Integrierte Bildgebung bei Polytrauma

Die Erstversorgung schwerverletzter und polytraumatisierter Patienten gehört neben der Rehabilitation zu den Kernaufgaben BG-licher Unfallkrankenhäuser.

Neben Angaben über den Unfallhergang, der ersten klinischen Untersuchung durch einen erfahrenen Unfallchirurgen und Mitbetreuung durch weitere klinische Disziplinen steht bei der Erstversorgung v. a. die bildgebende Diagnostik im Mittelpunkt des Interesses. Die Gewinnung verlässlicher entscheidungsrelevanter Befunddaten ist erforderlich. In der Vergangenheit dominierte die klassische Projektionsradiographie (Röntgendiagnostik) in 2 Ebenen. In den letzten Jahren sind Mischkonzepte mit zusätzlicher Schnittbilddiagnostik (Computertomographie) in die diagnostische Erstversorgung eingeführt worden. Mit der Weiterentwicklung der CT-Geräte, insbesondere der Spiral-Technologie (ESCT: Einzelschichtcomputertomographie) seit Anfang der 90er Jahre waren zwei wesentliche Grundentscheidungen bei der Erstversorgung erforderlich:

- Steht ein Neuro-Trauma im Vordergrund, so ist die Schnittbilddiagnostik mittels CT (z. B. CCT) als Erstes durchzuführen. Die weitere Bildgebung (Body-CT, Röntgen) schließt sich an.
- Steht das Body-Trauma im Vordergrund, so ist im Falle stabiler Kreislaufverhältnisse die Projektionsradiographie des Stammskeletts (HWS, BWS, LWS, Becken und Thorax) und ggf. der Extremitäten zuerst einzusetzen und im Gefolge die computertomographische Untersuchung anzuschließen.

Auf diese Weise konnten Befundnachweis und operationstaktische Überlegungen (CT) miteinander verbunden werden.

Trotz all dieser Fortschritte war der Herausforderung durch die kompletten Ver-

letzungsmuster (Knochen, intrakranielle und parenchymatöse Organverletzungen) und durch den bestehenden Zeitdruck nur hinreichend zu begegnen. Die Erfahrungen haben gezeigt, dass die Computertomogra-

Abb. 1 ▲ Grundrissplan der Klinik für bildgebende Diagnostik und Interventionsradiologie sowie der Notaufnahme (NFA) der BG-Kliniken Bergmannstrost Halle, Saale; rote Punkte: Modalitäten; rote Pfeile Transportwege von Schockraum zu den projektionsradiographischen und computertomographischen Untersuchungsräumen sowie zur Sonographie und ggf. Magnetresonanztomographie

Abb. 2 ▲ Zeitschema bei der Versorgung polytraumatisierter Patienten, nach Nast-Kolb et al. [1] und Waydhas et al. [2]

Abb. 3 ▲ Neudefinition des von Nast-Kolb et al. [1] und Waydhas et al. [2] publizierten Zeitschemas durch Multislice-CT: Akquisition der relevanten Befunddaten ausschließlich mittels Multislice-CT, nach Möglichkeit in Bravo-Phase; Charlie-Phase: weitere intensivmedizinische Versorgung des Patienten; zeitgleich Entscheidungsfindung aller chirurgischer Disziplinen und Komplettierung der Bildrekonstruktion durch radiologische Fachvertreter

phie prinzipiell eine Komplettdarstellung des gesamten Verletzungsmusters erlaubt. Sie steht damit in Konkurrenz zur Projektionsradiographie und der Sonographie. Der Zeitbedarf lag bislang jedoch zwischen 30 und 60 Minuten (Komplettuntersuchung, Komplettrekonstruktion und Bereitstellung des Bilddatenmaterials). Zudem waren erhebliche Transportwege und mehrfache Umlagerungen nötig (■ Abb. 1).

Die neuesten technischen Entwicklungen der Computertomographie haben in den letzten 3 Jahren die Spiraltechnik mit der Anordnung mehrerer Detektorzeilen (so genanntes Mehrzeilen-CT-MSCT) kombiniert. Entwicklungen von 16-Zeilen-Geräten, die in 0,5 Sekunden Rotationszeit einen Komplettdatensatz über 16 mm (16x1 mm) akquirieren können und damit

neben der langstreckigen Volumendarstellung vor allem eine exzellente Z-Achsen-Auflösung erlauben, machen Untersuchungen des Gesamtkörpers (z. B. Körpermaß 1,80 m) in ca. 90 Sekunden möglich.

