

S. Huber-Wagner<sup>1</sup>, K.G. Kanz<sup>1</sup>, B. Renger<sup>2</sup>, R. Lefering<sup>3</sup>, P. Biberthaler<sup>1</sup>

# Moderne CT-Bildgebung im Rahmen der Schockraumversorgung Schwerverletzter

Literaturübersicht

## *Modern CT diagnostics in major trauma management*

Review of the literature

**Zusammenfassung:** Die schnelle und sichere radiologische Diagnostik stellt einen relevanten Schlüsselbereich in der Versorgung schwerverletzter Patienten dar. Mittlerweile gibt es zahlreiche Daten zum Nutzen der Ganzkörper-Computertomografie (GKCT). Durch eine Literatursuche und -übersicht soll die aktuelle Evidenz zur GKCT dargestellt werden. Die Durchführung einer GKCT bei Schwerverletzten während der Schockraumphase zeigt eine hohe Prozessqualität im Sinne eines Zeitvorteils und einer hohen diagnostischen Sicherheit. Ferner zeigt sich ein signifikanter positiver Effekt der GKCT auf das Überleben Polytraumatisierter. Die GKCT ist auch bei hämodynamisch instabilen Patienten sicher anwendbar. Das CT sollte im oder nahe am Schockraum lokalisiert sein. Moderne iterative Protokolle ermöglichen eine Reduktion der Strahlenbelastung der GKCT um 30–80 %. Die Vorteile der Durchführung einer GKCT bei Schwerverletzten im Sinne einer Standarddiagnostik sind durch die aktuelle Literatur gut belegt.

**Schlüsselwörter:** Ganzkörper-CT, Multi-slice-CT, Computertomografie, CT, Polytrauma, Schockraum, Outcome

### Zitierweise

Huber-Wagner S, Kanz KG, Renger B, Lefering R, Biberthaler P: Moderne CT-Bildgebung im Rahmen der Schockraumversorgung Schwerverletzter. Literaturübersicht. OUP 2015; 01: 028–037 DOI 10.3238/oup.2015.0028–0037

**Summary:** A swift and accurate radiologic workup is one key element of major trauma management. So far, there is much evidence in favour of whole-body CT (WBCT). A systematic review of the literature was performed to present current studies at a glance.

Performing WBCT reduces the time needed in the emergency room significantly and shows a high diagnostic safety and therefore improves process quality. Furthermore, there is a significant positive effect of WBCT on the outcome of severely injured patients. It is also applicable to haemodynamically unstable major trauma patients. The CT should be located in or close to the emergency room. Iterative scanning protocols are able to reduce radiation by 30–80%. The advantages of WBCT in the care of multiply injured patients as a standard diagnostic tool are well-supported by the current literature.

**Keywords:** whole-body ct, ct, pan-scan, trauma, polytrauma, multiply injured, major trauma, multi-slice CT, emergency room, outcome

### Citation

Huber-Wagner S, Kanz KG, Renger B, Lefering R, Biberthaler P: Modern CT diagnostics in major trauma management. Review of the literature. OUP 2015; 01: 028–037 DOI 10.3238/oup.2015.0028–0037

## Einleitung

Die Einführung der Technik der Spiral-Computertomografie in die klinische Routine Anfang der 1990er Jahre hat die diagnostische Radiologie revolutioniert [1]. 1998 ermöglichte die Einführung der Multi-slice-CT-Technologie (MSCT) eine Reduktion der Scanzeiten um das 8-fache. Dies resultiert aus einer Halbierung

der Rotationszeit und 4-fachen Volumenabtastung bei gleichbleibender Schichtdicke, wodurch Bewegungsartefakte weitestgehend eliminiert werden können. Durch Fortentwicklung der Detektortechnik konnte zudem eine höhere Auflösung bei geringeren Schichtdicken als Grundlage für die Berechnung 3-dimensionaler und multiplanarer Rekonstruktionen (MPR) erreicht werden [2–4].

Somit wurde die Durchführung einer Ganzkörper-Computertomografie (GKCT) überhaupt erst technisch möglich und denkbar [3, 4]. Dies führte dann folgerichtig zu Überlegungen, wie man die Ganzkörper-Computertomografie als ein Diagnostikum in die frühe Versorgungsphase Schwerverletzter sinnvoll integrieren könne [5–8].

<sup>1</sup> Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, Geschäftsführender Oberarzt

<sup>2</sup> Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München

<sup>3</sup> IFOM – Institut für Forschung in der Operativen Medizin, Universität Witten/Herdecke

## Entwicklung / Historisches

Löw aus Mainz im Jahr 1997 war der erste, der über den Einsatz der Ganzkörper-Computertomografie im Rahmen der Schwerverletztenversorgung berichtete [9]. Es folgten weitere Berichte von Scherer [10], Leidner [5], Ptak [7], Klöppel [11] und Rieger [8]. Seitdem gab es mehrere Ansätze, die Ganzkörper-Computertomografie in Schockraumalgorithmen- bzw. -protokolle zu integrieren [6, 12–18].

Eine immer größere Anzahl von Traumazentren geht mittlerweile dazu über, die Ganzkörper-Computertomografie routinemäßig zur Diagnostik von polytraumatisierten Patienten während der Versorgung im Schockraum einzusetzen [14, 15]. Nach dem Jahresbericht 2014 des TraumaRegisters DGU der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) verwenden bereits 71 % aller am TraumaRegister teilnehmenden Kliniken diese Art der Diagnostik [19].

Die Ganzkörper-Computertomografie wird zumeist definiert als ein natives Schädel-CT (CCT, cranielle Computertomografie), gefolgt von einer intravenös kontrastmittelverstärkten CT des Thorax, des Abdomens und des Beckens einschließlich der gesamten Wirbelsäule. Die Ganzkörper-Computertomografie ist als single-pass oder segmentierte GKCT möglich.

Welche Evidenz liegt dieser Art der Diagnostik jedoch eigentlich zugrunde? Im Folgenden wird hierzu eine Übersicht über die relevante Literatur und aktuelle Entwicklungen gegeben.

## Methodik

### Protokoll

Ein Review-Protokoll wurde festgelegt. Dieses wird im Folgenden kurz beschrieben.

**Einschluss- und Ausschlusskriterien**  
Englische und deutschsprachige wissenschaftliche Artikel seit 1997. Spezielle Untersuchungen mit dem Focus auf Kinder (< 16 Jahre) wurden ausgeschlossen.

### Quelle

Pubmed der U.S. National Library of Medicine, unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed> (zuletzt abgerufen am 25.11.2014)

### Suchstrategie

Suchwörter: whole-body ct, computed tomography, ct, trauma, pan-scan, polytrauma, multiply injured, major trauma,

multi-slice CT, dose, radiation, time, Ganzkörper-CT, Computertomografie, CT, Multi-slice CT, Dosis, Strahlung, Zeit

**Datenanalyse**

Die gefundenen Studien wurden manuell gescreent und gemäß der Einschätzung der Relevanz und des Evidenzgrades durch die Autoren in das review mitaufgenommen.

