

Nahinfrarotspektroskopie zur Detektion intrakranieller traumatischer Hirnblutungen

Praktikabilitätsstudie in einem Bundeswehrrettungszentrum in Afghanistan

Hintergrund und Fragestellung

Schädel-Hirn-Verletzungen sind bis zum frühen Erwachsenenalter die häufigste Todesursache [1]. In Deutschland muss pro Jahr von 332 Schädel-Hirn-Verletzungen pro 100.000 Einwohner ausgegangen werden, von denen ca. 5% als schwer einzustufen sind. Hochgerechnet ergeben sich ca. 270.000 schädelhirnverletzte Patienten pro Jahr, davon erleiden ca. 13.500 Patienten ein schweres SHT, von denen ca. 2750 Patienten versterben. Dies entspricht ca. 15% der jährlichen Unfalltoden in Deutschland (ca. 19.000/Jahr [2]). Schädel-Hirn-Traumata (SHT) zählen auch im Rahmen von Naturkatastrophen wie Hurrikans oder Erdbeben zu den häufigen Verletzungen [3, 4, 5]. Aufgrund der zivilen Lebensbedingungen und der mechanischen Gewalteinwirkung im Rahmen der erwähnten Katastrophensituationen kommt es hier meist zu einem geschlossenen SHT.

Durch Explosionstraumata und Kopfschussverletzungen kommt in Krisen- und Kriegssituationen ein erheblicher Anteil von penetrierenden Schädel-Hirn-Verletzungen hinzu [6]. Als Todesursache wird für „Killed-in-action-“ und „Died-on-wounds-Soldaten“ in 35% ein SHT genannt; die anatomische Verteilung der überlebten Verletzungen zeigt heute ei-

ne zunehmende Beteiligung des Kopfbereichs (Schädel, jedoch mit Gesicht, Auge, Ohr, Hals und Nacken) in 15–30% [7, 8, 9].

Um die hohe Letalität der schwer Schädel-Hirn-Verletzten zu reduzieren, ist eine frühzeitige bildgebende Diagnostik und Therapie erforderlich. Die Verzögerung der medizinischen Versorgung gilt als der stärkste unabhängige Prediktor für die Mortalität von SHT-Patienten, v. a. bei chirurgisch behandelbaren intrakraniellen Blutungen. Der schnellen Versorgungskette muss daher höchste Priorität eingeräumt werden [10].

Durch klinische Befunde allein ist eine Information über die (noch) zur Verfügung stehende Zeit mit Entscheidungen über das zu wählende Transportmittel, die zu erreichende Klinik und die ggf. erforderliche Zugangsseite einer Entlastungsoperation nicht sicher ableitbar. Kein einziges klinisches Zeichen kann das Vorliegen eines intrakraniellen Hämatoms reliabel angeben:

- Fokal eindeutige neurologische Befunde bestehen nur bei einem Teil der Patienten mit intrakraniellem Hämatom.
- Eine unilateral dilatierte Pupille ist der zuverlässigste Hinweis auf die Lateralisation der Gehirnhälfte infolge eines Hämatoms, kann jedoch nicht

die Seite des Hämatoms sicher identifizieren und tritt auch bei einer signifikant hohen Anzahl von Patienten auf, die einen diffusen bzw. beidseitigen Gehirnschaden haben.

- Die konventionelle Schädelaufnahme kann lediglich eine Fraktur identifizieren, was das Risiko für das Bestehen eines Hämatoms bei einem bewusstseinsklaren Patienten um den Faktor 400 erhöht (beim Bewusstlosen Faktor 20 [11]). Dennoch haben viele Patienten mit einem intrakraniellen Hämatom keine Schädelfraktur.
- Ein Koma tritt in ca. 56% der schweren SHT ohne ein chirurgisch angebares Hämatom auf.

Die diagnostische Schwierigkeit (s. oben) gilt besonders für den am Unfallort ansprechbaren, im weiteren Verlauf sedierten oder intubierten Verletzten.

Die CT-Untersuchung ist heute der Goldstandard für den Nachweis und die Lokalisation eines traumainduzierten intrakraniellen Hämatoms sowie der aussagekräftigste Schlüssel zur Therapie. Da das frühzeitige Erkennen einer intrakraniellen Blutung lebensrettend sein kann, gilt eine Verzögerung des kranialen CT (CCT) als nicht gerechtfertigt [12, 13, 14, 15].