Diese technischen Voraussetzungen haben wir zur Traumaversorgung mit folgenden Fragen verbunden:

- Wie kann die Mehrzeilen-CT in die Erstdiagnostik polytraumatisierter und schwerstverletzter Patienten integriert werden (work-flow-Fragen)?
- Ist die Integration einer CT-Untersuchungseinheit in den Schockraum sinnvoll?
- Ist eine alleinige Darstellung des gesamten Verletzungsmusters mittels computertomographischer Untersu-

chungstechniken sinnvoll und ausreichend?

- Innerhalb welcher Zeit und mit welchen Qualitätsanforderungen sind Sekundärrekonstruktionen der Extremitäten ersatzfähig gegenüber früherer projektionsradiographischen Untersuchungen (Extremitätendarstellung)?
- Ist der logistische Gewinn tatsächlich in einen Zeitgewinn bei der Versorgung des Patienten umsetzbar?
- Welche Untersuchungsprotokolle sind für ein derartiges Konzept erforderlich?

Ausgangssituation

Die Einflussgröße Zeit ist hinsichtlich des outcomes der Patienten der wesentlich bestimmende Faktor. In einer Studie der University of Pennsylvania vom März 2002 konnten bei 243 Patienten die Verlaufszeiten im Schockraum analysiert und hinsichtlich des letalen outcomes bestimmt werden. Bei einer Gesamletalitätsrate von 40% (schwerst- und polytraumatisierte Patienten!) stieg die Letalitätsrate alle 3 Minuten um 1%.

Unter dieser Voraussetzung würde eine Reduktion der Erstdiagnostikzeit von 60 auf 20 Minuten einer statistisch kalkulierbaren Reduktion der Letalitätsrate um 13 bis 15% entsprechen.

Lösungen

Variante 1: „Mischkonzept“ CT/Projektionsradiographie

Bisher erfolgte die bildgebende Diagnostik im Rahmen eines zeitlichen *Nacheinander* von

- Stabilisierung der Vitalfunktion
- bildgebender Diagnostik und
- Entscheidungsfindung.

Besonders erschwerend sind die erforderlichen Ortswechsel mit Umlagerungen der Patienten. Vor allem Letztere belasten die Patienten zusätzlich. Das von Nast-Kolb et al. [1] (■ Abb. 2) publizierte Zeitschema bildet die skizzierte Vorgehensweise ab. Eine (orientierende) Erstdiagnostik ist demnach frühestens innerhalb der ersten 5 Minuten mittels einer Thorax- und einer seitlichen HWS-Aufnahme und der Abdominalsonographie möglich.

Tabelle 1

Multislice-CT, grundsätzlicher Protokollvorschlag

Me- thode	Zeilen	16	
	Kollimation	1 mm	
	Rotations- zeit	0,5 s	
Bei- spiel	Körper- größe (z. B.)	1,80 m	1800
	Scan	16×1	mm
			1800 Scans

Kontrolluntersuchungen des Thorax nach z. B. Drainagelagen sowie Röntgenuntersuchungen des Stammskeletts und die Computertomographie des Schädels stehen (Charlie-Phase) frühestens nach 20 bis 30 Minuten zur Verfügung.

Variante 2: „Integratives Versorgungskonzept“

Primäres und ausschließliches Multislice-CT im Schockraum

Vor dem Hintergrund der Multislice-Technologie mit 16 Zeilen in Kombination mit einer aktiven Scanlänge von 1,75 m (Toshiba Aquilion) haben wir folgende workflow-Konzeption entwickelt:

- Übernahme des Patienten durch das Aufnahmeteam des Hauses – Dokumentation des Unfallhergangs und des bekannten Verletzungsmusters
- (zeitgleiche) Eingabe der Patientendaten zur Sicherstellung der bildgebenden Diagnostik mittels RIS/PACS-integrierter bildgebender Modalitäten und IT-basierter Laborprozeduren.
- Klassifikation der Verletzungsform (Einfachverletzung, Mehrfachverletzung, Schwerstverletzung und Polytrauma bzw. perakuter Notfall). Der Patient wird im Falle eines Polytraumas in den Schockraum verlegt. Hierfür wird exklusiv der Schockraum mit integriertem CT gewählt. Einschlusskriterien (Definition „Polytrauma“) sind:
 - nicht ansprechbarer Patient und/oder
 - Rasanztrauma.

Die genannten Schritte a–c erfolgen in der α -Phase (n. Nast-Kolb).