### Festlegung des Evidenzgrads

Die Evidenzgraduierung nach Analyse der Studien erfolgte gemäß AHCPR (US Agency for Healthcare Policy and Research) in die Stufen Ia, Ib, IIa, IIb, III und IV (hohe Evidenz bis niedrige Evidenz)

## Ergebnisse

Tabelle 1 zeigt die relevanten Studien zu dem Themenkomplex „Zeitaspekte“ im Rahmen der initialen CT-Diagnostik Schwerverletzter. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass zahlreiche und gute Evidenz vorliegt, die eindeutig einen Zeitvorteil für die Durchführung einer Ganzkörper-CT im Vergleich zur Durchführung selektiver Organ-CTs belegt. Dies wird insbesondere durch jüngste Metaanalysen untermauert (Tab. 1).

Tabelle 2 zeigt die relevanten Studien zu dem Themenkomplex „Diagnostische Sicherheit“ im Rahmen der initialen CT-Diagnostik Schwerverletzter. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass hier ebenfalls zahlreiche und gute Evidenz vorliegt, die eindeutig eine hohe diagnostische Sicherheit bei Durchführung einer Ganzkörper-CT belegt. Diese ist der diagnostischen Sicherheit bei der Durchführung von selektiven Organ-CTs überlegen (Tab. 2).

Tabelle 3 zeigt die relevanten Studien zu dem Themenkomplex „Mortalität“ im Rahmen der initialen CT-Diagnostik Schwerverletzter. Zusammenfassend lässt sich auch hier festhalten, dass mittlerweile hochwertige Evidenz vorliegt, die eindeutig einen signifikanten Überlebensvorteil zugunsten der Durchführung einer Ganzkörper-CT im Rahmen der Schockraumdiagnostik belegt. Dies wird insbesondere durch jüngst publizierte Metaanalysen untermauert (Tab 3).

## Diskussion

Die vorliegende Arbeit gibt einen Überblick über relevante Studien seit 1997

zur Durchführung einer Ganzkörper-Computertomografie im Rahmen der Schockraumphase der Versorgung Schwerverletzter.

## Zeitaspekte

Als entscheidend für das Outcome hinsichtlich Morbidität und Mortalität in der Behandlung Schwerverletzter hat sich, in Abhängigkeit von den Vitalparametern, dem Verletzungsmuster und dem Unfallmechanismus, die möglichst unverzüglich einsetzende und zielgerichtete Therapie erwiesen („golden hour of shock“, Cowley 1976). Polytraumamanagement ist somit im Wesentlichen auch Zeitmanagement.

Dies erfordert in der frühen Schockraumphase eine umfassende und suffiziente Diagnostik, welche möglichst ohne Zeitverzug, ohne Einschränkung der Patientenüberwachung oder der Durchführung vital stabilisierender Maßnahmen, eine prioritätenorientierte Therapie ermöglicht. Die Multi-Slice-Spiral-Computertomografie wird als derzeit einziges diagnostisches bildgebendes Verfahren diesen Ansprüchen gerecht.

Für den deutschsprachigen Raum kann man festhalten, dass die Dauer bis zur Durchführung einer Ganzkörper-Computertomografie derzeit etwa 30 Minuten nach Klinikaufnahme beträgt [20]. Die eigentliche Dauer einer GKCT, also die Scan-Zeit wurde von Ptak et al. mit etwa 3 Minuten angegeben. Er prägte den Begriff des „three minute multiple trauma scan“ [7]. Kanz et al. analysierten im Jahre 2004 125 Polytraumapatienten im Hinblick auf den Zeitbedarf. Sie maßen einen mittleren Zeitbedarf von 6 Minuten für die Durchführung einer kontrastmittelunterstützten GKCT in Multi-slice-Technik inclusive Pilot-scan. Die eigentliche Scan-Zeit betrug nur 59 Sekunden [14]. Man kann davon ausgehen, dass der Zeitbedarf bei einem eingespielten, interdisziplinären Team heute mit moderneren Computertomografen noch geringer ist.

Ebenso konnte mehrfach nachgewiesen werden, dass die Zeitdauer, die Schwerverletzte mit GKCT im Schockraum bzw. in der Notaufnahme bis zur Weiterverlegung in den OP bzw. die Intensivstation benötigen, signifikant um etwa 30 Minuten reduziert werden konnte [21, 22].

Erstautor	Jahr	N	Studiendesign	Evidenzstufe <sup>§</sup>	Kernaussage
Löw [9]	1997	27	Fallserie	III	Erstbeschreibung, Spiral-CT zuverlässig und schnell
Ptak [7]	2001	5	Fallserie	III	GKCT ist machbar, Zeitvorteil („three-minute multiple trauma CT scan“)
Leidner [5]	2001	ca. 2000	Fallserie/Review	IV	GKCT-Scan in ca. 5 min durchführbar
Rieger [8]	2002	111	Retrospektive Kohortenstudie	III	Zeitersparnis mit GKCT bis zu 50 %
Klöpffel [11]	2002	320	Fallserie	III	Zeitersparnis mit GKCT
Philipp [6]	2003	k.A.	Review	III	Zeitersparnis mit GKCT
Kanz [14]	2004	125	Fallserie	III	Zeitbedarf für GKCT 6,08 min
Watura [25]	2004	k.A.	Review	III	Zeitersparnis, hohe diagnostische Zuverlässigkeit durch GKCT
Sampson [24]	2006	296	Fallserie	III	Zeitersparnis, hohe diagnostische Zuverlässigkeit und Genauigkeit durch GKCT
Prokop [53]	2006	100	Fallserie	III	Dauer der CT-Diagnostik 16 min.
Fanucci [45]	2007	46	Fallserie	III	Single-pass- sind Segmented-acquisition-Protokollen überlegen (Zeitvorteil)
Weninger [17]	2007	370	Retrospektive Kohortenstudie	III	Zeitersparnis, hohe Sicherheit mit GKCT
Bernhard [12]	2007	369	Retrospektive Kohortenstudie	III	Zeitersparnis mit GKCT
Hilbert [13]	2007	139	Fallserie	III	Zeitersparnis durch GKCT
Wurmb [15]	2009	161	Fallserie	III	Zeitersparnis durch GKCT
Lee [18]	2009	428	Fallserie	III	GKCT im Schockraum: Hohe Sicherheit und Zeitvorteil
Kanz [23]	2010	4817	Retrospektive Kohortenstudie	IIa	GKCT schnell, Begriffsimplementierung: focused assessment with computed tomography in trauma (FACTT)
Wurmb [54]	2011	318	Retrospektive Kohortenstudie	III	Zeitersparnis durch GKCT
Smith [55]	2012	184	Umfrage	III	Zeit vom CT-Ende bis zum schriftlichen Befund: 17,9 min
Sierink [56]	2012	5470	Metaanalyse	Ia	Zeitersparnis durch GKCT
Riepl [57]	2013	457	Kohortenstudie	IIa	Zeitersparnis durch GKCT, CT im Schockraum
Adiotomre [58]	2014	201	Retrospektive Kohortenstudie	III	Zeit vom CT-Ende bis zum schriftlichen Befund: 27 min
Healy [21]	2014	6073	Metaanalyse	Ia	Signifikante Reduktion der Zeit in der Notaufnahme durch GKCT um -32 min (gepoolte Daten)
Jiang [22]	2014	10156	Metaanalyse	Ia	Signifikante Reduktion der Zeit in der Notaufnahme durch GKCT um -28 min (gepoolte Daten)

<sup>§</sup> Evidenzgraduierung nach AHCPR (US Agency for Health Care Policy and Research); GKCT (Ganzkörper-Computertomografie)

**Tabelle 1** Überblick über die wichtigsten Studien zum Thema Ganzkörper-Computertomografie beim Polytrauma im Hinblick auf Zeitaspekte.

