

Cognitive aids for crisis management in anaesthesiology. Principles and applications

H. Eismann¹ · S. Schild² · C. Neuhaus³ · J. Baus⁴ · O. Happel⁵ · A.R. Heller⁶ · T. Richter⁷ · M. Weinert⁸ · B. Sedlmayr⁹ · M. Sedlmayr¹⁰ · M. St.Pierre¹¹

► **Zitierweise:** Eismann H, Schild S, Neuhaus C, Baus J, Happel O, Heller AR et al: Gedächtnis- und Entscheidungshilfen für Notfälle in der Anästhesiologie. Grundlagen und Anwendungen. *Anästh Intensivmed* 2020;61:239–247. DOI: 10.19224/ai2020.239

Gedächtnis- und Entscheidungshilfen für Notfälle in der Anästhesiologie

Grundlagen und Anwendungen



- 1 Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Medizinische Hochschule Hannover
- 2 Lehrstuhl für Medizinische Informatik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- 3 Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Heidelberg
- 4 Klinik für Anästhesiologie, Intensiv- und Schmerzmedizin, Unfallkrankenhaus Berlin
- 5 Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Würzburg
- 6 Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Augsburg
- 7 Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie, Universitätsklinikum Dresden
- 8 Helios Klinikum München West, München
- 9 Zentrum für Evidenzbasierte Gesundheitsversorgung, Universitätsklinikum und Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus, TU Dresden
- 10 Institut für Medizinische Informatik und Biometrie, Medizinische Fakultät Carl Gustav Carus, TU Dresden
- 11 Anästhesiologische Klinik, Universitätsklinikum Erlangen

Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Die Arbeitsgruppe hat Honorare für die Entwicklungsarbeit von eGENA von der Funk Stiftung erhalten.

Schlüsselwörter

Checkliste – Notfallversorgung – Web App – Entscheidungsfindung – Gedächtnis

Keywords

Cognitive Aid – Crisis Management – Web Application – Decision-making – Memory

Zusammenfassung

In der Anästhesiologie wird zunehmend anerkannt, dass der Stress einer Notfallsituation sowohl zu einer Einschränkung der individuellen Denk- und Leistungsfähigkeit als auch der Fähigkeit zur konstruktiven Teamarbeit führen kann. Als eine Möglichkeit, diese negativen Auswirkungen zu kompensieren, wird seit vielen Jahren in Analogie zur Luftfahrt die Verwendung von Notfallchecklisten oder Notfallmanuals vorgeschlagen. Während Checklisten seit Jahrzehnten Bestandteil des Sicherheitskonzepts in der Luftfahrt sind, hat sich deren Anwendung für Notfallsituationen in der Anästhesiologie noch nicht etabliert. Gründe hierfür sind, dass Aspekte der Benutzerfreundlichkeit nicht berücksichtigt wurden und dass sich die Checkliste nicht in etablierte Arbeitsprozesse einfügt. Die Anwendung von Checklisten in medizinischen Notfallsituationen scheidet jedoch vor allem am grundlegenden Unterschied zwischen den Systemeigenschaften eines technischen Gerätes und eines biologischen Wesens. Während es bei technischen Geräten möglich ist, den einen Prozessweg festzulegen, mit dem ein Problem am besten behoben werden kann, ist das Verhalten biologischer Systeme nicht vollständig vorhersehbar, sodass sich die Problemlösung nicht mittels einer linearen Checkliste erfassen lässt. Anstelle von Checklisten kann die Patientenversorgung von Gedächtnis- und Entscheidungshilfen (Cognitive Aid) pro-

fitieren, deren Aufgabe darin besteht, erfahrene Teams zu unterstützen, sich zu erinnern und die Notfallversorgung zu optimieren. Eine Arbeitsgruppe des Berufsverbands Deutscher Anästhesisten e.V. und der deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. hat in einem benutzerzentrierten Entwicklungsprozess eGENA entwickelt, welche alle Kriterien einer guten digitalen Gedächtnis- und Entscheidungshilfe erfüllt. Die Herausforderung wird darin bestehen, die physikalischen, kognitiven und sozialen Aspekte der Implementierung von eGENA in die bisherige Art der anästhesiologischen Notfallversorgung zu verstehen.