Trauma Berufskrankh 2005 · 7[Suppl 1]:S207–S213
DOI 10.1007/s10039-004-0970-x
© Springer Medizin Verlag 2005

R. Braunschweig · W. Wawro

Integrierte Bildgebung bei Polytrauma

Zusammenfassung

Für die bildgebende Diagnostik beim Polytrauma führte die Weiterentwicklung der Geräte zu einem immer breiteren Einsatz der Computertomographie. Die langen Untersuchungszeiten von 30–60 Minuten wurden bei den neuen Mehrzeilen-CT-Geräten (MSCT) entscheidend verkürzt. MSCT's machen Untersuchungen des Gesamtkörpers in etwa 90 s möglich. Somit ist die CT nunmehr auch ausschließlich in der Erstdiagnostik polytraumatisierter und schwerstverletzter Patienten einsetzbar. Der vorliegende Beitrag zeigt, dass dieser Einsatz sinnvoll ist und bei entsprechender Nutzung einen Zeitgewinn von bis zu 50% gegenüber bisherigen Konzepten ermöglicht. Das Outcome kann entscheidend verbessert werden. Die CT-Untersuchungseinheit sollte im Schockraum eingebunden sein.

Der bisherige Konsekutivprozess von Diagnostik und Versorgung geht damit in einen synchronisierten Simultanprozess von bildgebender Diagnostik, intensivmedizinischer Erstversorgung und chirurgisch orientierter Entscheidungsfindung über. Qualitativer Endpunkt des Gesamtkonzepts ist die frühzeitige Bereitstellung aller erhobenen Befunddaten mittels Bilddatenmanagementprogrammen (Web-Server-Bildverteilung) und hochleistungsfähiger Netzwerkinfrastruktur.

Schlüsselwörter

Mehrzeilen-CT · Erstdiagnostik polytraumatisierter und schwerstverletzter Patienten · Zeitgewinn · Bilddatenmanagementprogramm · Netzwerkinfrastruktur

Integrated imaging in multiple injury

Abstract

Continuing developments in CT equipment have led to increasingly wide use of computed tomography. The relatively long periods of 30–60 min originally needed for each examination have been substantially shortened with the modern multiple-slice CT machines. These make it possible to perform a whole-body examination in about 90 s. From now on, then, it seems that CT can exclusively be used in the initial diagnostic examinations of polytraumatised patients with extremely serious injuries. This paper shows that this is a worthwhile application of CT and that when it is appropriately used CT can now save about 50% of the time previously required for diagnosis, with a correspondingly decisive effect on outcome. With this in mind, the CT scanner should be incorporated in the shock room. It is useful

for visualisation of the overall pattern of injury and is quite adequate for this purpose. This means diagnosis has been followed by care, is giving way to a synchronised procedure with diagnostic imaging, initial intensive care and surgically oriented decision-making all taking place simultaneously. The qualitative end-point of this overall concept is early availability of all findings ascertained by means of an image data management program and a highly potent network infrastructure.

Keywords

Multiple-slice CT · Initial diagnosis in the polytraumatised patient with extremely serious injuries · Time saving · Image data management program · Network infrastructure

- d) Lagerung des Patienten auf dem CT-Tisch (gleichermaßen Versorgungstisch), sofortige Computertomographie des Kopfs und Stammskeletts (parietal bis Symphyse) in obligater und ggf. der unteren Extremität in fakultativer Indikation (Letztere wird durch Traumaleader = Unfallchirurg festgelegt)
- e) Anschließend erfolgt die weitere intensivmedizinische Versorgung. Zeitgleich zur Akquisition erfolgt die Erstbeurteilung der mit 6 Bildern/s errechneten Realtime-Rekonstruktionen an einem außerhalb des Schockraums positionierten Bildwiedergabesystem (Monitor). Nach insgesamt 3–5 Minuten (nach Untersuchungsbeginn) liegen für das gesamte Stammskelett (Kopf bis Symphyse) 3 bzw. 5 mm Axialrekonstruktionen vor. Unterschiedliche Fenstertechniken sind möglich. Anhand dieser Bilder werden das Verletzungsmuster klassifiziert und therapeutische Konsequenzen gezogen (■ Tabelle 1, Abb. 3).

Die Schritte d) und e) erfolgen in der Bravo-Phase.

- f) Es erfolgt zusätzlich für die gesamte Volumenakquisition eine 1-mm-Schichtdickenrekonstruktion (Zweitrekonstruktion), die als Ausgangsbasis zur uniplanaren Sekundär- bzw. 3D-Rekonstruktion dient. Diese Bilddatensätze liegen etwa 10–15 Minuten nach Untersuchungsbeginn vor.
- g) Der Patient kann verlegt werden (OP-Einheit, Intensivstation). Die chirurgischen Entscheidungsträger (Unfallchirurg, Orthopäde, Neurochirurg etc.) können in Zusammenschau aller Bilddateninformationen sowohl allgemein therapeutisch als auch operationstaktisch entscheiden. Die Bilddatensätze werden mittels einer integrierten Hochgeschwindigkeitsnetzwerkstruktur (1 GB/s) in die Operationssäle im Sinne der digitalen Bildverteilung zur Verfügung gestellt.