In Analogie zur schnellen initialen Ultraschalluntersuchung, dem FAST (focussed assessment with sonography in trauma), prägte Kanz 2010 den treffenden Begriff des FACTT (focussed assessment with computed tomography in trauma) [23]. Dies verdeutlicht die Nutzbarkeit dieser Art der umfassenden Diagnostik, um schnell das gesamte Verletzungsmuster des Patienten detektieren zu können, um daraus dann umgehend ein prioritäten-orientiertes Behandlungskonzept zu entwerfen.

### Diagnostische Sicherheit

Löw, Watura, Brown, Sampson und Lee konnten ganz allgemein eine hohe diagnostische Sicherheit bei der Durchführung einer Ganzkörper-CT feststellen [9, 18, 24–26]. Salim und Deunk konnten in 19–40 % der untersuchten Fälle eine relevante Änderung des Behandlungsregimes durch die in der GKCT gewonnenen Erkenntnisse feststellen [27–29]. Kanz et al. konnten 2004 feststellen, dass sich das Advanced Trauma Life Support-Konzept (ATLS) und die Durchführung einer GKCT gut miteinander vereinbaren lassen [14]. Stengel et al. konnten in ihrer Analyse von knapp 1000 Patienten erstmals exakte Daten zur Sensitivität und Spezifität der GKCT beim Schwerverletzten vorlegen. Eine Gesamt-Sensitivität von mehr als 80 % und eine Gesamt-Spezifität von über 97 % belegen eine hohe diagnostische Sicherheit, wenngleich, insbesondere bei abdominalen Verletzten Unsicherheiten bestehen können [30].

Nicht zuletzt konnte Fakler eine Rate von 43,3 % traumaunabhängiger Zufallsbefunde im initialen GKCT feststellen. Davon hatten immerhin 6,7 % eine hohe klinischer Relevanz [31].

Lee et al. konnten in einer jüngst publizierten Kosten-Nutzanalyse feststellen, dass die GKCT deutlich kosteneffektiver im Vergleich zu selektiven Organ-CTs ist. Er berechnet in seinem Modell Gesamtkosten von etwa 15.000 US-Dollar für das GKCT im Vergleich zu 17.000 US-Dollar für selektive Organ-CTs.

### Mortalität

Nach ersten Hinweisen und Trends, dass sich die Durchführung einer Ganzkörper-

per-CT positiv auf das Überleben auswirken könnte [10, 11], konnte im Jahr 2009 erstmals der sichere Nachweis erbracht werden, dass dem tatsächlich so ist [32]. Seitdem konnte dieser für das Überleben günstige Effekt von zahlreichen Arbeitsgruppen bestätigt werden. Vor kurzem sind 3 Metaanalysen publiziert worden, die dies ebenfalls deutlich untermauern [22, 33, 34]. Jiang et al. beispielsweise konnten aufgrund der Analyse von 9 Studien zu diesem Thema nachweisen, dass die Durchführung einer Ganzkörper-CT im Rahmen der Primärdiagnostik Schwerverletzter mit einer Odds Ratio (OR) von 0,66 zugunsten der Zielvariable „Überleben“ besteht (gepoolte Daten,  $p = 0,001$ ). Das bedeutet, dass sich bei Durchführung einer GKCT die Chance zu überleben um 34 % erhöht. Ähnliche günstige Odds Ratios zugunsten der GKCT konnten auch Hajibandeh et al. und Caputo et al. herausfinden (OR 0,69 bzw. 0,75) [33, 34].

Kam et al. beschreiben kritisch die Durchführung einer GKCT als potenziellen „tunnel to death“ bei instabilen Patienten [35]. Aufgrund der aktuellen Evidenz lässt sich die Ganzkörper-CT jedoch treffender mit Jiang et al. als „circle of life“ beschreiben [22].

### Was ist neu?

#### Ergebnisse aus Metaanalysen

Als neu kann man bezeichnen, dass sich die Mortalitätsvorteile der Ganzkörper-CT jetzt auch in Metaanalysen nachweisen ließen. Die 3 Arbeiten von Jiang et al., Caputo et al. und Hajibandeh stellen dies überzeugend dar [22, 33, 34].

#### Anwendung bei hämodynamisch instabilen Patienten

Als neu kann man ferner bezeichnen, dass sich entgegen der weitverbreiteten Auffassung die Ganzkörper-CT auch bei hämodynamisch instabilen Patienten sicher anwenden lässt. Bisher wurde dieses Vorgehen abgelehnt, ohne dass dafür oder dagegen Daten vorlagen. Eine Analyse von 16.719 Patienten des TraumaRegisters der DGU ergab signifikante Überlebensvorteile für Patienten im Schock [20]. In der Gruppe der 4280 Patienten im moderaten Kreislaufschock (systolischer Blutdruck 90–110 mmHg) war die Mortalitätsrate bei den Patienten ohne GK-CT 22,6 % verglichen mit 18,1 % bei den Patienten

mit GKCT ( $p < 0,001$ ). Noch stärker war der Effekt bei den Patienten im schweren Schock (systolischer Blutdruck  $< 90$  mmHg). Hier war die Mortalitätsrate bei den Patienten ohne GK-CT 54,9 % verglichen mit 42,1 % bei den Patienten mit GKCT ( $p < 0,001$ ). Dieser Effekt blieb auch nach Adjustierung für den Verletzungsschweregrad hochsignifikant. Somit kann festgehalten werden, dass die Durchführung einer GKCT insbesondere bei instabilen Patienten einen positiven Effekt zeigt. Es scheint so zu sein, dass sich hierdurch die Ursache des Schockzustands am besten detektieren lässt. Die umfassende und rasche Kenntnis des kompletten Verletzungsmusters lässt offensichtlich am besten die Entscheidung zu, ob und welche Notfalloperationen durchzuführen sind. Betont werden muss, dass die Voraussetzung hierfür ein hoher Organisationsgrad des Traumatteams sein muss. Im Falle von schlecht organisierten Traumatteams oder großen Entfernungen zum CT sollte diese Art der Diagnostik bei instabilen Patienten nicht durchgeführt werden [20].

### Lokalisation des CTs

Zur Klärung der Frage, wo das CT idealerweise lokalisiert sein sollte, liegen nun auch Daten für Schwerverletzte vor. Bisher lagen hier die Daten von Saltzherr et al. vor [36]. Saltzherr verglich in einer randomisierten Studie 1124 Traumapatienten in Holland, die entweder in ein Traumazentrum, wo eine konventionelle radiologische Diagnostik mittels Röntgen Thorax, Becken, Wirbelsäule und FAST durchgeführt wurde, verbracht wurden, mit Patienten, die in ein Traumazentrum verbracht wurden, wo initial im Schockraum eine GKCT-Diagnostik durchgeführt wurde. Die Unterschiede waren im Hinblick auf den Zeitbedarf signifikant günstiger für die CT-im-Schockraum-Gruppe (Abb. 2). Im Hinblick auf die Mortalität ergaben sich keine Unterschiede. Erwähnt werden muss hier jedoch, dass es sich in diesem Kollektiv überwiegend um Leichtverletzte mit einem mittleren ISS von 6,5 Punkten handelte. In der Subgruppe der Schwerverletzten ergab sich lediglich der Trend für einen Mortalitätsvorteil der GKCT-Gruppe [36].