Abb. 1 ▲ Verschiedene SHT-Situationen, die mit typischen Fragen einhergehen: „Benötigt der Patient dringend ein CCT?“, „Muss ich ggf. ein Flächenflugzeug anfordern, um den Patienten so schnell wie möglich in das Feldlazarett mit einer CT-Möglichkeit zu evakuieren?“ **a** Geringe oberflächliche Schädelhautverletzung direkt nach Minenexplosionsverletzung in einem gut geschützten Fahrzeug, klinisch Commotio cerebri. **b** Versorgtes Galealhämatom bei Patienten mit GCS 9 **c** Verkehrsunfall, GCS 3. **d** Explosionsverletzung durch Granatbeschuss, Patient im Schockraum noch GCS 14, dann sofortige Intubation. **e** Gewehrschussverletzung, Streifschuss mit geringgradiger Impressionsfraktur, GCS 13

Eine Grundvoraussetzung dafür, diesen leitlinienkonformen Standard (S3-Leitlinie Polytrauma, Leitlinie SHT der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie) bedenkenlos vorzuhalten, ist eine flächendeckende Verteilung der Computertomographen und des zur Bedienung und Befundung erforderlichen Personals [12]. Allerdings muss selbst in dem sehr dicht besiedelten Deutschland mit mittlerweile ca. 2600 Computertomographen [16] von einzelnen Flecken geringerer CT-Dichte ausgegangen werden [16]. In diesen Regionen sind einfache, praktikable und valide Screeningmethoden sinnvoll, um lebensbedrohliche, z. B. intrakranielle epidurale und subdurale Blutungen frühzeitig ausschließen oder nachweisen zu

können. Dennoch wird in allen Regionen der BRD bei einer absoluten Indikation zum CCT immer versucht werden, den Patienten so schnell wie möglich der bildgebenden Diagnostik zuzuführen. Im Falle einer Katastrophensituation mit einem Massenansturm von Patienten kann dies jedoch selbst in Deutschland trotz einer der weltweit höchsten CT-Dichten nicht bei allen Patienten zeitgerecht erfolgen. Diese fehlende Diagnosemöglichkeit beim SHT wird bei Katastropheneinsätzen außerhalb von Deutschland, bei humanitären Hilfsprojekten und bei Einsätzen des Deutschen Sanitätsdienstes in Krisen- und Kriegsgebieten noch eklatanter.

Trotz der Maxime: „[...] Soldaten [...] eine medizinische Versorgung zuteil wer-

den zu lassen, die [...] dem [...] Standard in Deutschland entspricht“ [17] kann nicht in allen vorgeschobenen Rettungszentren des Sanitätsdienstes (z. B. Kunduz, Nordafghanistan) eine CT zur Verfügung gestellt werden. Die erste CT-Diagnostik ist im nächst höheren Glied der Rettungskette, dem Feldlazarett in Mazar-e-Sharif lokalisiert. Im Rettungszentrum gilt es für das anesthesiologische und chirurgische Team ohne bildgebende Diagnostik bei Verdacht auf ein SHT die Indikation bzw. Dringlichkeit eines erforderlichen Transports in das Feldlazarett zu stellen und damit auch das Transportmittel zu bestimmen (■ **Abb. 1**). In extremis wird auch die Indikation zur Notfallreparation vor Ort zu stellen sein. Für diese Situation ist

ein Untersuchungsverfahren wünschenswert, welches das Vorliegen und die Lokalisation eines zu behandelnden lebensbedrohlichen intrakraniellen Hämatoms ohne hohen apparativen Aufwand nachweisen oder ausschließen könnte.

Als Entscheidungshilfe steht seit 2009 ein mobiles PDA-assistiertes Kleingerät (persönlicher digitaler Assistent, Infrascanner 1000/2000) zur Verfügung. Es basiert auf der Technik der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) und ist in der Lage, intrakranielle Blutungen zu detektieren. Es erscheint z. B. möglich, mit diesem Gerät die Hinweise zu Prioritäten für Transport und weiterführende CCT-Diagnostik von Patienten zu geben. Vor diesem Hintergrund sollte eine Praktikabilitätsstudie im Rahmen eines Auslandseinsatzes als Vorläufer einer Validisierungsstudie im Heimatkrankenhaus durchgeführt werden. Im Folgenden soll über erste Erfahrungen in der Anwendung des Infrascanners berichtet und folgende Fragen beantwortet werden:

- Ist die Anwendung des Infrascanners einfach zu erlernen?
- Ist die Anwendung des Gerätes auch in der Schockraumsituation unter erheblicher Zeitnot anwendbar?
- Bestehen technische Probleme bei der Anwendung von Soft- und Hardware?
- Können mit dem Einsatz Hinweise zur Priorisierung des Transports für SHT-Patienten gewonnen werden?

Methodik – Gerätebeschreibung

Der Infrascanner ist ein batteriebetriebenes, nicht-invasiv messendes und tragbares Gerät, welches mittels Bluetooth-Technologie mit einem das Messergebnis darstellenden PDA verbunden ist (Infrascanner; Infrascan Inc, 3508 Market Street, Suite 127, Philadelphia, PA 19104, USA, FDA K080377/K120949). Das 16×7×7 cm große Gerät beinhaltet die Nahinfrarotlichtquelle und den Lichtdetektor. Die Betriebszeit wird mit 1 h bei 3 Tagen Standby-Zeit angegeben. Anwendbar ist es bei 10–40°C. Die Lichtquelle entspricht einem „Klasse-1-Laserprodukt“. Das Messprinzip basiert auf der Messung der Absorption von Licht der Wellenlänge 805 nm an Hämoglobinmolekülen. Da intravasal we-

Unfallchirurg 2014 · [jvn]:[afp]–[alp] DOI 10.1007/s00113-013-2549-0
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