Wesentlicher Bestandteil dieses Gesamtkonzeptes ist die räumliche Einheit von CT und Schockraum (■ Abb. 4).

Abb. 4 ▲ Einsatz des primären Multislice-CT im Schockraum, „Patiententourismus“ entfällt, intensivmedizinische Versorgung, unfallchirurgische Betreuung und bildgebende Diagnostik bilden funktionelle und räumliche Einheit

Datenmanagement

Die interdisziplinäre Versorgung beim polytraumatisierten Patienten erfordert nicht nur die work-flow-orientierte schnelle Erstversorgung der Patienten hinsichtlich bildgebender Diagnostik und Stabilisierung der Vitalfunktion, sondern vielmehr auch die Bereitstellung aller erhobenen Befunddaten für die chirurgisch orientierten Entscheidungsträger in der primären Entscheidungsphase und zum zweiten die Reproduktion der Bilddaten in den Operationssälen und auf der Intensivstation (■ Abb. 5, 6, 7, 8).

Die Multislice-CT-Technologie generiert hohe Datenvolumina durch die Kom-

plexdiagnostik und die zusätzlich generierten Sekundär- und 3D-Rekonstruktionen. Es ist im Einzelfall mit bis zu 2200 Einzelbildern zu rechnen. Der beschriebene Paradigmenwechsel in der Arbeitsorganisation bei der Erstversorgung polytraumatisierter Patienten beschränkt sich folglich nicht nur auf die frühe Integration der Primärdiagnostik, sondern vielmehr auch auf die Bereitstellung der gewonnenen Bilddaten. Hierfür ist ein subtiles Bilddatenmanagement erforderlich. Digitale (filmlose) Bildverteilung ist von Vorteil.

Unter Berücksichtigung der diagnostischen Validität der Einzelbilder sind folgende Bilddatensätze als diagnostisch wichtig zu bezeichnen:

- a) Topogramm
- b) artefaktfreie Rekonstruktion von 3 und 5 mm Bilddaten in axialer Schichtorientierung zur Primärdiagnostik
- c) aus 1 mm axialen Schichtrekonstruktionen generierte uniplanare Sagittal-, Koronar- und zusätzliche 3D-Rekonstruktionen (die hierfür erforderlichen 1 mm Bildrekonstruktionen sind diagnostisch nicht erforderlich und werden folglich nicht in das Bilddatenmanagement integriert – (nicht ins PACS). (In Zukunft Direktrekonstruktionen aus Rohdaten möglich).

Die 3 Bildgruppen (Topogramm, diagnostisch axiale Schichten und Rekonstruktionen) werden in einem Online-Prozess unter Verwendung eines high speed Netzwerks in unserer Klinik (1GB/s) in den PACS-assoziierten RAID-Speicher transportiert. Die Bildverteilung in die Operationssäle und auf die Bildwiedergabesysteme der Intensivstation erfolgt mittels Web-Technologie. Hierfür steht ebenfalls ein Hochleistungsnetzwerk zur Verfügung. Für eine gute Datenperformance werden alle im RAID-Speicher des PACS gespeicherten Bilddaten im Webserver gespiegelt, sodass eine Einzelauswahl durch Einzelfachdisziplinen unterbleiben kann.

Auf folgende Besonderheit ist aufmerksam zu machen:

Auf folgende Besonderheit ist aufmerksam zu machen:

Abb. 5 ▲ 3D-Transparenzdarstellung einer Azetabulumfraktur: übersichtliches Bild der axialen Impressionspositionierung des Femurkopfs in Bezug auf vorderen und hinteren Pfannenanteil sowie Berstung des Azetabulums

Abb. 6 ▲ Axiale (a), koronare (b) und dreidimensionale (c) Lungen- bzw. Lungengefäßdarstellung bei Lungenkontusionierung (Pfeilköpfe), beidseitige Pleuraergüsse (dünne Pfeile) und Lungengefäßarchitektur (hohle Pfeile) in wenigen Minuten mittels Multislice-CT diagnostisch und operationstaktisch analysierbar

Abb. 7 ◀ Axiale (a, b) und sagittale (c) computertomographische Darstellung einer Vertebralisdissektion linksseitig, schwarzer Pfeil kontrastierte A. vertebralis rechts, weißer Pfeil nicht kontrastierte Anteile der A. vertebralis links, Pfeilkopf (d) Kontroll-MR-Angiographie, Befundbestätigung