Erstautor	Jahr	N	Studiendesign	Evidenzstufe <sup>§</sup>	Kernaussage
Löw [9]	1997	27	Fallserie	III	Spiral-CT zuverlässig
Ruchholtz [39]	2002	480	Fallserie	III	Hohe Strahlenbelastung durch GKCT, verzögert diagnostizierte Läsionen waren selten; möglicher Zeitverlust bei instabilen Patienten
Watura [25]	2004	k.A.	Review	III	Hohe diagnostische Zuverlässigkeit durch GKCT
Kanz [14]	2004	125	Fallserie	III	GKCT mit ATLS kompatibel
Brown [26]	2005	236	Fallserie	III	Hohe diagnostische Sicherheit bei Wirbelkörperfrakturen
Salim [29]	2006	1000	Fallserie	III	19 % Änderung des Behandlungsregimes durch GKCT
Sampson [24]	2006	296	Fallserie	III	Zeitersparnis, hohe diagnostische Zuverlässigkeit und Genauigkeit durch GKCT
Deunk [28]	2007	106	Fallserie	III	34 % Änderung des Behandlungsregimes durch GKCT
Wurmb [16]	2007	120	Fallserie	III	Übertriage in 30 %, Untertriage in 6% bei GKCT
Maurer [59]	2008	275	Fallserie	III	Gute Detektion von potenziell lebensbedrohlichen Verletzungen durch GKCT im Vergleich zur konventionellen Diagnostik
Hoffstetter [60]	2008	304	Fallserie	III	Detektion von relevanten nicht-verletzungsbedingten (Zufalls-) Diagnosen
Tillou [61]	2009	284	Fallserie	III	Übersehen von relevanten Verletzungen ohne GKCT, Verletzungsausschluss bei potenziell Schwerverletzten, Verweis auf günstigen Effekt auf Klinikressourcen
Lee [18]	2009	428	Fallserie	III	GKCT im Schockraum: hohe Sicherheit
Ramirez [62]	2009	306	Fallserie	III	GKCT bei stabilen Patienten mit penetrierendem Trauma sicher anwendbar
Deunk [27]	2009	50	Fallserie	III	40 % Änderung des Behandlungsregimes durch GKCT
Smith [63]	2011	265	Prospective single-cohort study	IIa	Übersehen von relevanten Verletzungen ohne GKCT
Smith [64]	2011	208	Retrospektive Kohortenstudie	III	Keine unerwünschten Effekt durch GKCT
Stengel [30]	2012	982	Prospektive Kohortenstudie	IIa	GKCT: Sensitivität > 80 %, Spezifität > 97,4 %
Eurin [65]	2012	177	Retrospektive Kohortenstudie	III	„Missed diagnoses (minor injuries)“ in 47 % im initialen radiologischen Befund (hot report)
Huber-Wagner [20]	2013	16719	Retrospektive Kohortenstudie	IIa	GKCT auch bei Patienten mit hämodynamischer Instabilität (Schock) sicher durchführbar
Hsiao [66]	2013	660	Prospektive Kohortenstudie	IIa	Evaluierte Indikatoren für GKCT: Alter > 65, Männer, GCS < 9, Rrsys < 90, Sturz > 5 m, Fahrradfahrer angefahren
Huber-Wagner [37]	2014	8004	Retrospektive Kohortenstudie	IIa	Entfernung vom Schockraum zum CT über 50 m ungünstig
Fakler [31]	2014	534	Retrospektive Kohortenstudie	III	43,3 % traumaunabhängige Zufallsbefunde im initialen GKCT, davon 6,7 % mit hoher klinischer Relevanz
Lee [67]	2014	-	Kosten-Nutzen-Analyse	IIb	GKCT ist deutlich kosteneffektiver im Vergleich zu selektiven Organ-CTs

<sup>§</sup> Evidenzgraduierung nach AHCPR (US Agency for Health Care Policy and Research); GKCT (Ganzkörper-Computertomografie)

**Tabelle 2** Überblick über die wichtigsten Arbeiten zum Thema Ganzkörper-Computertomografie beim Polytrauma im Hinblick auf die Diagnostische Sicherheit.

Erstautor	Jahr	N	Studiendesign	Evidenzstufe <sup>§</sup>	Kernaussage
Scherer [10]	1999	111	Retrospektive Kohortenstudie	IV	Tendenz (nicht signifikant) zu einer verringerten Mortalität bei GKCT
Klöppel [11]	2002	320	Fallserie	III	4 % Reduktion der Mortalität bei GKCT (deskriptiv)
Weninger [17]	2007	370	Retrospektive Kohortenstudie	III	Kein Unterschied zwischen GKCT- und Non-GKCT-Gruppe in Bezug auf Mortalität
Huber-Wagner [32]	2009	4621	Retrospektive Kohortenstudie	Ila	Erstmaliger Nachweis eines positiven Effekts der GKCT auf die Überlebenswahrscheinlichkeit
Kanz [23]	2010	4817	Retrospektive Kohortenstudie	Ila	Signifikanter, positiver Effekt auf Überleben durch FACTT
Wurmb [54]	2011	318	Retrospektive Kohortenstudie	III	Kein Unterschied zw. GKCT- und Non-GKCT-Gruppe in Bezug auf Mortalität
Hutter [68]	2012	851	Retrospektive Kohortenstudie	Ila	Signifikant erniedrigte Mortalität in GKCT-Gruppe
Yeguiayan [69]	2012	1950	Multizentrische Kohortenstudie	Ila	Signifikant höheres Überleben in der GKCT-Gruppe
Kimura [70]	2013	5208	Multizentrische, retrospektive Kohortenstudie	Ila	Mortalität in der GKCT-Gruppe signifikant niedriger
Healy [21]	2013	8180	Metaanalyse	Ia	Kein Unterschied zw. GKCT- und Non-GKCT-Gruppe in Bezug auf Mortalität
Huber-Wagner [20]	2013	16719	Retrospektive Kohortenstudie	Ila	Signifikant höheres Überleben in der GKCT-Gruppe, Signifikant höheres Überleben mit GKCT auch bei Patienten mit hämodynamischer Instabilität (Schock)
Wada [71]	2013	152	Retrospektive Kohortenstudie	III	Durchführung einer GKCT vor Blutungskontrolle mit signifikant höherem Überleben assoziiert
Hajibandeh [34]	2014	34468	Metaanalyse	Ia	Signifikanter Überlebensvorteil für GKCT (pooled OR 0,69), d.h. Chance zu Überleben steigt um 31 % mit GKCT
Caputo [33]	2014	25782	Metaanalyse	Ia	Signifikanter Überlebensvorteil für GKCT (pooled OR 0,75), d.h. Chance zu Überleben steigt um 25 % mit GKCT
Jiang [22]	2014	14075	Metaanalyse	Ia	Signifikanter Überlebensvorteil für GKCT (pooled OR 0,66), d.h. Chance zu Überleben steigt um 34 % mit GKCT