Summary

Anaesthesiology has witnessed a growing acknowledgement of the fact that stress can have a negative impact on individual cognitive function and effective team performance. Cognitive aids such as checklists have come to be viewed as promising tools in the management of critical events. While checklists have been an integral part of the safety strategy in aviation for many decades, there has been little progress in establishing related concepts in anaesthesiology. Reasons for this reluctance are the lack of usability of the cognitive aids developed and the fact that these cognitive artefacts do not support established treatment processes. The main reason, however, are the different system properties of technical devices and biological systems. While it is possible to define

the one best way of solving a technical problem and translate this knowledge into a linear checklist, the behaviour of biological systems is dynamic and adaptive, which makes it impossible to predict with certainty the cause of a pathophysiological disturbance and define the single best way to solve a problem. Rather than being restricted to a linear checklist, cognitive aids can improve emergency management by helping experienced teams to remember and excel. The German Cognitive Aid Working Group of the Professional Association of German Anaesthesiologists (BDA) and the German Society of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine (DGAI) has developed a digital cognitive aid for intraoperative emergencies in an iterative user-centred design process. The future challenge will be to understand the physical, cognitive and social aspects of implementing the cognitive aid into established processes of crisis management in anaesthesia.

Einleitung

Notfallsituationen in der Anästhesiologie stellen an die beteiligten Personen hohe Anforderungen in Bezug auf Entscheiden und Handeln unter Unsicherheit, Dynamik und Zeitdruck. Vital bedrohliche Situationen müssen erkannt, auf ihre pathophysiologische Ursache hin evaluiert und in Kooperation mit anderen Berufsgruppen und Fachdisziplinen zügig therapiert werden. In den vergangenen Jahren ist in akutmedizinischen Disziplinen, allen voran in der Anästhesiologie, das Bewusstsein um die Grenzen menschlicher Kognition in kritischen Situationen gewachsen. Dieser geänderten Sichtweise liegt eine Fülle an wissenschaftlicher Evidenz zugrunde, welche belegt, dass sich unter dem Einfluss von Stress nicht nur die Physiologie des Menschen, sondern auch sein Denken, Fühlen und Verhalten verändern [1]. Zu den charakteristischen kognitiven Veränderungen gehören

- eine **auf das aktuelle Problem begrenzte Wahrnehmung**, welche alternative Sichtweisen zu Diagnostik und Therapie verhindert sowie das Erkennen einer sich dynamisch

verändernden Situation erschwert („Tunnelblick“),

- eine **Beeinträchtigung des Langzeit- und Arbeitsgedächtnisses**, welche unter anderem den Abruf von selten genutzter Information erschwert und zu Fehlern bei der Berechnung von Dosierungen führt [2],
- eine **„oberflächlichere“ Art der Informationsverarbeitung**, welche dazu führt, dass komplexe Probleme auf einen einfachen Nenner gebracht werden („unangemessene Komplexitätsreduktion“) und auch bei neuartigen Problemen ein Rückgriff auf bekannte Denk- und Handlungsschemata erfolgt sowie
- eine **unbewusste Einengung auf individuelles Denken und Verhalten**, in deren Folge Situationsanalysen und Diskussionen im Team unterbleiben und Handlungen wenig koordiniert erfolgen. In Summe können erhöhte Stresslevel zu einer eingeschränkten Teamarbeit führen [3–5].

Die Erkenntnis darüber, dass der Stress einer Notfallsituation zu einer Einschränkung sowohl der individuellen Denk- und Leistungsfähigkeit als auch der Fähigkeit zur konstruktiven Teamarbeit führen, hat zu einem Einstellungswandel bei vielen Ärztinnen und Ärzten geführt: Galt es vor nicht allzu langer Zeit noch als Eingeständnis klinischer Unerfahrenheit und Inkompetenz, wenn in einer kritischen Situation eine externe Hilfe (z.B. Checkliste, Notfallmanual) zu Rate gezogen wurde [6], so akzeptieren Ärztinnen und Ärzte zunehmend ihre Grenzen und geben an, dass sie im Notfall eine Gedächtnis- und Entscheidungshilfe (Cognitive Aid) verwenden würden, sollte diese in geeigneter Form vorliegen [7,8].