T. Braun · U. Kunz · C. Schulz · A. Lieber · C. Willy
Nahinfrarotspektroskopie zur Detektion intrakranieller traumatischer Hirnblutungen. Praktikabilitätsstudie in einem Bundeswehrrettungszentrum in Afghanistan

Zusammenfassung

Das Schädel-Hirn-Trauma (SHT) ist eine der häufigsten Todesursachen bei Unfällen, Naturkatastrophen oder kriegerischen Auseinandersetzungen. Goldstandard zur Diagnostik ist die CT-Untersuchung. Verzögerung der Diagnostik gilt als stärkster unabhängiger Prediktor für deren Mortalität, v. a. bei chirurgisch behandelbaren intrakraniellen Hämatomen. Die richtige Einstufung der Patienten hat Priorität in Situationen, in denen eine Computertomographie (CT) nicht vorgehalten werden kann. Ein auf der Nahinfrarotspektroskopietechnik basiertes und PDA-gestütztes mobiles Untersuchungsgerät (Infrascanner) ermöglicht es, eine erste Grobeinschätzung bezüglich eines intrakraniellen Hämatoms durchzuführen. Die Praktikabilitätsstudie zeigte, dass die Anwendung des Scan-

ners beim Einsatz im Bw-Rettungszentrum (Kunduz, AF) zum Nachweis intrakranieller Hämatome schnell erlernbar, unkompliziert und repetitiv auch unter Schockraumbedingungen einsatzbar ist. Als Indikationen können offene und geschlossene SHT bei fehlender unmittelbarer Verfügbarkeit eines CT in ländlichen Gebieten, präklinisch, bei hohem Patientenaufkommen (z. B. Katastrophensituation) sowie in humanitären Einsätzen oder Krisen- und Kriegsgebieten angesehen werden. Weitere Validisierungsstudien sind erforderlich.

Schlüsselwörter

Schädel-Hirn-Trauma · Katastrophenchirurgie · Militärchirurgie · Infrascanner

Near-infrared spectroscopy for the detection of traumatic intracranial hemorrhage. Feasibility study in a German army field hospital in Afghanistan

Abstract

Traumatic brain injury (TBI) is one of the most common causes of death in ordinary accidents, natural disasters, or warfare. The gold standard for diagnosis of TBI is the CT scan; a delay of diagnostics or medical care is the strongest independent predictor of mortality of TBI patients—particularly in the case of a surgically treatable intracranial hematoma. The proper classification of these patients is of major importance in situations where a CT is not accessible. A portable screening device that uses near-infrared spectroscopy (NIRS) technology allows a preliminary estimate of an intracranial hematoma. This study assessing practicability shows that the use of the device in a military medical rescue cen-

ter (Kunduz, Afghanistan) is easy to learn and can be repeatedly used even under emergency room conditions. The technique can be applied in penetrating and blunt TBIs in the absence of an immediately available CT scan in rural areas, preclinically, under mass casualty conditions (e.g., in disaster situations) as well as in humanitarian crises or war zones. Nevertheless, further studies to assess the validity of this device are necessary.

Keywords

Traumatic brain injury · Emergency and disaster surgery · Military surgery · Infrascanner

niger Hämoglobin pro untersuchtem Gewebevolumen vorhanden ist als in einem gleichvolumigen Hämatom, kann zwischen intravasal und extravasal angesammeltem Hämoglobin unterschieden werden (▣ Abb. 2a–c). Die Messung kann transossär intrakranielle Blutungen bis zu einer Tiefe von 2,5 cm von der Gehirnoberfläche (3,5 cm von der Haut) detektieren. Geleitet von den Monitorangaben

des PDA erfolgt in einem vorgelegten Protokoll die Messung. (▣ Abb. 2d–f). Nach Abschluss des Scanvorgangs wird durch eine vergleichende Links-rechts-Messung der Messregionen der Unterschied der Lichtabsorption berechnet und das Ergebnis qualitativ dargestellt (grün: kein klinisch relevanter Unterschied; rot: klinisch relevanter Unterschied in der Absorption). Die Ergebnisdarstellung erfolgt