<sup>§</sup> Evidenzgraduierung nach AHCPR (US Agency for Health Care Policy and Research); GKCT (Ganzkörper-Computertomografie)

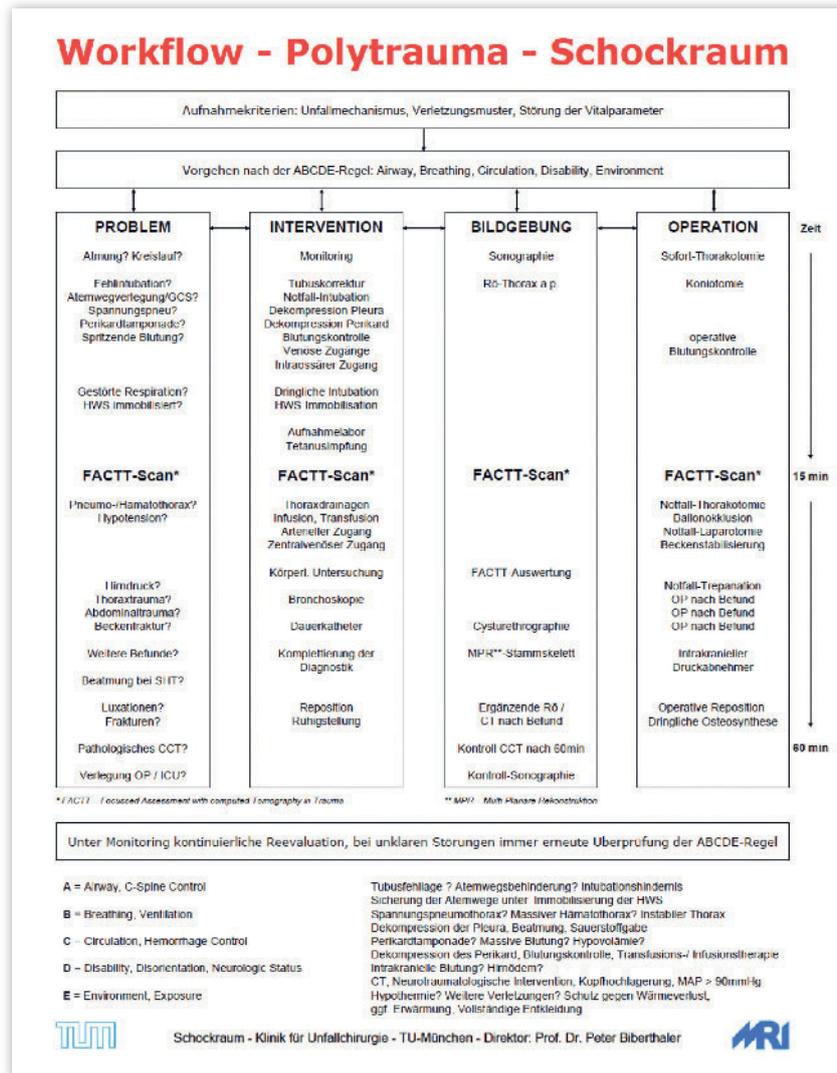
**Tabelle 3** Überblick über die wichtigsten Arbeiten zum Thema Ganzkörper-Computertomografie beim Polytrauma im Hinblick auf die Mortalität.

Eine aktuelle Auswertung des TraumaRegisters der DGU konnte nun erstmals den Nachweis erbringen, dass eine Lokalisation des CTs im Schockraum bzw. eine nahe Lokalisation < 50 m zum Schockraum einen positiven Effekt auf die Überlebenswahrscheinlichkeit hat im Vergleich zu einer weiten Entfernung von > 50 Metern [37]. In einem logistischen Regressionsmodell war die nahe Entfernung zum CT-Schockraum ein unabhängiger positiver Prädiktor für das Überleben. Die Autoren schließen aus ihrer Arbeit, dass im Falle von Um- oder Neubauten von Notaufnahmen das CT idealerweise im bzw. nahe am Schockraum baulich integriert werden sollte.

### Strahlenbelastung

Das Thema Strahlenbelastung durch eine Ganzkörper-Computertomografie wird sehr kontrovers diskutiert [38, 39]. Zur Abschätzung kann eine Gesamtdosis von 10–20 mSv für eine Ganzkörper-Computertomografie, 5–16 mSv für eine selektive Organ-CT und 2 mSv für eine konventionelle Röntgen-Traumaserie (Thorax, gesamte Wirbelsäule und Becken) angenommen werden [38, 40, 41]. Wedegärtner konnte zeigen, dass sich in der häufigen diagnostischen Konstellation beim Polytrauma, mit zunächst konventioneller Röntgendiagnostik im Rahmen des Primary survey

und befundabhängig ergänzender organselektiver Computertomografien, die effektiven Dosen im Vergleich zur primären GKCT kumulativ nahezu entsprechen können [42]. Zudem werden polytraumatisierte Patienten, abgesehen von der Notfalldiagnostik, im Rahmen der stationären Behandlung ganz überwiegend wiederholt radiologischen Untersuchungen ausgesetzt. Weiter gilt es unter diesem Aspekt zu berücksichtigen, dass Untersuchungen zur Strahlenexposition nach Trauma die effektive Gesamtstrahlendosis gegenüber dosimetrischen Messungen um bis zu 25 % unterschätzen können [43].



**Abbildung 1** CT-basierter Schockraumalgorithmus der Klinik für Unfallchirurgie, Klinikum rechts der Isar der TU München. Angestrebt wird eine Ganzkörper-CT innerhalb der ersten 15 Minuten.

Aktuelle gemittelte Daten des Bundesamts für Strahlenschutz für Deutschland zeigen, dass die Spanne der Strahlenbelastung für ein CT-Abdomen mit Kontrastmittel zwischen 8,8 und 16,4 mSv und die für CT-Thorax zwischen 4,2 und 6,7 mSv je nach Protokoll liegen können [44].

Bei unterschiedlicher Patientengröße mit entsprechendem Scan-Volumen ist die effektive Gesamtstrahlendosis stark abhängig von den CT-Einstellungsparametern und verwendeten Scan-Protokollen [45, 46]. Wenn man die unterschiedlichen Ganzkörper-Computertomografie-Protokolle vergleicht, zeigt sich beim Single-pass-Protokoll eine geringere Strahlenbelastung und reduzierte Scan-Zeit ohne relevanten bildgebenden Qualitätsverlust gegenüber den seg-

mentierten, partiell überlappenden Untersuchungen [45, 46].

Dennoch geht die GKCT mit einer erhöhten Strahlenbelastung gegenüber selektiven Körperregionen- oder Organ-Computertomografien einher. Die Erzeugung potenzieller Strahlenschäden muss gegen eine bessere und umfassendere diagnostische Aussagekraft bei lebensbedrohlichem Verletzungsmuster abgewogen werden. Die Strahlendosis durch eine Ganzkörper-Computertomografie resultiert für einen 45-jährigen in einem geschätzten Lebenszeit-Krebs-Risiko von 1:1250 entsprechend 0,08 % [40]. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Vergleichsgruppe (kein GKCT) durchaus auch einer gewissen Basisstrahlendosis durch konventio-

nelles Röntgen und selektive Organ-CTs ausgesetzt ist. Somit ist das von Brenner genannte Risiko als eher zu hoch anzusehen.

