betonung auf gebrechlicheren und schwerer verletzten Patienten, da die weniger verletzten und gefährdeten Patienten es während der Pandemie vermieden, in die Notaufnahme zu gehen. Drittens, stellt der Ausschluss von Patienten mit einer akuten vitalen Bedrohung (z.B. akuter Schlaganfall) oder ohne Zustimmung wegen eines akuten Delirs oder diagnostizierter Demenz ohne Bevollmächtigte ein weiteres relevantes Risiko für eine Selektionsverzerrung und eine Unterschätzung des Anteils von Patienten mit relevanten Komorbiditäten und damit eine Unterschätzung des gemessenen CCI, CSF und Barthel-Index in der tatsächlichen Kohorte dar. Schließlich sollte eine Verzerrung in Betracht gezogen werden, in der Probanden, die neuen Technologien gegenüber aufgeschlossener sind und daher eher an der Studie teilnehmen, was zu einer Überschätzung der allgemeinen Machbarkeit führen kann. Zusammenfassend zeigt diese Proof-of-Principle-Studie den Wert von tablet-basierten Assessments älterer Patienten mit LEF zur Vorhersage relevanter klinischer Ergebnisse wie Krankenhausinweisung und Krankenhausmortalität. Die akuten sturzbedingten Verletzungen und die klinische Akutheit bei der Erstvorstellung in der Notaufnahme sind relevante Prädiktoren für die Krankenhausinweisung, der allgemeine Gesundheitszustand der Patienten ist ein prädiktiver Faktor für die Krankenhausmortalität. Die Studie unterstützt die Annahme, dass digital gestützte Technologien die geriatrische Beurteilung in der Notaufnahme von Nutzen für Patienten, Gesundheitsdienstleister und Gesundheitssysteme sein können, und zur weiteren Bewertung größere Interventionsstudien erforderlich macht.

Ausblick

Der niederenergetische Sturz des älteren Menschen mit Verletzungsfolgen ist ein häufiges und sowohl für den Patienten als auch das Gesundheitssystem relevantes Ereignis. Die Daten der einzelnen, sich ergänzenden Studien deuten darauf hin, dass die derzeit praktizierten klinischen Entscheidungs- und Diagnostikpfade beim älteren Sturzpatienten eine gesonderte und differenzierte Betrachtung erfordern. Notfall- und akutmedizinische Prozesse und Standards während der Behandlung dieser vulnerablen Patientengruppe sind, v.a. in der Notaufnahme, anzupassen, um Ressourcen gezielt einzusetzen bzw. zu schonen, die Patientensicherheit und -zufriedenheit zu erhöhen, und möglicherweise deren Prognose zu verbessern und Kosten zu senken.

Der Stellenwert der Notfallbildung in der Behandlung von Notfallpatienten aller Altersgruppen hat in den letzten Jahren qualitativ und quantitativ zugenommen, und es ist davon auszugehen, dass sich diese Entwicklung in den kommenden Jahren weiter fortsetzen wird. Gleichzeitig konzentriert sich die Behandlung von Notfallpatienten immer mehr auf den Krankenhaussektor und damit initial auf die Notaufnahmen. Der Anteil von älteren und alten Patienten, die sich mit oder wegen eines LEF in den Notaufnahmen vorstellen wird bedingt durch die demographische Entwicklung kontinuierlich zunehmen. Zusammengenommen macht dies die niederschwellige Einbindung einer schnellen und genauen bildgebenden Diagnostik in die Versorgungspfade immer notwendiger. Algorithmus-basierte klinische Entscheidungspfade können eine hohe Versorgungs- und Behandlungsqualität sichern. Darüber hinaus werden sie umso attraktiver, wenn die Fortschritte der CT-Technologie, z.B. mit Low-dose-Verfahren und iterativen Rekonstruktionen, mit durch Künstliche Intelligenz-gestützten Auswerteverfahren von Standardprotokollen oder dem Matching mit anderen bildgebenden Verfahren, wie z.B. dem Ultraschall und der Röntgen-Untersuchung, eingebunden werden und damit zukünftig klinische Prozesse maßgeblich unterstützen.