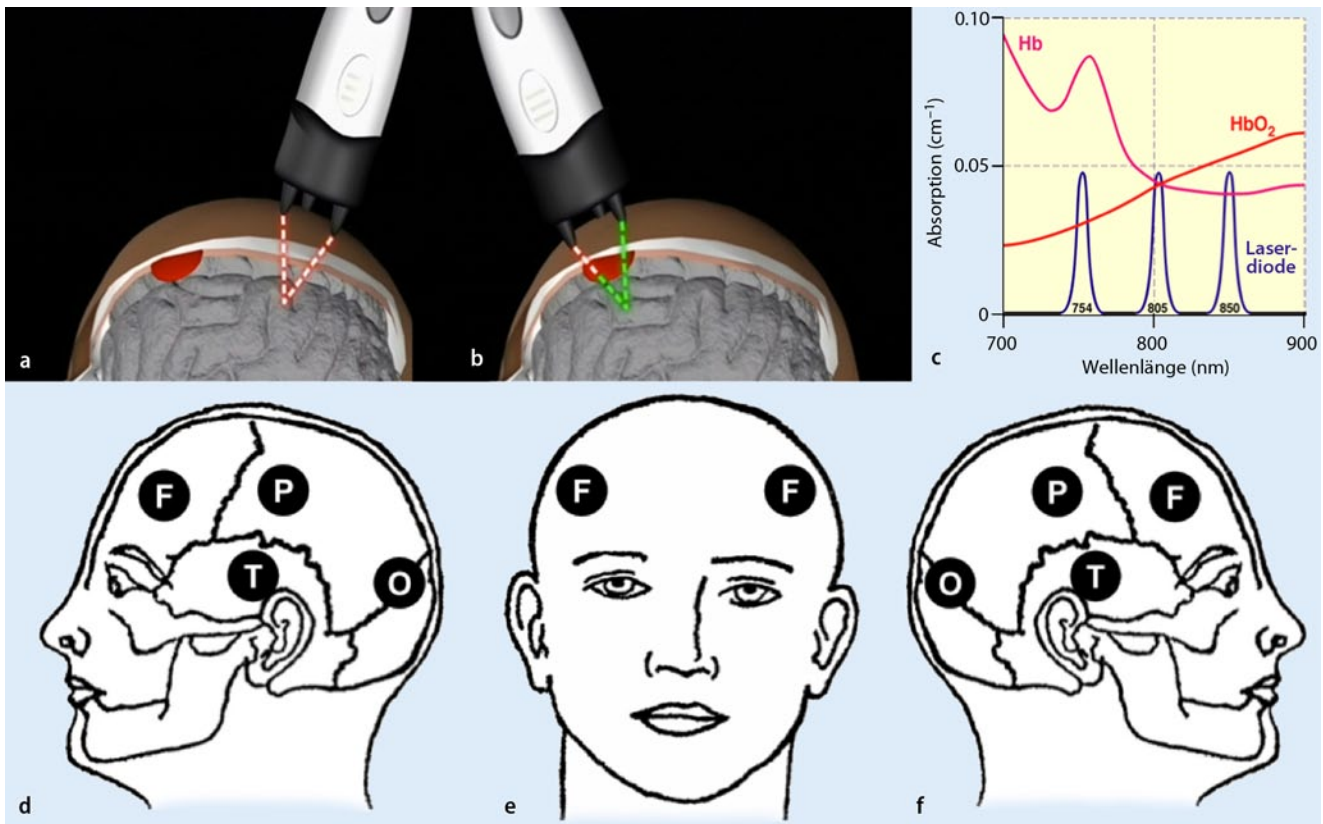


Abb. 2 ▲ Messtechnologie des Infrascanners 1000. **a** Noninvasive Messung mittels Infrascanner mit Emission von Nahinfrarotlicht der Wellenlänge 805 nm. **c** Ohne Hämatom nur minimale Absorption durch intravasales Hämoglobin. **b** Hämatom mit erheblicher Absorption von Licht durch die vergleichsweise hohe Hämoglobinmenge pro gesamttem Volumen. **d–f** Die Messung erfolgt in 8 Teilschritten von links-frontal hemisphärenalternierend über die temporale und parietale Lokalisation nach rechts-okzipital

auf dem PDA. Gerät und PDA. Die Autoren geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Methodik – Arbeitsbedingungen

Im Rahmen eines 6-wöchigen Auslandseinsatzes des Sanitätsdienstes der Bundeswehr in einem vorgeschobenen Behandlungsplatz (Rettungszentrum Kunduz, Nordafghanistan) wurde der Infrascanner im Juli/August 2011 auf seine Anwendbarkeit in klinischen Notfallsituationen getestet. Primäres Ziel war es, ggf. Einschränkungen der praktischen Anwendbarkeit vor der Durchführung einer aufwendigeren Validisierungsstudie im Heimatkrankenhaus erkennen zu können. Das Rettungszentrum (RZ) Kunduz, eingebunden in das „Provincial Reconstruction Team“ (PRT Kunduz), ist für die medizinische Notversorgung von ca. 3500 Soldaten (ISAF-Soldaten aller Nationen, Special Forces, Afghanische Sicherheitskräf-

te) sowie von Angehörigen der Hilfsorganisationen, der UN und der diplomatischen Dienste sowie im Rahmen freier Kapazitäten der einheimischen zivilen Bevölkerung verantwortlich.

Das ärztliche Kernteam zum Zeitpunkt der Studie bestand aus zwei Fachärzten mit dem Doppelfacharzt Allgemeinchirurgie und Orthopädie/Unfallchirurgie, einem Facharzt für Anästhesie und einem Weiterbildungsassistenten in diesem Fach. Infrastrukturell standen 3 Schockräume und 2 OP-Säle zur Verfügung. Als vorgeschobener Behandlungseinrichtung kommt dem RZ die chirurgische Notfallbehandlung („damage control surgery“) und Stabilisierung zu, bevor die Patienten ggf. mittels Lufttransport (AirMedEVAC) zur zentralen medizinischen Einrichtung mit CT-Diagnostik und neurochirurgischer Behandlungsmöglichkeit nach Mazar-e-Sharif verlegt werden. Der Infrascanner wurde bei allen

im Rettungszentrum Kunduz eingelieferten Schädeltraumata eingesetzt.