Um die erhöhte Strahlenexposition zu rechtfertigen, sollten idealerweise die Sicherheit und der diagnostische Gewinn in einer Verbesserung der Überlebensrate resultieren. Salim et al. konnten zeigen, dass die Befunde aus der GKCT bei 1000 untersuchten Patienten ohne erkennbare äußere Verletzungen in 19 % der Fälle in einer Änderung des geplanten weiteren therapeutischen Vorgehens resultierte [29]. In einer Untersuchung von Deunk fanden sich in 74 % des untersuchten Kollektivs nach stumpfem Trauma (konventionelles Röntgen, Sonografie) durch eine ergänzende CT-Thorax und CT-Abdomen zusätzliche, unerwartete pathologische Befunde, welche befundabhängig in bis zu 34 % zu einer Änderung des Therapieregimes führten [28].

### Strahlenreduktion durch moderne CT-Scanner und iterative Protokolle

Durch neue CT-Gerätegenerationen und die Anwendung iterativer Protokolle lässt sich die Strahlenbelastung eines Ganzkörper-CTs im Vergleich zu den oben erwähnten Angaben deutlich reduzieren.

Eine Reduktion der Strahlenbelastung um 30–80 % (!) ist hierdurch möglich [47–49]. Aus diesem Grund sollte die effektive Dosis für eine Ganzkörper-CT unter modernen Aspekten weniger mit 10–20 mSv [40] als vielmehr mit Werten um 5–10 mSv angegeben werden [47–50].

Angesichts dieser Angaben erscheint das Risiko einer strahlenbedingten Langzeitkomplikation reduziert zu sein und gleichzeitig durch den gewonnenen positiven Effekt auf das Überleben überschätzt zu werden [20].

### Armpositionierung

Die Strahlenbelastung ist bei der Positionierung der Arme entlang des Körperstamms höher als wenn die Arme über den Kopf ausgelagert werden. Der Effekt macht etwa 3 mSv aus [50]. Prak-

tisch gesehen kann man so vorgehen, dass man bei hämodynamisch stabilen Patienten die Arme, wenn verletzungsmusterbedingt möglich, über den Kopf auslagert. Bei instabilen Patienten steht die rasche Diagnostik im Vordergrund, sodass die Arme bei diesen Patienten entlang des Körperstamms zugunsten der Zeitersparnis belassen werden. Selbst das Hochlagern eines Arms über den Kopf bringt schon eine relevante Reduktion der Strahlenbelastung mit sich [20, 50].

### Komplikationsvermeidung

Die Anwendung der Ganzkörper-Computertomografie muss in ein Konzept eingebettet sein, das von allen am Polytraumamanagement beteiligten Disziplinen durchdacht wurde. Andernfalls könnten ungewollte, schädliche Effekte wie Verzögerungen in der Diagnostik oder der Applikation erforderlicher Therapien resultieren. Siebers konnte belegen, dass auch unter erfolgreicher Anwendung der GKCT Fehler bzw. unbeabsichtigte Abweichungen vom Protokoll während der Schockraumphase auftreten können. Es gilt, derartige Fehlermöglichkeiten zu kennen und durch transparent kommunizierte, interdisziplinäre Absprachen zu minimieren bzw. eliminieren [51]. Klare und von allen beteiligten Disziplinen konsentrierte Algorithmen (z.B. Abb. 1) sind hier hilfreich und stellen den formalen Ausweg aus oben genannten potenziellen unerwünschten Konstellationen dar [51, 52].

### Ausblick

Weitere Untersuchungen werden in Zukunft folgende Fragen zu klären haben:

1. Was sind die exakten Kriterien/Indikationen zur Durchführung einer Ganzkörper-Computertomografie beim Polytrauma. Wie soll man bei wachen und ansprechbaren oder nicht offensichtlich schwerverletzten Patienten vorgehen?
2. Wie hoch ist die exakte, tatsächliche Strahlenbelastung durch ein GKCT? Wie ist die kumulative Strahlenbelastung eines Traumatpatienten bis zur Krankenhausentlassung einzuschätzen?



**Abbildung 2** Schockraumversorgung am Klinikum rechts der Isar mit baulich in den Schockraum integrierten CT.

3. Welchen Einfluss spielt der Einfluss Zeitpunkt der GKCT (sofort nach Schockraumaufnahme vs. postprimär nach Stabilisierung des Patienten)?

### Fazit

- Für die Ganzkörpercomputertomografie (GKCT) ist in zahlreichen Untersuchungen eine hohe Prozessqualität im Sinne eines deutlichen Zeitvorteils und einer hohen diagnostischen Sicherheit nachgewiesen worden.
- Nach dem Jahresbericht des Trauma-Registers der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU) verwenden derzeit etwa 70 % aller am Trauma-Register teilnehmenden Kliniken die GKCT als Diagnostikum im Rahmen der Schockraumversorgung.
- Die Durchführung einer GKCT ist mit den ATLS-Prinzipien gut kompatibel.
- Für die GKCT ist in zahlreichen Studien ein signifikanter Vorteil für das Überleben nachgewiesen worden.
- Die Integration der GKCT in das Schockraummanagement erfordert einen hohen Grad an Organisation und Strukturierung der Arbeitsabläufe des behandelnden Notfallteams.
- Die GKCT ist auch bei hämodynamisch instabilen Patienten anwendbar

und zeigt insbesondere hier einen positiven Effekt auf das Überleben.

- Um die Mortalität weiter zu senken und um unnötige interhospitalen Transferzeiten zu reduzieren, empfiehlt sich die bauliche Integration von CT-Scannern nahe am oder im Schockraum.
- Trotz berechtigter Einwände zur Strahlenbelastung spricht die reale Erhöhung der Überlebenschancen durch die GKCT bzw. die daraus gewonnenen Informationen und deren Effekt auf die Behandlung im Sinne einer Risiko-Nutzenabwägung klar für die Anwendung der GKCT bei Polytraumatisierten.
- Moderne CT-Geräte und die Anwendung iterativer Protokolle ermöglichen eine Reduktion der Strahlenbelastung der GKCT um 30–80 % auf Werte um 5–10 mSv.