Als weiterer Grund für die zunehmende Akzeptanz von Checklisten und Notfallmanuals in der Medizin ist neben den genannten Erkenntnissen der kognitiven Psychologie auch die Tatsache zu nennen, dass erfolgreiche Vorbilder in anderen Hochrisikobranchen (Luft- und Raumfahrt, Atomtechnik, Kraftwerksanlagen u.a.) existieren. Seit Jahrzehnten

sind Checklisten integraler Bestandteil des Sicherheitskonzepts in der Luftfahrt [9,10], sodass die Luftfahrt hier als Vorbild für die Medizin gesehen wird [11]. Eine problemlose Übertragung des Konzepts „Checkliste“ auf alle möglichen Bereiche der Gesundheitsversorgung ist jedoch nicht möglich, da sowohl soziokulturelle Unterschiede zwischen der Medizin und der Luftfahrt als auch systemtheoretische Unterschiede zwischen Menschen und technischen Artefakten existieren. Diese müssen angemessen berücksichtigt werden, wenn Checklisten oder andere Gedächtnis- und Entscheidungshilfen erfolgreich in die Patientenversorgung eingeführt werden sollen.

Luftfahrt und Medizin: soziokulturelle Unterschiede

Checklisten haben sich in der Luftfahrt in den vergangenen Jahrzehnten zu einem kulturellen Artefakt entwickelt, welches Piloten bei prozeduralem Arbeiten und bei der Entscheidungsfindung in Routine- und Notfallsituationen unterstützt. Die Arbeit mit diesen Entscheidungshilfen ist fester Bestandteil der berufsspezifischen Sozialisation: Ab dem ersten Tag als Flugschüler findet eine intensive Auseinandersetzung und Schulung mit den verschiedenen Formen von Checklisten statt. Neben Checklisten für den Routinebetrieb („normal checklist“) existieren Checklisten für seltene Ereignisse und Notfälle („non-normal/emergency checklist“), die häufig in einem „Quick Reference Handbook“ (QRH) zusammengefasst sind. Aufgrund der seltenen Anwendung eines QRH im Routinebetrieb ist das Verständnis für die Kritikalität einer Situation direkt mit dem Einsatz des QRH verknüpft. Wird das QRH zur Hand genommen, so ist allen Anwesenden im Cockpit unmissverständlich das Vorliegen einer Situation außerhalb der Routine bewusst. Entscheidend für den erfolgreichen Einsatz von Checklisten in der Luftfahrt ist jedoch die zugrundeliegende Nutzungsphilosophie, welche in dieser Form im Gesundheitswesen nicht existiert: Die Checkliste wird als

Entscheidungshilfe im gesamten operationellen Konzept des Flugbetriebs angesehen und gezielt eingesetzt. Quick Reference Handbücher sind im Cockpit immer redundant in Papierform oder auf Tablets vorhanden bzw. werden auf Bildschirmen im Cockpit dargestellt. Theoretisch gibt es zwei unterschiedliche Arten, eine Checkliste anzuwenden, welche in der Praxis mit teilweise fließenden Übergängen gelebt werden:

- Eine Möglichkeit ist die „**Challenge-Response**“-Methode, bei der eine Tätigkeit zunächst aus dem Gedächtnis durchgeführt wird (z.B. die Konfiguration eines Flugzeugs für die Landung, mit Landeklappen, Trimmung, Triebwerkeinstellungen etc.) und danach mit Hilfe der Checkliste sichergestellt wird, dass keine kritischen Schritte vergessen wurden. Hierbei liest ein Besatzungsmitglied jeden Punkt der Checkliste vor („challenge“); nachdem beide Besatzungsmitglieder die korrekte Einstellung überprüft haben, bestätigt das andere Besatzungsmitglied dieses verbal („response“).
- Die andere Möglichkeit ist die „**Do-list**“-Methode, bei der die Checkliste dazu dient, die Aktionen der Crew zu steuern. Nachdem ein Besatzungsmitglied einen Punkt der Checkliste vorgelesen hat, wird die erforderliche Aktion von dem anderen Besatzungsmitglied durchgeführt und verbal bestätigt. Dieses Vorgehen ist zeitaufwändiger und wird in der Regel bei besonders kritischen Konfigurationsschritten, wie z.B. dem Abschalten eines Triebwerkes während des Fluges, verwendet.