Einschlusskriterien umfassten eine entsprechende Anamnese und klinische Hinweise auf ein SHT. Die Studie ist konform mit der „good clinical practice“ (GCP), dabei steht der Schutz der Studienteilnehmer sowie die Qualität der Studienergebnisse im Mittelpunkt. Der Sanitätsdienst der Bundeswehr ist zur Einhaltung guter wissenschaftlicher Praxis nach den Empfehlungen der Deutschen Forschungsgemeinschaft verpflichtet.

Eigene Erfahrungen

Die anfängliche theoretische und praktische Einweisung des vierköpfigen chirurgischen und anästhesiologischen Teams dauerte 90 min und beinhaltete ein gegenseitiges Anwenden des Geräts. Es zeigte sich, dass die Technik des Messvorgangs und die Bedienung des PDA innerhalb von wenigen Minuten erlernt wer-



Abb. 3 ▲ Infrascannerergebnisdarstellung im Rahmen der Schockraumbehandlung von vier gleichzeitig eintreffenden mittelschwer verletzten Patienten nach Verkehrsunfall, bei denen ein passanter SHT-Scan an allen Patienten innerhalb von 28 min neben anderen Tätigkeiten durchgeführt werden konnte. **a, b** Monokelhämatom, GCS 12, unauffälliger Befund auf PDA-Monitor. **d** Keine äußeren Verletzungszeichen, GCS 13, erhebliche Vigilanzreduktion (Angst?), unauffälliger Befund auf PDA-Monitor. **e, f** Kongenitale Schädelkalottendeformierung, die ein positives Ergebnis (Rotmarkierung auf dem PDA) ergab (**f**). Der 4. Patient war unauffällig

den kann. Trotz der einfachen Bedienung wurden die nachfolgenden Messungen an Notfallpatienten durch nur einen der beiden Chirurgen durchgeführt. Grund hierfür war v. a. die organisatorisch festgelegte Aufgabenverteilung in der Situation

des gleichzeitigen Eintreffens mehrerer schwer verletzter Patienten, um eine Verzögerung der Notfalldiagnostik und Therapie zu vermeiden.

Insgesamt wurde das Messgerät an 11 Patienten mit einer Schädel-Hirn-Ver-

letzung eingesetzt. Die Erfahrungen zeigen, dass es sich gut handhaben lässt und den trainierten Ablauf einer Schockraumbehandlung nicht behindert. Durch die autarke Energieversorgung des Gerätes ist ein allseitiger Zugang zum Patienten möglich. Die Maße ließen ein freies Handeln am Patienten auch aus ungünstigen Positionen zu. Die Infrascanneruntersuchung war unter beengten Untersuchungsbedingungen möglich. Der Zeitraum zur Durchführung der Messung an den acht vorgegebenen Messpunkten kann mit 2–3 min angegeben werden (▶ **Abb. 3**). Hierbei sollte nach den vorgegebenen Detailhinweisen für das Auffinden der Messpunkte vorgegangen werden. Bei der Messung des okzipitalen Messpunktes zeigte sich, dass zur korrekten Messposition in einzelnen Fällen, wenn das Verdrehen der HWS noch nicht durchführbar war, alternativ ein Anheben des Kopfes notwendig gewesen wäre (▶ **Abb. 4**). Ohne aussagekräftige radiologische Bilanzierung der HWS wurde daher in einzelnen Fällen auf diesen Messort verzichtet – was von der Software akzeptiert wurde. Bei 6 der 11 Patienten wurde eine Messung mit einem „rot“ als möglicher Hinweis auf eine Hämoglobinsammlung (also intrakraniell Hämatom) quittiert. In diesen Fällen war empfohlen worden, die Messung zur Verifikation ein- bis 2-mal zu wiederholen. Sollte in diesen Fällen weiterhin ein pathologisches Ergebnis vorliegen, wäre von einer entsprechenden Verletzung auszugehen. Die in diesen Fällen durchgeführten Wiederholungsmessungen zeigten jedoch konstant mit einer Ausnahme keine Seitenunterschiede, so dass letztlich von einem Nicht-Vorliegen einer intrakraniellen Blutung ausgegangen wurde. Festgestellt werden konnte zudem, dass auch bei einer blutenden Kopfplatzwunde eine korrekte Messung möglich war. Die Single-use-Schutzkappe gewährleistete ein hygienisches Arbeiten. So wurde das subgaleale temporoparietal lokalisierte Hämatom durch einen leicht veränderten Messpunkt „umgangen“ – seitengleich zeigte sich dann kein Hinweis auf ein intrakranielles Hämatom. In einem Fall erfolgte infolge einer kongenitalen Wachstumsstörung des Schädelknochens eine positive Messung (▶ **Abb. 3e, f**). Aufgrund der



Abb. 4 ▲ Infrascannermessung initial und 2-h-Kontrolle: **a** Stumpfes SHT, GCS 3. Zuverlegung ohne Intubation und Beatmung. Initialer Scan mittels Infrascanner. Anschließend sofortige Intubation **b** Kontrolle kurz vor Verlegung ca. 2 h nach Aufnahme. Dargestellt ist die fehlende Möglichkeit der okzipitalen Messung bei 20° Kippung des Liegenoberteils und angelegtem Stiffneck. Die Nachfolgeneration des Infrascanners sollte die Möglichkeit geben, auch in dieser Körperposition die Messung okzipital durchführen zu können

offensichtlichen Asymmetrie des Schädels war das Messergebnis jedoch nicht unerwartet pathologisch ausgefallen.