Abkürzungsverzeichnis

AUC	area under the curve; Fläche unter der Kurve
CCI	Charlson comorbidity index; Charlson Komorbiditätsindex
cCT	cerebral computed tomography; Schädel-Computertomographie
CI	confidence interval; Konfidenzintervall
CSF	clinical frailty scale; klinische Gebrechlichkeitsskala
ED	Emergency Departement; Notaufnahme
EQ5D	European Quality of Life 5 Dimensions
ESI	Emergency Severity Index
GCS	Glasgow Coma Scale; Glasgow Koma Skala
hAIS	headspecific abbreviated injury score; kopfspezifische Verletzungsschwere
ICU	intensive care unit; Intensivstation
IRR	incidence rate ratio; Inzidenzratenverhältnis
ISS	injury severity score; Score für die Gesamtverletzungsschwere
ZNA	Zentrale Notaufnahme
LEF	low energy fall; niederenergetischer Sturz
LOS	length of stay; Aufenthaltsdauer
LR ⁻	negative likelihood ratio; negatives Wahrscheinlichkeitsverhältnis
LR ⁺	positive likelihood ratio; positives Wahrscheinlichkeitsverhältnis
mSv	Millisievert
NOAK	neue orale Antikoagulanzien
NPV	negative predictive value; negativer Vorhersagewert
OR	odds ratio; Chancenverhältnis
PICO	patient, intervention, comparison, outcome; Patient, Intervention, Vergleich, Ergebnis
PPV	positive predictive value; positiver Vorhersagewert
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Review and Metaanalysis

PROM	patient reported outcome measure; von den Patienten berichtete Ergebnismessung
ROC	receiver operating characteristic; Grenzwertoptimierungskurve
SF36	Short form 36; Short Form (36) Gesundheitsfragebogen
SHT	Schädel-Hirn-Trauma
tICH	traumatic intracranial hemorrhage; traumatische intrakranielle Blutung
XR	natives (konventionelles) Röntgen

Literaturverzeichnis

- [1] Shankar KN, Liu SW, Ganz DA: Trends and characteristics of emergency department visits for fall-related injuries in older adults, 2003–2010. *Western Journal of Emergency Medicine* 2017, 18:785.
- [2] World Health Organization (WHO). Falls. Available online: www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls.
- [3] Tanderup A, Lassen AT, Rosholm JU, Ryg J: Disability and morbidity among older patients in the emergency department: a Danish population-based cohort study. *BMJ Open* 2018, 8:e023803.
- [4] Pines JM, Mullins PM, Cooper JK, Feng LB, Roth KE: National trends in emergency department use, care patterns, and quality of care of older adults in the United States. *J Am Geriatr Soc* 2013, 61:12-7.
- [5] Schrijver EJ, Toppinga Q, de Vries OJ, Kramer MH, Nanayakkara PW: An observational cohort study on geriatric patient profile in an emergency department in the Netherlands. *Neth J Med* 2013, 71:324-30.
- [6] Carpenter CR, Cameron A, Ganz DA, Liu S: Older Adult Falls in Emergency Medicine-A Sentinel Event. *Clin Geriatr Med* 2018, 34:355-67.
- [7] Davenport K, Alazemi M, Sri-On J, Liu S: Missed Opportunities to Diagnose and Intervene in Modifiable Risk Factors for Older Emergency Department Patients Presenting After a Fall. *Ann Emerg Med* 2020, 76:730-8.
- [8] Dellinger AM, Stevens JA: The injury problem among older adults: mortality, morbidity and costs. *J Safety Res* 2006, 37:519-22.
- [9] Trevisan C, Di Gregorio P, Debiasi E, Pedrotti M, La Guardia M, Manzato E, Sergi G, March A: Decision tree for ward admissions of older patients at the emergency department after a fall. *Geriatr Gerontol Int* 2018, 18:1388-92.
- [10] Vilpert S, Monod S, Jaccard Ruedin H, Maurer J, Trueb L, Yersin B, Bula C: Differences in triage category, priority level and hospitalization rate between young-old and old-old patients visiting the emergency department. *BMC Health Serv Res* 2018, 18:456.
- [11] Bhattacharya B, Maung A, Schuster K, Davis KA: The older they are the harder they fall: Injury patterns and outcomes by age after ground level falls. *Injury* 2016, 47:1955-9.
- [12] Spaniolas K, Cheng JD, Gestring ML, Sangosanya A, Stassen NA, Bankey PE: Ground level falls are associated with significant mortality in elderly patients. *J Trauma* 2010, 69:821-5.
- [13] Gelbard R, Inaba K, Okoye OT, Morrell M, Saadi Z, Lam L, Talving P, Demetriades D: Falls in the elderly: a modern look at an old problem. *Am J Surg* 2014, 208:249-53.
- [14] Klein SJS, Linder R, Verheyen F, Häussler B: Frakturen und Versorgungskosten bei Osteoporose: Analyse von Krankenkassen-Routinedaten im Rahmen der Bone Evaluation Study (BEST). *Journal für Mineralstoffwechsel und Muskuloskelettale Erkrankungen* 2014, 21:121-5.
- [15] Trauma Audit and Research Network (TARN). Major Trauma in Older People; Manchester Academic Health Science Centre (MAHSC): Salford, UK, 2017.