Bei der Verwendung des Quick Reference Handbooks wird eine Mischform beider Methoden angewandt: Nach dem Abarbeiten vorher definierter Notfallschritte aus dem Gedächtnis („memory items“) ist eine Person für das Aufsuchen und laute Vorlesen der passenden Checkliste verantwortlich, während die andere Person die darin enthaltenen Schritte ausführt bzw. eine bereits

erfolgte Ausführung bestätigt. Ein wesentlicher Aspekt bei der Anwendung der genannten Methoden ist die vorausgegangene jahrelange, intensive Schulung des Personals im Umgang mit den Checklisten. Ein weiteres Beispiel dafür, wie sehr Checklisten in ihren verschiedenen Varianten Teil des Arbeitsplatzes im Cockpit geworden sind, stellt der Zertifizierungsprozess dar, der für die Erstellung einer Checkliste notwendig ist: Damit ein Hersteller ein Flugzeug zulassen kann, muss er für diesen Flugzeugtyp Checklisten für „normal“ und „non-normal/emergency“-Situationen erstellen und auf Praktikabilität und inhaltliche Kohärenz getestet haben. Kauft eine Fluggesellschaft dieses Flugzeug, so modifiziert es diese Checklisten gemäß ihren operationellen Bedürfnissen und lässt diese erneut zertifizieren, zusammen mit einem Implementierungs- und Trainingsprogramm, welches ebenfalls gesetzliche Anforderungen erfüllen muss.

Technik und Mensch: unterschiedliche Systemeigenschaften

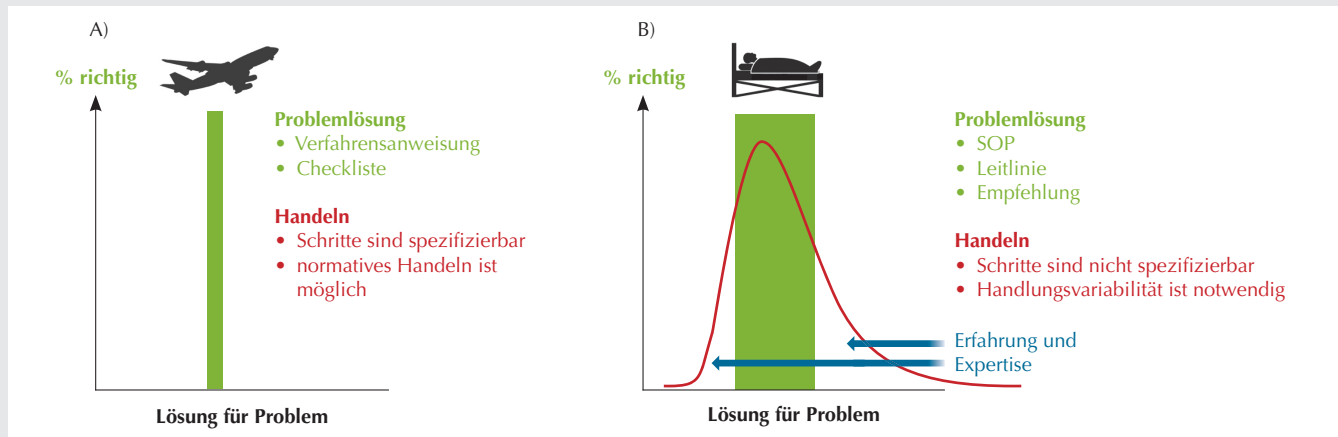
Sowohl von dem zertifizierten Erstellungsprozess von Checklisten als auch von einem kulturell fest verankerten Einsatz von Checklisten für den Routine- und Notfallbetrieb ist die Medizin weit entfernt. Der Hauptgrund hierfür liegt jedoch weniger im Unwillen oder Unvermögen der im Gesundheitswesen Beschäftigten, als vielmehr in dem grundlegenden Unterschied zwischen den Systemeigenschaften eines technischen Gerätes und eines biologischen Wesens, zwischen „komplizierten“ und „komplexen“ Systemen [12,13] (Abb. 1).

Die Unterscheidung zwischen „kompliziert“ und „komplex“ erfolgt hierbei nicht anhand der Anzahl der Einzelbestandteile eines Systems (ob es aus wenigen oder vielen Einzelkomponenten besteht), sondern anhand der Wechselwirkung der Systemkomponenten, die entweder linear oder nicht-linear interagieren können. Technische Systeme sind von Menschen konzipiert und konstruiert

und somit für den Menschen prinzipiell verständlich. Die Eigenschaften von Systemkomponenten werden im Entwicklungsprozess genau festgelegt, sodass diese genau umschriebene und somit vorhersehbare Auswirkungen auf andere Komponenten haben. Das Verhalten des Ganzen lässt sich aus dem Verständnis der Einzelkomponenten und deren Interaktion vorhersagen. Da die Eigenschaften in einem technischen Dokument spezifiziert werden können, kann auch die eine richtige Art, das technische Gerät zu bedienen, als Norm festgelegt werden. Somit ist es in der Luftfahrt beispielsweise möglich, aufgrund der Homogenität der Flugzeugtypen für jede Flugbedingung sowohl im Routinebetrieb als auch im Notfall den einen Prozessweg zu definieren, der eine optimale Performance ermöglicht und diesen herstellerseitig in den typenspezifischen „normal“ und „non-normal/emergency“-Checklisten verbindlich festzulegen [14]. Systeme mit diesen Eigenschaften werden als **lineare Systeme** bezeichnet.