**Interessenskonflikt:** Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des Internationalen Committee of Medical Journal Editors besteht. OUP

#### Korrespondenzadresse

PD Dr. med. Stefan Huber-Wagner  
Klinikum rechts der Isar  
Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie  
Technische Universität München  
Ismaningerstr. 22  
81675 München

**Literatur**

1. Kalender WA, Seissler W, Klotz E, Vock P. Spiral volumetric CT with single-breath-hold technique, continuous transport, and continuous scanner rotation. *Radiology*, 1990. 176: 181–3
2. Taguchi K, Aradate H, Algorithm for image reconstruction in multi-slice helical CT. *Med Phys*, 1998. 25: 550–61.
3. Fox SH, Tanenbaum LN, Ackelsberg S, He HD, Hsieh J, Hu H. Future directions in CT technology. *Neuroimaging Clin N Am*, 1998. 8: 497–513
4. Kligenbeck-Regn K, Schaller S, Flohr T, Ohnesorge B, Kopp AF, Baum U, Sub-second multi-slice computed tomography: basics and applications. *Eur J Radiol*, 1999. 31: 110–24
5. Leidner B, Beckman MO. Standardized whole-body computed tomography as a screening tool in blunt multitrauma patients. *Emerg Radiol*, 2001. 8: 20–28
6. Philipp MO, Kubin K, Hormann M, Metz VM. Radiological emergency room management with emphasis on multidetector-row CT. *Eur J Radiol*, 2003. 48: 2–4
7. Ptak T, Rhea JT, Novelline RA, Experience with a continuous, single-pass whole-body multidetector CT protocol for trauma: the three-minute multiple trauma CT scan. *Emerg Radiol*, 2001. 8: 250–256
8. Rieger M, Sparr H, Esterhammer R et al. CT diagnosis of acute thoracic and abdominal trauma. *Anaesthesist*, 2002. 51(10): 835–42
9. Löw R, Duber C, Schweden F, Lehmann L, Blum J, Thelen M, Whole body spiral CT in primary diagnosis of patients with multiple trauma in emergency situations. *Rofo*, 1997. 166: 382–8
10. Scherer R, Rupp P, Sebisch E, Höcherl E, Preclinical and clinical management of major trauma patients. *Rettungsdienst*, 1999. 12: 36–43
11. Klöppel R, Schreiter D, Dietrich J, Josten C, Kahn T, Early clinical management after polytrauma with 1 and 4 slice spiral CT. *Radiologe*, 2002. 42: 541–6
12. Bernhard M, Becker TK, Nowe T et al. Introduction of a treatment algorithm can improve the early management of emergency patients in the resuscitation room. *Resuscitation*, 2007. 73: 362–73
13. Hilbert P, zur Nieden K, Hofmann GO, Hoeller I, Koch R, Stuttmann R, New aspects in the emergency room management of critically injured patients: a multi-slice CT-oriented care algorithm. *Injury*, 2007. 38: 552–8
14. Kanz KG, Korner M, Linsenmaier U et al. Priority-oriented shock trauma room management with the integration of multiple-view spiral computed tomography. *Unfallchirurg*, 2004. 107: 937–44
15. Wurmb TE, Fruhwald P, Hopfner W, Whole-body multislice computed tomography as the first line diagnostic tool in patients with multiple injuries: the focus on time. *J Trauma*, 2009. 66(3): p. 658–65
16. Wurmb TE, Fruhwald P, Hopfner W, Roewer N, Brederlau J, Whole-body multislice computed tomography as the primary and sole diagnostic tool in patients with blunt trauma: searching for its appropriate indication. *Am J Emerg Med*, 2007. 25: 1057–62
17. Weninger P, Mauritz W, Fridrich P, Spitaler R, Figl M, Kern B, Hertz H, Emergency room management of patients with blunt major trauma: evaluation of the multislice computed tomography protocol exemplified by an urban trauma center. *J Trauma*, 2007. 62: 584–91
18. Lee KL, Graham CA, Lam JM, Yeung JH, Ahuja AT, Rainer TH, Impact on trauma patient management of installing a computed tomography scanner in the emergency department. *Injury*, 2009. 40: 873–5
19. Annual Report of the Trauma Registry of the German Trauma Society (DGU), 2014, Committee on Emergency Medicine, Intensive and Trauma Care (Sektion NIS) – German Trauma Society (DGU): Cologne
20. Huber-Wagner S, Biberthaler P, Haberle S. Whole-body CT in haemodynamically unstable severely injured patients—a retrospective, multicentre study. *PLOS ONE*, 2013. 8: e68880
21. Healy DA, Hegarty A, Feeley J, Clarke-Moloney M, Grace PA, Walsh SR, Systematic review and meta-analysis of routine total body CT compared with selective CT in trauma patients. *Emerg Med J*, 2014. 31: 101–8
22. Jiang L, Ma Y, Jiang S et al. Comparison of whole-body computed tomography vs selective radiological imaging on outcomes in major trauma patients: a meta-analysis. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2014. 22(1): p. 54.
23. Kanz KG, Paul AO, Lefering R. Trauma management incorporating focused assessment with computed tomography in trauma (FACTT) – potential effect on survival. *J Trauma Manag Outcomes*, 2010. 4: 4
24. Sampson MA, Colquhoun KB and Hennessey NL, Computed tomography whole body imaging in multi-trauma: 7 years experience. *Clin Radiol*, 2006. 61: 365–9
25. Watura R, Cobby M, Taylor J, Multislice CT in imaging of trauma of the spine, pelvis and complex foot injuries. *Br J Radiol*, 2004. 77 Spec No 1: S46–63
26. Brown CV, Antevil JL, Sise MJ, Sack DI, Spiral computed tomography for the diagnosis of cervical, thoracic, and lumbar spine fractures: its time has come. *J Trauma*, 2005. 58: 890–5; discussion 895–6
27. Deunk J, Brink M, Dekker HM et al. Routine versus selective multidetector-row computed tomography (MDCT) in blunt trauma patients: level of agreement on the influence of additional findings on management. *J Trauma*, 2009. 67: 1080–6
28. Deunk J, Dekker HM, Brink M, Vugt VR, Edwards MJ, Vugt VAB, The Value of Indicated Computed Tomography Scan of the Chest and Abdomen in addition to the Conventional Radiologic Work-up for Blunt Trauma Patients. *J Trauma*, 2007. 63: 757–763
29. Salim A, Sangthong B, Martin M, Brown C, Plurad D, Demetriades D, Whole body imaging in blunt multisystem trauma patients without obvious signs of injury: results of a prospective study. *Arch Surg*, 2006. 141: 468–73; discussion 473–5
30. Stengel D, Ottersbach C, Matthes G et al. Accuracy of single-pass whole-body computed tomography for detection of injuries in patients with major blunt trauma. *CMAJ*, 2012. 184: 869–76
31. Fakler JK, Ozkurtul O, Josten C, Retrospective analysis of incidental non-trauma associated findings in severely injured patients identified by whole-body spiral CT scans. *Patient Saf Surg*, 2014; 8: 36
32. Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick LM et al. Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: A retrospective, multicentre study. *Lancet*, 2009. 373: 1455–61
33. Caputo ND, Stahmer C, Lim G, Shah K, Whole-body computed tomographic scanning leads to better survival as opposed to selective scanning in trauma patients: A systematic review and meta-analysis. *J Trauma Acute Care Surg*, 2014. 77: 534–9
34. Hajibandeh S, Hajibandeh S. Systematic review: effect of whole-body computed tomography on mortality in trauma patients. *J Inj Violence Res*, 2014; in press
35. Kam CW, Lai CH, Lam SK, So EL, Lau CL, Cheung KH, What are the ten new commandments in severe polytrauma management? *World J Emerg Med*, 2010; 1: 85–92
36. Saltzherr TP, Bakker FC, Beenen LF, Dijkgraaf MG, Reitsma JB, Goslings JC, Randomized clinical trial comparing the effect of computed tomography in the trauma room versus the radiology department on injury outcomes. *Br J Surg*, 2012; 99 Suppl 1: 105–13
37. Huber-Wagner S, Mand C, Ruchholtz S, et al. Effect of the localisation of the CT scanner during trauma resuscitation on survival—A retrospective, multicentre study. *Injury*, 2014; 45 Suppl 3: S76–82
38. Anderiesz C, Elwood JM, McAvoy BR, Kenny LM, Whole-body computed to-