- [16] Street M, Mohebbi M, Berry D, Cross A, Considine J: Influences on emergency department length of stay for older people. *Eur J Emerg Med* 2018, 25:242-9.
- [17] Carpenter CR, Arends G, Hullick C, Nagaraj G, Cooper Z, Burkett E: Major trauma in the older patient: Evolving trauma care beyond management of bumps and bruises. *Emerg Med Australas* 2017, 29:450-5.
- [18] Hoffman JR, Carpenter CR: Guarding Against Overtesting, Overdiagnosis, and Overtreatment of Older Adults: Thinking Beyond Imaging and Injuries to Weigh Harms and Benefits. *J Am Geriatr Soc* 2017, 65:903-5.
- [19] Kroczek EK, Wieners G, Steffen I, Lindner T, Streitparth F, Hamm B, Maurer MH: Non-traumatic incidental findings in patients undergoing whole-body computed tomography at initial emergency admission. *Emerg Med J* 2017, 34:643-6.
- [20] Lampart A, Kuster T, Nickel CH, Bingisser R, Pedersen V: Prevalence and Severity of Traumatic Intracranial Hemorrhage in Older Adults with Low-Energy Falls. *J Am Geriatr Soc* 2020, 68:977-82.
- [21] Biberthaler P, Linsenmeier U, Pfeifer KJ, Kroetz M, Mussack T, Kanz KG, Hoecherl EF, Jonas F, Marzi I, Leucht P, Jochum M, Mutschler W: Serum S-100B concentration provides additional information for the indication of computed tomography in patients after minor head injury: a prospective multicenter study. *Shock* 2006, 25:446-53.
- [22] Undén J, Romner B: Can low serum levels of S100B predict normal CT findings after minor head injury in adults: an evidence-based review and meta-analysis. *J Head Trauma Rehab* 2010, 25:228-40.
- [23] Müller K, Townend W, Biasca N, Undén J, Waterloo K, Romner B, Ingebrigtsen T: S100B serum level predicts computed tomography findings after minor head injury. *J Trauma* 2007, 62:1452-6.
- [24] Grossmann FF, Zumbrunn T, Ciprian S, Stephan FP, Woy N, Bingisser R, Nickel CH: Undertriage in older emergency department patients--tilting against windmills? *PLoS One* 2014, 9:e106203.
- [25] Parker S, Afsharpad A: Ground-level geriatric falls: a not-so-minor mechanism of injury. *Case Rep Orthop* 2014, 2014:164632.
- [26] de Wit K, Merali Z, Kagoma YK, Mercier E: Incidence of intracranial bleeding in seniors presenting to the emergency department after a fall: A systematic review. *Injury* 2020, 51:157-63.
- [27] Bulger EM, Arneson MA, Mock CN, Jurkovich GJ: Rib fractures in the elderly. *J Trauma* 2000, 48:1040-6.
- [28] O'Connor D, Green, S., Higgins, J.P.T.: Defining the review question and developing criteria for including studies. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 5.0.0*. Edited by Higgins JPT, Green, S.: The Cochrane Collaboration, 2008.
- [29] Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gotzsche PC, Ioannidis JP, Clarke M, Devereaux PJ, Kleijnen J, Moher D: The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *J Clin Epidemiol* 2009, 62:e1-34.