Anders hingegen verhält es sich mit biologischen Systemen, die sich selbstständig an Veränderungen der Innenwelt und der Außenwelt anpassen können. Die resultierende Antwort des Organismus kann zu einer Verstärkung, Abschwächung oder Umwandlung des Reizes führen, sofort oder mit zeitlicher Latenz erfolgen, den Erwartungen entsprechen, aber auch unerwartete Fern- und Nebenwirkungen haben. Das Verhalten des Ganzen lässt sich somit nicht immer aus dem Verständnis der Einzelkomponenten vorhersagen. Da das Verhalten biologischer Systeme im Einzelfall weder spezifizierbar noch vorhersehbar ist, sondern aus einer individuell angepassten Antwort resultiert, werden solche Systeme, zu denen auch der menschliche Organismus gehört, auch als komplex adaptiv bezeichnet [13]. Weil die behandelnden Personen nicht mit Sicherheit wissen können, welche physiologische und pathophysiologische Reaktion ein Patient zeigen wird, müssen sie ihr Handeln der jeweiligen individuellen Situation anpassen. Zwar können Handlungsempfehlungen für die

Abbildung 1



Unterschied zwischen einem linearen („komplizierten“) technischen System und einem nicht-linearen („komplexen“) biologischen System.

A) In einem technischen System wie einem Flugzeug sind die Interaktionen der einzelnen Systemkomponenten bekannt, sodass die Entwickler für jede Störung (gerahmter Balken) die Reihenfolge der Handlungsschritte definieren können, die zu einer 100%igen Problemlösung führt (grüne Fläche). Diese werden in Verfahrensanweisungen verbindlich festgelegt und können mittels Checkliste abgearbeitet werden. Ein Beispiel hierfür wäre der Ausfall eines Triebwerks.

B) In einem biologischen System wie dem Menschen kann ein und dasselbe Symptom eine Reihe an Ursachen haben, deren Häufigkeiten einer nicht-normalen Verteilung folgen (rote Kurve). Für diese pathophysiologische Störung kann ein Erwartungshorizont an Maßnahmen definiert werden, der bei der Mehrheit der Patienten (i.e. der „Durchschnittspatient“) zu einer Problemlösung führt (grüne Fläche). Dieser Erwartungshorizont ist variabler als der Lösungsbereich für ein technisches Problem und erfasst nicht alle denkbaren Möglichkeiten. Für das therapeutische Vorgehen innerhalb dieses Erwartungshorizonts können Empfehlungen oder „Leit-Linien“ vorgegeben werden. Jedoch sind sowohl für deren Anwendung als auch für Patienten außerhalb des Erwartungshorizontes klinische Erfahrung und Expertise notwendig. Somit ist weder eine verbindliche Vorgabe noch die Behandlung mittels linearer Checkliste möglich. Ein Beispiel hierfür sind die Diagnostik und Therapie des plötzlichen Sättigungsabfalls.

am häufigsten auftretenden Systemreaktionen gegeben werden (i.e. wie sich der „Durchschnittspatient“ verhalten würde), aber sowohl für die Einschätzung, ob ein konkreter Patient jetzt die Kriterien eines „Durchschnittspatienten“ erfüllt, als auch für Diagnostik und Therapie derjenigen Patienten, die außerhalb dieses Bereiches zu liegen kommen, sind klinische Erfahrung und Expertise notwendig [15]. Im Gegensatz zu Notfällen in der Luftfahrt ist es daher nicht möglich, für Notfälle in der Medizin **den einen** Prozessweg zu definieren, der bei jedem Patienten eine optimale Performance ermöglicht. Da es nicht möglich ist, den Prozessweg zu definieren, kann dieser auch nicht mittels einer linearen Checkliste erfasst und abgefragt werden.