Kontrolluntersuchungen waren am Patientenbett ohne Umlagerungsaktionen durchführbar und beliebig häufig wiederholbar. Sie wurden in der Regel nach 2 h bzw. unmittelbar vor AirMedEvac in das Feldlazarett Mazar-e-Sharif durchgeführt. In der Gesamtsicht vermittelte das Messgerät in der Situation des kompletten Fehlens jeglicher Bilanzierungsmöglichkeit eines verdächtigten traumatischen Schädel- und Gehirnschadens ein Gefühl erhöhter Sicherheit. Dies galt v. a. für die Fälle, in denen der Patient entweder in eine heimische Behandlungseinrichtung verlegt wurde oder der Patient mittels AirMedEvac für die mehrstündige Dauer des Transports in das Feldlazarett nicht mehr kontinuierlich überwacht werden konnte.

Diskussion

Ziel der Studie war die Beurteilung der Praktikabilität eines auf der Nahinfrarotspektroskopietechnologie basierenden Scanners zum Ausschluss bzw. zum Nachweis intrakranieller Hämatome bei Schädel-Hirn-Verletzten unter den Bedingungen des Bundeswehrauslandseinsatzes. Hierfür sollten Erfahrungen mit der Erlernung der Untersuchungstechnik und der Anwendbarkeit in einer Schockraumsituation bei der Versorgung einzel-

ner, aber auch in der Mass-casualty-Situation, gesammelt werden. Ebenso sollte die Hard- und Software auf Handhabbarkeit getestet werden. Im Rahmen der Studie zeigte sich, dass die Anwendung des Infrascanner einfach zu erlernen ist und die Untersuchungen einfach, schnell und ohne Behinderung der Schockraumabläufe durchführbar sind. Hinsichtlich des Designs können einige Wünsche formuliert werden. Die Soft- und Hardware arbeiten fehlerfrei.

Bisher liegen Ergebnisse von zwei Arbeitsgruppen vor (Baylor College of Medicine, Houston/Texas und Sevilla/Spanien), die im September 2010 in *Brain Injury/Journal of Neurotrauma* publiziert wurden. Beide Arbeitsgruppen analysierten die Übereinstimmung der Infrascannerergebnisse unter kontrollierten Bedingungen mit den Ergebnissen der Goldstandard-CT-Untersuchung. Die amerikanische Arbeitsgruppe von Robertson untersuchte in einer Multicenterstudie 365 Patienten und zeigte eine Sensitivität von 88% (Hämatomvolumen von $>3,5 \text{ cm}^3$) bei einer Spezifität von 90,7% [18, 19]. Die spanische Arbeitsgruppe um Leon-Carrion untersuchte 38 Patienten und berechnete eine Sensitivität von 89,5% und Spezifität von 81,2% [20]. In der Gesamtsicht wird in beiden Arbeiten dargestellt, dass der Infrascanner einseitige epi- und subdurale Blutungen detektieren kann.

Die beiden Arbeitsgruppen formulieren, dass der Infrascanner ein nützliches Screening-Tool darstelle, wenn eine CT-Diagnostik nicht unmittelbar möglich sei. Über gegensätzliche Ergebnisse wurde auf dem 17th EMN Kongress berichtet. Hier wurden an einer ungenannten Anzahl von Patienten drei unterschiedliche Geräte getestet, bei einer richtig positiven Antwort von 67% und richtig negativen Antwort von 69%. Hieraus wurde geschlossen, dass die periphere intrakranielle Blutung sicher diagnostiziert werden kann, wenn keine störenden Faktoren vorliegen, dass bilaterale Hämatome nicht diagnostiziert werden können und dass der positiv prädiktive Wert niedrig ist bei Patienten mit einer schweren Verletzung des knöchernen Schädels. Das System wurde als hilfreich erachtet bei der Überwachung von leicht bis mittelschweren Traumata zum Schädelknochen. Eine klare Stellungnahme zum SHT erfolgte nicht.

Aufgrund der Messtechnologie, die auf einer Asymmetrie der Lichtabsorption beruht, wird es in einigen Situationen nicht möglich sein, ein intrakranielles sub- oder epidural lokalisiertes Hämatom zu detektieren. Dies sind:

- symmetrisch lokalisierte, bilaterale Hämatome,
- ausgeprägte intrakranielle Ödeme, die die Symmetrie des Gehirns verändern,

- großflächige offene, blutende Skalpverletzungen oder subgaleale Hämatome, die durch eine modifizierte Untersuchungstechnik nicht umgangen werden können.