- [30] Pedersen V, Lampart A, Bingisser R, Nickel CH: Accuracy of plain radiography in detecting fractures in older individuals after low-energy falls: current evidence. *Trauma Surg Acute Care Open* 2020, 5:e000560.
- [31] Westwood ME, Whiting PF, Kleijnen J: How does study quality affect the results of a diagnostic meta-analysis? *BMC Med Res Methodol* 2005, 5:20.
- [32] Whiting P, Rutjes AW, Reitsma JB, Bossuyt PM, Kleijnen J: The development of QUADAS: a tool for the quality assessment of studies of diagnostic accuracy included in systematic reviews. *BMC Med Res Methodol* 2003, 3:25.
- [33] Singleton JM, Bilello LA, Canham LS, Levenson RB, Lopez GJ, Tadiri SP, Shapiro NI, Rosen CL: Chest CT imaging utility for radiographically occult rib fractures in elderly fall-injured patients. *J Trauma Acute Care Surg* 2019, 86:838–43.
- [34] Lampart A, Arnold I, Mäder N, Niedermeier S, Escher A, Stahl R, Trumm C, Kammerlander C, Böcker W, Nickel C, Bingisser R, Pedersen V: Prevalence of fractures and diagnostic accuracy of emergency x-ray in older adults sustaining a low-energy fall: A retrospective study. *J Clin Med* 2020, 9:97.
- [35] Karul M, Bannas P, Schoennagel BP, Hoffmann A, Wedegaertner U, Adam G, Yamamura J: Fractures of the thoracic spine in patients with minor trauma: comparison of diagnostic accuracy and dose of biplane radiography and MDCT. *Eur J Radiol* 2013, 82:1273-7.
- [36] Böhme J, Hoch A, Boldt A, Josten C: Influence of routine CT examination on fracture classification and therapy for pelvic ring fractures in patients aged over 65 years old. *Z Orthop Unfall* 2012, 150:477-83.
- [37] Dunker D, Collin D, Gothlin JH, Geijer M: High clinical utility of computed tomography compared to radiography in elderly patients with occult hip fracture after low-energy trauma. *Emerg Radiol* 2012, 19:135-9.
- [38] Eggenberger E, Hildebrand G, Vang S, Ly A, Ward C: Use of CT Vs. MRI for Diagnosis of Hip or Pelvic Fractures in Elderly Patients After Low Energy Trauma. *Iowa Orthop J* 2019, 39:179-83.
- [39] Heikal S, Riou P, Jones L: The use of computed tomography in identifying radiologically occult hip fractures in the elderly. *Ann R Coll Surg Engl* 2014, 96:234-7.
- [40] Natoli RM, Fogel HA, Holt D, Schiff A, Bernstein M, Summers HD, Lack W: Advanced Imaging Lacks Clinical Utility in Treating Geriatric Pelvic Ring Injuries Caused by Low-Energy Trauma. *J Orthop Trauma* 2017, 31:194-9.
- [41] Nüchtern JV, Hartel MJ, Henes FO, Groth M, Jauch SY, Haegele J, Briem D, Hoffmann M, Lehmann W, Rueger JM, Grossterlinden LG: Significance of clinical examination, CT and MRI scan in the diagnosis of posterior pelvic ring fractures. *Injury* 2015, 46:315-9.
- [42] Schicho A, Schmidt SA, Seeber K, Olivier A, Richter PH, Gebhard F: Pelvic X-ray misses out on detecting sacral fractures in the elderly - Importance of CT imaging in blunt pelvic trauma. *Injury* 2016, 47:707-10.