Des Weiteren bestehen qualitative Unterschiede hinsichtlich der Rückmeldung aus dem System: Im Gegensatz zu technischen Systemen, in denen ein Feedback in der Regel durch definierte Sensoren erfolgt und somit zu Lokalisation, Qualität und Quantität spezifisch

ist, sind die Vitaldaten eines Patienten mehrdeutig und können auf eine Vielzahl zugrundeliegender Erkrankungen zurückzuführen sein. Kurzum: Flugzeuge sind kompliziert, Patienten hingegen komplex. Zusammengenommen ergibt sich die für die Patientenversorgung relevante Konsequenz, dass eine externe Unterstützung dem Behandlungsteam die einzelnen Handlungsschritte für jeden denkbaren Patienten nicht als „Notfallcheckliste“ starr vorschreiben kann. Vielmehr sollte sie als „Gedächtnis- und Entscheidungshilfe“ (GEH) durch eine kontextabhängige Informationspräsentation den Entscheidungsprozess des Kliniklers und die Teamarbeit unterstützen. Auf dem Hintergrund der Variabilität des Patientenkollektivs, der Präsentation der Grunderkrankung und der situativ divergierenden therapeutischen Maßnahmen sollte die Herausforderung, die sich daraus sowohl für die Entwicklung als auch die Implementierung einer Gedächtnis- und Entscheidungshilfe für Notfallsituationen in der Anästhesiologie ergibt, nicht unterschätzt werden [16, 17].

Gedächtnis- und Entscheidungshilfen in der Anästhesiologie

Die wesentliche Funktion einer Gedächtnis- und Entscheidungshilfe (GEH) für Notfälle in der Anästhesiologie wird darin bestehen, erfahrene und trainierte Teams zu unterstützen, sich an wesentliche Informationen zu erinnern und das Handeln zu optimieren, nicht jedoch darin, Anfängern zu helfen, eine Situation alleine zu bewältigen, die jenseits ihrer Expertise liegt [18]. Gedächtnis- und Entscheidungshilfen setzen somit bei den behandelnden Teams die medizinische Kompetenz im Umgang mit dem Notfall voraus und sollen dem Umstand Rechnung tragen, dass die Seltenheit eines Notfalls in Kombination mit den genannten Einflüssen von akutem Stress zu vorschneller Festlegung, begrenzten differentialdiagnostischen Überlegungen, Vergessen von Handlungsschritten und therapeutischer Variabilität jenseits aktueller Leitlinien führen kann. Mit dieser Zielsetzung unterscheidet sich eine Gedächtnis- und Entscheidungshilfe

ganz grundlegend von einer „Standard Operating Procedure“ (SOP), einer Handlungsempfehlung oder einer Leitlinie. Während alle drei unterschiedlich detailliert und umfangreich relevantes Wissen unabhängig von einer konkreten Situation vermitteln, unterstützen Gedächtnis- und Entscheidungshilfen den Benutzer durch eine knapp formulierte Präsentation essenzieller Informationen (z.B. Symptome, Diagnose, Differentialdiagnose, Therapie), durch Bereitstellung wichtiger lokaler Informationen (z.B. wesentliche Telefonnummern, Aufbewahrungsorte selten genutzter Medikamente) und gegebenenfalls durch eine Dosisberechnung [19] bei der Bewältigung eines konkreten Notfalls. Über eine Unterstützung der individuellen Entscheidungsfindung hinaus können gut gestaltete Gedächtnis- und Entscheidungshilfen auch Teamprozesse in einem Notfall verbessern [20–22]. Sie sind in der Lage, die Bildung gemeinsamer verbindlicher Vorstellungen über die Art des Problems, des aktuellen Therapieziels und der erforderlichen Behandlungsmaßnahmen („geteiltes mentales Modell“) anzuregen und eine effizientere Kommunikation und Koordination im Team zu etablieren.

Hinweise für die Wirksamkeit von Gedächtnis- und Entscheidungshilfen

Wenngleich in jüngster Zeit die Stimmen lauter werden, die einen routinemässigen Einsatz von „Cognitive Aids“ in anästhesiologischen Notfallsituationen fordern [6,18], so gibt es zum gegenwärtigen Zeitpunkt wenig belastbare Informationen zum Einsatz von Gedächtnis- und Entscheidungshilfen im klinischen Alltag. Während bis zu 80% der Kliniker angeben, eine Gedächtnis- und Entscheidungshilfe im Notfall verwenden zu wollen (sollte eine solche existieren) [7,8,23,24], scheint der Anteil derjenigen, die bei vorhandenen Gedächtnis- und Entscheidungshilfen diese auch tatsächlich verwenden, bei weniger als 10% zu liegen [25,26]. Was wir augenblicklich über den Einsatz von