- mography screening: looking for trouble? *Med J Aust*, 2004; 181: 295–6
39. Ruchholtz S, Waydhas C, Schroeder T, Piepenbrink K, Kuhl H, Nast-Kolb D. The value of computed tomography in the early treatment of seriously injured patients. *Chirurg*, 2002; 73: 1005–12
40. Brenner DJ, Elliston CD, Estimated radiation risks potentially associated with full-body CT screening. *Radiology*, 2004; 232: 735–8
41. Heyer CM, G. Rduch, Kagel T et al. Prospective randomized trial of a modified standard multislice CT protocol for the evaluation of multiple trauma patients. *Rofo*, 2005; 177: 242–9
42. Wedegartner U, Lorenzen M, Nagel HD, Weber C, Adam G, Diagnostic imaging in polytrauma: comparison of radiation exposure from whole-body MSCT and conventional radiography with organ-specific CT. *Rofo*, 2004; 176: 1039–44
43. Tien HC, Tremblay LN, Rizoli SB et al. Radiation exposure from diagnostic imaging in severely injured trauma patients. *J Trauma*, 2007; 62: 151–6
44. Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2012 : Unterrichtung durch die Bundesregierung, in: Parlamentsbericht 2012, Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
45. Fanucci, E, Fiaschetti V, Rotili A, Floris R, Simonetti G. Whole body 16-row multislice CT in emergency room: effects of different protocols on scanning time, image quality and radiation exposure. *Emerg Radiol*, 2007; 13: 251–7
46. Ptak T, Rhea JT, Novelline RA. Radiation dose is reduced with a single-pass whole-body multi-detector row CT trauma protocol compared with a conventional segmented method: initial experience. *Radiology* 2003; 229: 902–5
47. Hara AK, Paden RG, Silva AC, Kujak JL, Lawder HJ, Pavlicek W. Iterative reconstruction technique for reducing body radiation dose at CT: feasibility study. *AJR Am J Roentgenol*, 2009; 193: 764–71
48. Martinsen AC, Saether HK, Hol PK, Olsen DR, Skaane P. Iterative reconstruction reduces abdominal CT dose. *Eur J Radiol*, 2012; 81: 1483–7
49. Noel PB, Renger B, Fiebich M et al. Does iterative reconstruction lower CT radiation dose: evaluation of 15,000 examinations. *PLoS One* 2013; 8: e81141
50. Loewenhardt B, Buhl A, Gries CA et al. Radiation exposure in whole-body computed tomography of multiple trauma patients: bearing devices and patient positioning. *Injury*, 2012 43: 67–72
51. Siebers C, Stegmaier J, Kirchoff Cet al. Analysis of failure modes in multislice computed tomography during primary trauma survey. *Rofo* 2008; 180: 733–9
52. Siebers C, Huber-Wagner S, Ivanova N, Jacob B, Heindl B, Kanz KG. Emergency room management of severely injured patients – Analysis of avoidable deviations from the treatment algorithm. *Anaesthesist* 2009; 58): 1216–1222
53. Prokop A, Hotte H, Kruger K, Rehm KE, Isenberg J, Schiffer G. Multislice CT in diagnostic work-up of polytrauma. *Unfallchirurg*, 2006. 109: 545–50
54. Wurmb TE, Quaisser C, Balling H et al. Whole-body multislice computed tomography (MSCT) improves trauma care in patients requiring surgery after multiple trauma. *Emerg Med J*, 2011. 28: 300–4
55. Smith, C.M. and S. Mason, The use of whole-body CT for trauma patients: survey of UK emergency departments. *Emerg Med J*, 2012. 29(8): p. 630–4.
56. Sierink JC, Saltzherr TP, Reitsma JB, Van Delden OM, Luitse JS, Goslings JC, Systematic review and meta-analysis of immediate total-body computed tomography compared with selective radiological imaging of injured patients. *Br J Surg*, 2012; 99 Suppl 1: 52–8
57. Riepl C, Junghanns A, Gebhard F, Kraus M. Reduced emergency room time for trauma patients by integrated CT. *Z Orthop Unfall* 2013; 151: 168–72
58. Adiotomre A, Chopra A, Kirwadi A, Kotnis N, Results from the first year as a major trauma radiology unit in the UK. *Clin Radiol*, 2014; 69: 812–21
59. Maurer MH, Knopke S, and Schroder RJ, Added diagnostic benefit of 16-row whole-body spiral CT in patients with multiple trauma differentiated by region and injury severity according to the ATLS concept. *Rofo* 2008; 180: 1117–23
60. Hoffstetter P, Herold T, Daneschnejad M, et al. Non-trauma-associated additional findings in whole-body CT examinations in patients with multiple trauma. *Rofo*, 2008. 180: 120–6
61. Tillou A, Gupta M, Baraff LJ et al. Is the use of pan-computed tomography for blunt trauma justified? A prospective evaluation. *J Trauma*, 2009; 67: 779–87
62. Ramirez RM, Cureton EL, Ereso AQ et al. Single-contrast computed tomography for the triage of patients with penetrating torso trauma. *J Trauma* 2009; 67: 583–8
63. Smith CB, Barrett TW, Berger CL, Zhou C, Thurman RJ, Wrenn KD. Prediction of blunt traumatic injury in high-acuity patients: bedside examination vs computed tomography. *Am J Emerg Med* 2011; 29: 1–10
64. Smith CM, Woolrich-Burt L, Wellings R, Costa ML, Major trauma CT scanning: the experience of a regional trauma centre in the UK. *Emerg Med J* 2011; 28: 378–82
65. Eurin M, Haddad N, Zappa M et al. Incidence and predictors of missed injuries in trauma patients in the initial hot report of whole-body CT scan. *Injury*, 2012 43: 73–7
66. Hsiao KH, Dinh MM, McNamara KP et al. Whole-body computed tomography in the initial assessment of trauma patients: is there optimal criteria for patient selection? *Emerg Med Australas* 2013; 25: 182–91
67. Lee WS, Parks NA, Garcia A, Palmer BJ, Liu TH, Victorino GP. Pan computed tomography versus selective computed tomography in stable, young adults after blunt trauma with moderate mechanism: A cost-utility analysis. *J Trauma Acute Care Surg* 2014; 77: 527–33, discussion 533.
68. Hutter M, Woltmann A, Hierholzer C, Gartner C, Buhren V, Stengel D, Association between a single-pass whole-body computed tomography policy and survival after blunt major trauma: a retrospective cohort study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2011; 19: 73
69. Yeguiayan JM, Yap A, Freysz Met al. Impact of whole-body computed tomography on mortality and surgical management of severe blunt trauma. *Crit Care* 2012; 16: R101
70. Kimura A, Tanaka N, Whole-body computed tomography is associated with decreased mortality in blunt trauma patients with moderate-to-severe consciousness disturbance: a multicenter, retrospective study. *J Trauma Acute Care Surg* 2013; 75: 202–6
71. Wada D, Nakamori Y, Yamakawa K et al. Impact on survival of whole-body computed tomography before emergency bleeding control in patients with severe blunt trauma. *Crit Care*, 2013. 17: R178