- [43] Thomas RW, Williams HL, Carpenter EC, Lyons K: The validity of investigating occult hip fractures using multidetector CT. *Br J Radiol* 2016, 89:20150250.
- [44] Pedersen V, Lampart A, Kammerlander C, Böcker W, Nickel CH, Bingisser R: Older Patients with Low-Energy Falls Presenting to the Emergency Department: Characteristics and Outcomes. *J Am Geriatr Soc* 2019 67:1527–35.
- [45] Biswas D, Bible JE, Bohan M, Simpson AK, Whang PG, Grauer JN: Radiation exposure from musculoskeletal computerized tomographic scans. *J Bone Joint Surg Am* 2009, 91:1882-9.
- [46] Niedermeier S, Wania R, Lampart A, Stahl R, Trumm C, Kammerlander C, Böcker W, Nickel CH, Bingisser R, Armbruster M, Pedersen V: Incidental CT Findings in the Elderly with Low-Energy Falls: Prevalence and Implications. *Diagnostics* 2022, 12:354.
- [47] Wania R, Lampart A, Niedermeier S, Stahl R, Trumm C, Reidler P, Kammerlander C, Böcker W, Klein M, Pedersen V: Diagnostic value of protein S100b as predictor of traumatic intracranial haemorrhage in elderly adults with low-energy falls: results from a retrospective observational study. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2023. doi: 10.1007/s00068-023-02324-7.
- [48] Clemens V, Saller MM, Meller R, Neuerburg C, Kammerlander C, Böcker W, Klein M, Pedersen V: Clinical Acuity in the Emergency Department and Injury Severity Determine Hospital Admission of Older Patients with Low Energy Falls: Outcomes from a Prospective Feasibility Study. *J Clin Med* 2023, 12:3144.
- [49] Spering C, Lefering R, Bouillon B, Lehmann W, von Eckardstein K, Dresing K, Sehmisch S: It is time for a change in the management of elderly severely injured patients! An analysis of 126,015 patients from the TraumaRegister DGU®. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2020, 46:487-97.
- [50] Nakamura Y, Daya M, Bulger EM, Schreiber M, Mackersie R, Hsia RY, Mann NC, Holmes JF, Staudenmayer K, Sturges Z, Liao M, Haukoos J, Kuppermann N, Barton ED, Newgard CD, Investigators W: Evaluating age in the field triage of injured persons. *Ann Emerg Med* 2012, 60:335-45.
- [51] Bingisser R, Dietrich M, Nieves Ortega R, Malinovska A, Bosia T, Nickel CH: Systematically assessed symptoms as outcome predictors in emergency patients. *Eur J Intern Med* 2017, 45:8-12.
- [52] Liu SW, Sri-On J, Tirrell GP, Nickel C, Bingisser R: Serious conditions for ED elderly fall patients: a secondary analysis of the Basel Non-Specific Complaints study. *Am J Emerg Med* 2016, 34:1394-9.
- [53] Street M, Mohebbi M, Berry D, Cross A, Considine J: Influences on emergency department length of stay for older people. *Eur J Emerg Med* 2018, 25:242-9.
- [54] Department of Health. On the State of the Public Health 1995; Department of Health: London, UK, 1995.
- [55] Wall B, Haylock R, Jansen J, Hillier M, Hart D, Shrimpton P: Radiation risks from medical X-ray examinations as a function of the age and sex of the patient. Health Protection Agency, Centre for Radiation, Chemical and Environmental Hazards Chilton, Didcot Oxfordshire OX11 0RQ ISBN, 2011.
- [56] Hoffman JR, Mower WR, Wolfson AB, Todd KH, Zucker MI: Validity of a set of clinical criteria to rule out injury to the cervical spine in patients with blunt trauma. National Emergency X-Radiography Utilization Study Group. *N Engl J Med* 2000, 343:94-9.