Gedächtnis- und Entscheidungshilfen in der Anästhesiologie wissen, stammt daher fast ausschließlich aus simulationsbasierten Studien zu „Cognitive Aids“ (Übersicht bei [27–30]). Während in den frühen Studien noch Poster und papierbasierte Checklisten zum Einsatz kamen, wurden in den vergangenen Jahren zunehmend Untersuchungen mit digitalen Endgeräten publiziert (Tab. 1). Mit wenigen Ausnahmen hat der Einsatz einer Gedächtnis- und Entscheidungshilfe in fast allen aufgeführten Studien zu einer signifikanten Reduktion an Wissensfehlern und zu einer verbesserten technischen und nicht-technischen Performance der behandelnden Teams geführt.

eGENA – die Initiative von BDA und DGAI

Da die Ergebnisse aus den Simulationsstudien trotz der eingeschränkten Übertragbarkeit auf den klinischen Alltag ermutigend sind und darüber hinaus die eingangs genannten kognitionspsychologischen Argumente für die Verwendung von Gedächtnis- und Entscheidungshilfen in der anästhesiologischen Notfallversorgung sprechen, haben der Berufsverband Deutscher Anästhesisten e.V. (BDA) und die deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI) im Rahmen eines Stiftungsprojektes der Funk-Stiftung eine Arbeitsgruppe („German Cognitive

Aid Working Group“) damit beauftragt, eine „elektronische Gedächtnis- und Entscheidungshilfe für Notfälle in der Anästhesiologie“ zu entwickeln: eGENA (Abb. 2). Für die Entwicklung einer digitalen Gedächtnis- und Entscheidungshilfe sprachen aus Sicht der Arbeitsgruppe vor allem die erweiterten Funktionalitäten hinsichtlich folgender Punkte:

- ständige offline-Verfügbarkeit auf jedem Endgerät
- Interaktivität
- erweiterten Suchfunktionen
- Möglichkeit für Kliniken und Abteilungen, relevante Informationen zu editieren und an die lokalen Verhältnisse zu adaptieren
- leichte Aktualisierbarkeit der medizinischen Inhalte bei Änderungen der Leitlinienempfehlungen.

Bei der Entwicklung von digitalen und interaktiven Systemen für Notfallsituationen gilt es zu bedenken, dass das resultierende Produkt sowohl mit den kognitiven Prozessen des Anästhesisten als auch mit den Teamprozessen im OP-Saal in Einklang sein muss, um diese wirksam unterstützen zu können. Ist dies nicht oder nur eingeschränkt der Fall, wird das resultierende Produkt vom Anwender nicht eingesetzt. Im Rahmen der Entwicklung reicht es somit nicht, einfach eine Papiercheckliste in eine digitale Checkliste zu überführen, da das Resultat je nach Auflösungsmöglichkeiten des Endgerätes schwerfälliger zu bedienen sein kann als ein papierbasier-

Abbildung 2



eGENA kann als Progressive Web Applikation (PWA) auf dem Home-Bildschirm eines Tablets oder PCs abgelegt und von dort gestartet werden. Die Auswahl eines Notfalls erfolgt immer über die Anwahl eines Patiententypen gefolgt von einer der vier Wahlmöglichkeiten: Reanimation, alphabetische Suche, ABCDE-Schema, Körternavigator.

tes Notfallmanual [31]. In vielen der in Tabelle 1 aufgeführten Studien wurden kognitive Hilfsmittel eingesetzt, die von den Autoren selbst entworfen und grafisch gestaltet wurden. Bei der Entwicklung von eGENA hingegen wurde auf die Einhaltung eines benutzerzentrierten Entwicklungsprozesses („User Centered Design-Process“; UCD) geachtet, bei dem Struktur, Textgestaltung und grafische Darstellung den Kriterien eines benutzerfreundlichen Systems („usability“) entsprechen [32–34]. Einzelheiten sowohl zu dem Design-Prozess als auch zu den Anforderungen an das zugrundeliegende Datenmodell sind mittlerweile publiziert [35,36].