Weitere Einschränkungen beruhen auf den physikalischen Grundlagen der Technik:

- Infolge der eingeschränkten Eindringtiefe können intrazerebrale Hämatome, die weiter als 3,5 cm von der Hautoberfläche entfernt sind, nicht erkannt werden.
- Alte bzw. chronische Hämatome können durch die zunehmende Umwandlung des Hämoglobins in Methämoglobin (vollständig nach ca. 3 Tagen) keinen Seitenunterschied mehr zeigen.

Die eigenen Erfahrungen zeigen, dass die Anwendung des Gerätes einfach zu erlernen ist und unter den zeit- und personalkritischen Umständen eines Massenanfalls von Patienten in den Gesamtalgorithmus inkludiert werden kann. Die bisherigen Eindrücke lassen vermuten, dass die Validität mit diesem Gerät höher ist, als es sich im eigenen Bereich in früheren Tests mit anderen NIRS-basierten („near-infrared spectroscopy“) Detektoren gezeigt hatte [21, 22], wobei hierzu weitere Studien folgen müssen. Unter den gegebenen Umständen sehen wir den Infrascanner von der technischen Handhabung als geeignet an, Hinweise zur Priorisierung von SHT-Patienten zu geben, aber im Rahmen des relativ friedlichen Untersuchungszeitraums wurden wir nicht mit der Situation konfrontiert, Priorisierungsfragen aufgrund einer Schädel-Hirn-Verletzung treffen zu müssen. Über die Validität können hier keine Aussagen gemacht werden. Interessant ist der Infrascanner unserer Meinung nach, da es Grenzsituationen gibt, in denen die Screeningmethode hilfreich wäre.

Zu nennen sind:

- CT-freie Regionen (Schiff, abgelegene Regionen wie Inseln, Bergstationen, Flächenländer) zur Ergänzung der klinischen Information und des neurologischen Status, die in definierten Einzelfällen zu einer Priorisierung des

Transports zu einer CT-Einrichtung beitragen könnte.

- In der Situation des massiven Anfalls von Verletzten kann die NIRS-Technik eine schnelle Vorabuntersuchung bei vielen Patienten, die nicht alle gleichzeitig ein CCT erhalten können, darstellen. Die Messung kann eine Hilfe bei der Entscheidung der Priorisierung einer CT-Untersuchung für Einzelne sein.
- Die Infrascannerdiagnostik kann im präklinischen Bereich oder bei der klinischen Notfalldiagnostik einen früheren Therapiebeginn sowie eine frühere Operation des traumatischen intrakraniellen Hämatoms veranlassen.
- Denkbar sind auch regelmäßige Messungen, z. B. auf der Intensivstation, im Sinne eines Bedside-Monitorings, um den Verlauf bzw. die postoperative Entwicklung eines intrakraniellen Hämatoms frühzeitig festzustellen.
- Bei milden Schädel-Hirn-Verletzungen (z. B. GCS 14) zur Verlaufskontrolle.

Die NIRS-Technik wird aufgrund ihrer Limitierungen kein Ersatz für ein CCT sein. Unzweifelhaft ist der Goldstandard der Schwerverletztenversorgung die CT-Untersuchung. Auch die Kombination von einzelnen Untersuchungen mit hoher Spezifität und Sensitivität wie z. B. die FAST („focused assessment with sonography for trauma“), Röntgennotfalldiagnostik und ggf. NIRS-Untersuchung für intrakranielle Blutungen werden die CT-Diagnostik nicht ersetzen können [23], zumal bei ersteren immer von einer Anwenderunschärfe ausgegangen werden muss und letztere als absolut objektives Diagnostikum zu werten ist. Dennoch wird man nicht immer und zu jedem Zeitpunkt für jeden Patienten einen Computertomographen vorhalten können.

Eine Validierungsanalyse im eigenen Bereich ist geplant, um die Aussagekraft der NIRS-Technik bei Anwendung des Infrascanners eigenständig beurteilen zu können.

Fazit für die Praxis

Die Anwendung des nicht-invasiv messenden Scanners ist schnell zu erlernen. Das Gerät ist einfach zu bedienen und kann unter Sichtungs- und Schockraumbedingungen unkompliziert und den Ablauf nicht behindernd durchgeführt werden.

Eine Messung dauert ca. 2–3 min pro Patient. Soft- und Hardwareprobleme fallen nicht auf. Korrekturen des Designs zu Handhabung und Reinigung wären von Vorteil.

Eine Validierungsstudie im eigenen Bereich ist erforderlich. Einigkeit besteht darüber, dass der Infrascanner kein Ersatz für die CT-Diagnostik ist, die zweifelsfrei auch weiterhin den Goldstandard für den Nachweis eines traumatischen intrakraniellen Hämatoms darstellen wird.