- [57] Stiell IG, Wells GA, Vandemheen KL, Clement CM, Lesiuk H, De Maio VJ, Laupacis A, Schull M, McKnight RD, Verbeek R, Brison R, Cass D, Dreyer J, Eisenhauer MA, Greenberg GH, MacPhail I, Morrison L, Reardon M, Worthington J: The Canadian C-spine rule for radiography in alert and stable trauma patients. *JAMA* 2001, 286:1841-8.
- [58] National Clinical Guideline Center UK. Spinal Injury: Assessment and Initial Management; National Clinical Guideline Centre: London, UK, 2016. 6.
- [59] Sixta S, Moore FO, Dillillo MF, Fox AD, Garcia AJ, Holena D, Joseph B, Tyrie L, Cotton B, Eastern Association for the Surgery of Trauma: Screening for thoracolumbar spinal injuries in blunt trauma: an Eastern Association for the Surgery of Trauma practice management guideline. *J Trauma Acute Care Surg* 2012, 73:S326-32.
- [60] VandenBerg J, Cullison K, Fowler SA, Parsons MS, McAndrew CM, Carpenter CR: Blunt Thoracolumbar-Spine Trauma Evaluation in the Emergency Department: A Meta-Analysis of Diagnostic Accuracy for History, Physical Examination, and Imaging. *J Emerg Med* 2019, 56:153-65.
- [61] Neuerburg C, Mittlmeier L, Schmidmaier R, Kammerlander C, Böcker W, Mutschler W, Stumpf U: Investigation and management of osteoporosis in aged trauma patients: a treatment algorithm adapted to the German guidelines for osteoporosis. *J Orthop Surg Res* 2017, 12:86.
- [62] Sierink JC, Saltzherr TP, Been LF, Luitse JS, Hollmann MW, Reitsma JB, Edwards MJ, Hohmann J, Beuker BJ, Patka P, Suliburk JW, Dijkgraaf MG, Goslings JC: A multicenter, randomized controlled trial of immediate total-body CT scanning in trauma patients (REACT-2). *BMC Emerg Med* 2012, 12:4.
- [63] Sierink JC, Saltzherr TP, Russchen MJ, de Castro SM, Been LF, Schep NW, Goslings JC: Incidental findings on total-body CT scans in trauma patients. *Injury* 2014, 45:840-4.
- [64] Treskes K, Bos SA, Been LF, Sierink JC, Edwards MJ, Beuker BJA, Muradin GSR, Hohmann J, Luitse JS, Hollmann MW, Dijkgraaf MGW, Goslings JC, group R-s: High rates of clinically relevant incidental findings by total-body CT scanning in trauma patients; results of the REACT-2 trial. *Eur Radiol* 2017, 27:2451-62.
- [65] Paluska TR, Sise MJ, Sack DI, Sise CB, Egan MC, Biondi M: Incidental CT findings in trauma patients: incidence and implications for care of the injured. *J Trauma* 2007, 62:157-61.
- [66] Kumada K, Murakami N, Okada H, Toyoda I, Ogura S, Asano T: Incidental findings on whole-body computed tomography in trauma patients: the current state of incidental findings and the effect of implementation of a feedback system. *Acute Med Surg* 2019, 6:274-8.
- [67] Andrawes P, Picon AI, Shariff MA, Azab B, von Waagner W, Demissie S, Fasanya C: CT scan incidental findings in trauma patients: does it impact hospital length of stay? *Trauma Surg Acute Care open* 2017, 2:e000101.
- [68] James MK, Francois MP, Yoeli G, Doughlin GK, Lee SW: Incidental findings in blunt trauma patients: prevalence, follow-up documentation, and risk factors. *Emerg Radiol* 2017, 24:347-53.
- [69] Berge P, Darsonval A, Nedelcu C, Paisant A, Aube C: Incidental findings on emergency CT scans: Predictive factors and medico-economic impact. *Eur J Radiol* 2020, 129:109072.