Abb. 8 ◀ Axiale und sekundär sagittale Rekonstruktion mittels CT-Bilddatensätzen: Luxationsbefund von HWK6 auf HWK7 mit mäßiger Einengung des Spinalkanals, frühzeitiger Befundnachweis und -ausmaß für weitere therapeutische Entscheidung und Lagerung von wesentlicher Bedeutung

Die primären Bilddatensätze der Schädel-CT sind in orthogonal axialer Schichtorientierung ausgerichtet. Dies entspricht nicht den klassischen anatomischen Verteilungsmustern bei schädelbasisparalleler Schädel-CT (Angulierung). Aus diesem Grund werden nach der perakuten Entscheidungsfindung mittels der orthogonalen Datensätze paraxiale Rekonstruktionen für die intrakraniellen Strukturen nachgearbeitet und diese als Endbefunddokumentation den neurochirurgischen Kollegen zur Verfügung gestellt. Verlaufsbeurteilungen nach Akutversorgung sind somit „anatomiegerecht“ möglich.

Zusammenfassung

Alle eingangs gestellten Fragen sind nach 9 Monaten Betriebszeit noch nicht zu beantworten. Die Auswertung der bisher vorliegenden Ergebnisse läuft derzeit. Folgende Statements sind möglich:

1. Die bildgebende Diagnostik hat als Ausgangsdokumentation komplexer Verletzungsmuster bei schwerstverletzten und polytraumatisierten Patienten in den letzten Jahrzehnten im Mischkonzept von Röntgendiagnostik und CT-Technologie einen wesentlichen Stellenwert in der Erstversorgung entsprechender Patienten eingenommen. Innerhalb der CT-Technik hat sich mit der Entwicklung zum 16-Zeilen-CT ein wesentlicher Quantensprung hinsichtlich Akquisitionszeitbedarf einerseits und Rekonstruktionsmöglichkeiten mit exzellenter Bildqualität andererseits ergeben.

2. Unser Konzept der *integrativen Betreuung (Bildgebung+klinische Versorgung)* polytraumatisierter Patienten beinhaltet die Nutzung eines 16-Zeilen-CT in der Erstversorgung der Patienten im Schockraum. Aufgrund der geschilderten Vorteile hinsichtlich der Akquisitionszeit und Bildqualität ist der Zeitpunkt der CT-Untersuchung an den Beginn der Erstversorgung verschiebbar. Es ergibt sich damit ein Paradigmenwechsel im Ablauf der Einzelschritte der Erstversorgung. Der bisherige konsekutivprozess geht in einen synchronisierten Simultanprozess von bildgebender Diagnostik, intensivmedizinischer Erstversorgung und chirurgisch orientierter

Entscheidungsfindung über. Die Diagnostik erfolgt ausschließlich mittels CT.

3. Die Arbeitsabläufe der einzelnen Fachdisziplinen innerhalb des Versorgungsteams sind hinsichtlich ihrer Zeituordnung neu zu strukturieren. Dies bedarf eines hohen Integrationsbewusstseins aller Beteiligten. Es kann ein Zeitgewinn von mindestens 50% gegenüber bisherigen Konzepten erwartet werden.

4. Qualitativer Endpunkt des Gesamtkonzepts ist die frühzeitige Bereitstellung aller erhobenen Befunddaten. Hierfür liegen ein subtiles Bilddatenmanagementprogramm und eine System in die Operationssäle und auf die Intensivstation vor.

5. Der patientenseitige Benefit aus dem Konzept ist z. Z. auf empirischer Basis auf der Grundlage des erheblichen Zeitgewinns ($\emptyset$ Schockraumverweildauer 35 Minuten) als hoch zu bewerten. Die gemeinsame Vorlage von Einzeldaten durch die beteiligten Disziplinen ist in Vorbereitung.

Korrespondierender Autor

Dr. R. Braunschweig

Klinik für bildgebende Diagnostik
und Interventionsradiologie,
BG-Kliniken Bergmannstrost,
Merseburger Straße 165, 06112 Halle, Saale
E-Mail:
Rainer.Braunschweig@Bergmannstrost.com

Interessenkonflikt: Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen.

Literatur

1. Nast-Kolb D, Waydhas C, Kanz KG et al. (1994) An algorithm for management of shock in polytrauma. Unfallchirurg 97: 292–302
2. Waydhas C, Kanz KG, Ruchholtz S et al. (1997) Algorithms in trauma management. Unfallchirurg 100: 913–921