- Als Indikationen, die sich für den Einsatz des Scanners ergeben, können Schädelhirntraumata bei fehlender unmittelbarer Verfügbarkeit der CT-Diagnostik in ländlichen Gebieten, präklinisch, bei hohem Patientenaufkommen in einer Katastrophensituation sowie in humanitären Einsätzen oder Krisen- und Kriegsgebieten angesehen werden.
- Interessant ist auch die Möglichkeit, bei bekanntem CCT-Status einfach wiederholbare orientierende Kontrolluntersuchungen mittels NIRS-Technik auf einer Intensiv- oder Normalstation durchzuführen.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. C. Willy

Abteilung Unfallchirurgie und Orthopädie, Septisch-Plastische Chirurgie, Bundeswehrkrankenhaus Berlin Scharnhorststraße 13, 10115 Berlin christianwilly@bundeswehr.org

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Thomas Braun, Ulrich Kunz, Chris Schulz, André Lieber und Christian Willy geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht. Alle im vorliegenden Manuskript beschriebenen Untersuchungen am Menschen wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethik-Kommission, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Von allen beteiligten Patienten liegt eine Ein-

verständniserklärung vor. Alle Patienten, die über Bildmaterial oder anderweitige Angaben innerhalb des Manuskripts zu identifizieren sind, haben hierzu ihre schriftliche Einwilligung gegeben. Im Falle von nicht mündigen Patienten liegt die Einwilligung eines Erziehungsberechtigten oder des gesetzlich bestellten Betreuers vor.

Literatur

- Jennett B (1991) Diagnosis and management of head trauma. *J Neurotrauma* 8(Suppl 1):15–19
- A Arbeitsmedizin BfAu (2011) Gesamtunfallgeschehen – Unfalltote und Unfallverletzte 2009 in Deutschland. <http://www.baua.de>
- Burgess P, Sullivent EE, Sasser MS et al (2010) Managing traumatic brain injury secondary to explosions. *J Emerg Trauma Shock* 3:164–172
- Keenan HT, Marshall SW, Nocera MA, Runyan DK (2004) Increased incidence of inflicted traumatic brain injury in children after a natural disaster. *Am J Prev Med* 26:189–193
- Naghii MR (2005) Public health impact and medical consequences of earthquakes. *Rev Panam Salud Publica* 18:216–221
- Vick K (2004) The lasting wounds of war – roadside bombs have devastated troops and doctors who treat them. *washington post foreign service*. <http://www.washingtonpost.com>
- Lechner R, Achatz G, Hauer T et al (2010) Patterns and causes of injuries in a contemporary combat environment. *Unfallchirurg* 113:106–113
- Willy C, Hauer T, Huschitt N, Palm HG (2011) „Einsatzchirurgie“ – Experiences of German military surgeons in Afghanistan. *Langenbecks Arch Surg* 396:507–522
- Willy C, Voelker HU, Steinmann R, Engelhardt M (2008) Patterns of injury in a combat environment. 2007 update. *Chirurg* 79:66–76
- Seelig JM, Becker DP, Miller JD et al (1981) Traumatic acute subdural hematoma: major mortality reduction in comatose patients treated within four hours. *N Engl J Med* 304:1511–1518
- Chan KH, Mann KS, Yue CP et al (1990) The significance of skull fracture in acute traumatic intracranial hematomas in adolescents: a prospective study. *J Neurosurg* 72(2):189–194
- Polytrauma/Schwererletzten-Behandlung (2011) AWMF. <http://www.awmf.org>
- Bardenheuer M, Obertacke U, Waydhas C, Nast-Kolb D (2000) Epidemiology of the severely injured patient. A prospective assessment of preclinical and clinical management. *AG Polytrauma of DGU. Unfallchirurg* 103:355–363
- Nast-Kolb D, Waydhas C, Ruchholtz S, Tager G (2007) Trauma care management. *Chirurg* 78:885–893
- Siebers C, Stegmaier J, Kirchhoff C et al (2008) Analysis of failure modes in multislice computed tomography during primary trauma survey. *Rof* 180:733–739
- GEK B Arztreport 2011, (2011) <http://www.barmergek.de>
- Demmer KW (2001) Sanitätsdienst der Bundeswehr. *Dtsch Arztebl* 98:A2256–A2258
- Robertson CS, Gopinath SP, Chance B (1995) A new application for near-infrared spectroscopy: detection of delayed intracranial hematomas after head injury. *J Neurotrauma* 12:591–600
- Robertson CS, Zager EL, Narayan RK et al (2010) Clinical evaluation of a portable near-infrared device for detection of traumatic intracranial hematomas. *J Neurotrauma* 27:1597–1604
- Leon-Carrion J, Dominguez-Roldan JM, Leon-Dominguez U, Murillo-Cabezas F (2010) The Infra-scanner, a handheld device for screening in situ for the presence of brain haematomas. *Brain Inj* 24:1193–1201
- Schulz C, Heinze S, Luelsdorf P, Klawki P (2004) Erfahrungen beim Einsatz eines mobilen laseroptischen Systems zur noninvasiven Detektion intrakranieller Hämatoome. *Intensivmed* 41:417–421
- Schulz C, Wörner U, Luelsdorf P, Klawki P (2005) Einsatz eines laseroptischen Systems zur noninvasiven Differenzierung zwischen Hirninfarkt und spontaner intrazerebraler Blutung. *Akt Neurol* 32:28–32
- Hubert-Wagner S, Lefering R, Qvick LM et al (2009) Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival. *Lancet* 373:1455–1461