- [70] Barrett TW, Schierling M, Zhou C, Colfax JD, Russ S, Conatser P, Lancaster P, Wrenn K: Prevalence of incidental findings in trauma patients detected by computed tomography imaging. *Am J Emerg Med* 2009, 27:428-35.
- [71] Mortani Barbosa EJ, Jr., Osuntokun O: Incidental findings in thoracic CTs performed in trauma patients: an underestimated problem. *Eur Radiol* 2019, 29:6772-9.
- [72] Orme NM, Fletcher JG, Siddiki HA, Harmsen WS, O'Byrne MM, Port JD, Tremaine WJ, Pitot HC, McFarland EG, Robinson ME, Koenig BA, King BF, Wolf SM: Incidental findings in imaging research: evaluating incidence, benefit, and burden. *Arch Intern Med* 2010, 170:1525-32.
- [73] Undén J, Ingebrigtsen T, Romner B: Scandinavian guidelines for initial management of minimal, mild and moderate head injuries in adults: an evidence and consensus-based update. *BMC Med* 2013, 11:50.
- [74] Hamden K, Agresti D, Jeanmonod R, Woods D, Reiter M, Jeanmonod D: Characteristics of elderly fall patients with baseline mental status: high-risk features for intracranial injury. *Am J Emerg Med* 2014, 32:890-4.
- [75] Nishijima DK, Gaona S, Elms AR, Farrales RD, Montoya J, Gilbert M, Trajano RP, Hatchel KM, Vinson DR, Ballard DW, et al.: The incidence of traumatic intracranial hemorrhage in head-injured older adults transported by emergency medical services with and without anticoagulant or antiplatelet use. Academic emergency medicine Conference: 2017 annual meeting of the society for academic emergency medicine, SAEM 2017 United states 2017, 24:S7.
- [76] Thaler HW, Schmidsfeld J, Pusch M, Pienaar S, Wunderer J, Pittermann P, Valenta R, Gleiss A, Fialka C, Mousavi M: Evaluation of S100B in the diagnosis of suspected intracranial hemorrhage after minor head injury in patients who are receiving platelet aggregation inhibitors and in patients 65 years of age and older. *J Neurosurg* 2015, 123:1202-8.
- [77] Galliazzo S, Bianchi MD, Virano A, Trucchi A, Donadini MP, Dentali F, Bertu L, Grandi AM, Ageno W: Intracranial bleeding risk after minor traumatic brain injury in patients on antithrombotic drugs. *Thromb Res* 2019, 174:113-20.
- [78] Spektor S, Agus S, Merkin V, Constantini S: Low-dose aspirin prophylaxis and risk of intracranial hemorrhage in patients older than 60 years of age with mild or moderate head injury: a prospective study. *J Neurosurg* 2003, 99:661-5.
- [79] Papa L, Robertson CS, Wang KK, Brophy GM, Hannay HJ, Heaton S, Schmalfuss I, Gabrielli A, Hayes RL, Robicsek SA: Biomarkers improve clinical outcome predictors of mortality following non-penetrating severe traumatic brain injury. *Neurocrit Care* 2015, 22:52-64.
- [80] Undén L, Calcagnile O, Undén J, Reinstrup P, Bazarian J: Validation of the Scandinavian guidelines for initial management of minimal, mild and moderate traumatic brain injury in adults. *BMC Med* 2015, 13:292.
- [81] Calcagnile O, Anell A, Undén J: The addition of S100B to guidelines for management of mild head injury is potentially cost saving. *BMC Neurol* 2016, 16:200.

- [82] Ruan S, Noyes K, Bazarian JJ: The economic impact of S-100B as a pre-head CT screening test on emergency department management of adult patients with mild traumatic brain injury. *J Neurotrauma* 2009, 26:1655-64.
- [83] Minkkinen M, Iverson GL, Kotilainen AK, Pauniaho SL, Mattila VM, Lehtimäki T, Berghem K, Posti JP, Luoto TM: Prospective Validation of the Scandinavian Guidelines for Initial Management of Minimal, Mild, and Moderate Head Injuries in Adults. *J Neurotrauma* 2019, 36:2904-12.
- [84] Minkkinen M, Iverson GL, Posti JP, Katanandova K, Ohman J, Blennow K, Zetterberg H, Luoto TM: Serum biomarkers in the emergency identification of complicated mild traumatic brain injury. *J Neurotrauma* 2018, 35 (16):A64-A5.
- [85] Baumann MR, Strout TD: Triage of geriatric patients in the emergency department: validity and survival with the Emergency Severity Index. *Ann Emerg Med* 2007, 49:234-40.
- [86] Groening M, Wilke P: [Triage, screening, and assessment of geriatric patients in the emergency department]. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 2020, 115:8-15.
- [87] LaMantia MA, Platts-Mills TF, Biese K, Khandelwal C, Forbach C, Cairns CB, Busby-Whitehead J, Kizer JS: Predicting hospital admission and returns to the emergency department for elderly patients. *Acad Emerg Med* 2010, 17:252-9.
- [88] Boucher V, Lamontagne ME, Lee J, Carmichael PH, Dery J, Emond M: Acceptability of older patients' self-assessment in the Emergency Department (ACCEPTED)-a randomised cross-over pilot trial. *Age Ageing* 2019, 48:875-80.
- [89] Gorodeski EZ, Rosenfeldt AB, Fang K, Kubu C, Rao SM, Jansen EA, Dey T, Alberts JL: An iPad-based Measure of Processing Speed in Older Adults Hospitalized for Heart Failure. *J Cardiovasc Nurs* 2019, 34:E9-E13.
- [90] Lin MP, Kligler SK, Friedman BW, Kim H, Rising K, Samuels-Kalow M, Eucker SA: Barriers and Best Practices for the Use of Patient-Reported Outcome Measures in Emergency Medicine. *Ann Emerg Med* 2023, 82:11-21.

Danksagung

Mein Dank gilt allen klinischen und akademischen Lehrern, die mich seit Beginn meiner wissenschaftlichen und später klinischen Laufbahn begleitet und unterstützt haben, meine Talente erkannt und in meine Fähigkeiten vertraut haben.

Danken möchte ich Prof. Dr. Wolfgang Böcker, Direktor der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie am LMU Klinikum, der meine klinische und wissenschaftliche Entwicklung immer unterstützt hat, mich als junge Fachärztin zur Oberärztin in der Zentralen Notaufnahme am Standort Großhadern, voller Vertrauen in meine Fähigkeiten, befördert hat, und damit den Grundstein für alle weiteren Karriereschritte und in die Fertigstellung dieser Habilitation gelegt hat.

Bedanken möchte ich mich bei Prof. Dr. Roland Bingisser und Prof. Dr. Christian H. Nickel und dem Team vom Notfallzentrum des Universitätsspitals in Basel, deren Input und Unterstützung maßgeblich dazu beigetragen haben, aus einer Idee ein Projekt zu gestalten, und durch die Forschungsförderung des Forschungspools der Medizin am Universitätsspital Basel Freiraum für ein konzentriertes Umsetzen ermöglicht haben.

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Wolf Mutschler, ehemaliger Direktor der Klinik und Poliklinik für Allgemein-, Unfall- und Wiederherstellungs chirurgie am Klinikum der Universität München, der mir nach dem zweiten Studium die Türen in die Medizin geöffnet hat, das Feuer für die Unfallchirurgie und Notfallmedizin entfacht und immer genährt hat, und der mir bis heute tief verbundener Mentor, Berater und Freund ist.

Ich bedanke mich bei allen Kollegen und Doktoranden, ohne deren Unermüdlichkeit beim Erheben der Daten und Erstellen der Manuskripte diese Arbeit kaum möglich gewesen wäre: Prof. Dr. Christoph Trumm, PD Dr. Robert Stahl, Prof. Dr. Matthias Klein, Dr. med. Alina Lampart, Sandra Niedermeier, Isabelle Arnold, Nina Mäder, Rebecca Wania und Valentin Clemens.

Abschließend gilt der wohl größte Dank meinen Eltern, meiner Familie und meinen Freunden, deren größte Unterstützung über die vielen Jahre der Aus- und Weiterbildungen, Promotionen und Richtungswechsel darin lag, mir Freiraum zu geben, mich sehr häufig zu entbehren und mich in meinem stetigen Weiterstreben anzunehmen.