Start von eGENA und offene Fragen

In der nächsten Ausgabe dieser Zeitschrift werden sowohl die Informationen zum Download und zur fakultativen Nutzerregistrierung als auch ein Bedienungsmanual zur Verfügung gestellt. Ebenso werden Schulungsunterlagen online erhältlich sein, mit denen die Einführung von eGENA in den Kliniken vorbereitet und durchgeführt werden kann. In der aktuellen Version wird nur die Darstellung auf Endgeräten im Querformat (Tablet, iPad, Bildschirm) unterstützt; ab dem kommenden Jahr wird auch eine Anwendung mittels Smartphone/iPhone möglich sein.

Im Augenblick kann nicht abgeschätzt werden, wie sich die Verfügbarkeit von eGENA auf etablierte Arbeitsprozesse und auf das anästhesiologische Zwischenfallsmanagement auswirken wird. Gelegentlich findet sich die Herangehensweise, auf die Erfolgsgeschichte von Checklisten in der Luftfahrt zu verweisen und die Einführung und Anwendung von „Notfallchecklisten“ einfach zu fordern. Die zugrundeliegende Hoffnung, dass sich die Anwendung von „Notfallchecklisten“ schon „irgendwie“ im Alltag etablieren wird, erscheint aus Sicht der Arbeitsgruppe nicht begründet. Vielmehr wird es in einem systemischen Ansatz darum gehen müssen, die physikalischen, kognitiven und

sozialen Aspekte der Implementierung eines neuen technischen Artefakts in die momentane Art der anästhesiologischen Notfallversorgung zu verstehen [37]. Diese Herausforderung erscheint wesentlich größer als die Frage nach dem Design und den Funktionalitäten einer Checkliste, welche im Rahmen des UCD-Prozesses bereits erfolgreich gelöst wurden. Der kategoriale Irrtum einer „einfachen Notfallcheckliste“ liegt in der Annahme, dass ein technisches Artefakt („Checkliste“) ein soziokulturelles Problem lösen kann [38]. Nur, wenn diese Aspekte der Implementierung verstanden werden, besteht die Hoffnung, dass die Prozesse der anästhesiologischen Patientenversorgung mit Augenmaß und Sachverstand (und langem Atem) dahingehend verändert werden können, dass sich die Verwendung einer Gedächtnis- und Entscheidungshilfe möglichst natürlich in die Entscheidungs- und Therapieprozesse der anästhesiologischen Notfallversorgung in deutschen Operationssälen integrieren lässt. Von dieser Hoffnung hat sich die Arbeitsgruppe bei der Entwicklung von eGENA leiten lassen.

Danksagung

eGENA wurde mit Fördergeldern der Funk-Stiftung im Rahmen des Risikomanagement-Projektes RM-FS3-2017-1 „Entwicklung einer nationalen digitalen Notfallcheckliste für die Anästhesiologie zur Bewältigung von intraoperativen Notfallsituationen unter Berücksichtigung von Usability-Aspekten und Erfahrungen aus der Luftfahrt“ realisiert.

Unser besonderer Dank gilt Frau Kapitänin Pamela de Beus, TUI fly, für ihre Begleitung des Projektes und für viele wertvolle Einsichten sowohl in die Nutzungsphilosophie als auch in Schulungskonzepte zur Verwendung von Checklisten in der Luftfahrt.

Des Weiteren gilt unser Dank Herrn Mathias Lenschow und Herrn Dr. Alexander Klein, Funk Versicherung, für ihre leidenschaftliche Unterstützung des Projektes, ohne die eine Realisierung schwer denkbar gewesen wäre.

Literatur

1. St.Pierre M, Hofinger G: Human Factors und Patientensicherheit in der Akutmedizin, 4. Auflage. Heidelberg: Springer 2020
2. Schwabe L, Joels M, Roozendaal B, Wolf OT, Oitzl MS: Stress effects on memory: an update and integration. *Neurosci Biobehav Rev* 2012;36(7):1740–1749
3. LeBlanc V: The effects of acute stress on performance: Implications for health professions education. *Acad Med* 2009;84(10):S25–S33
4. Staal M: Stress, cognition, and human performance: a literature review and conceptual framework. In: NASA technical memorandum. vol. 212824: Ames Research Center; 2004
5. Cannon-Bowers JA, Salas E: Making Decisions Under Stress: Implications for Individual and Team Training: American Psychological Association; 1998
6. Gaba DM: Perioperative cognitive aids in anesthesia: what, who, how, and why bother? *Anesth Analg* 2013;117(5):1033–1036
7. Goldhaber-Fiebert SN, Pollock J, Howard SK, Berecknye Merrell S: Emergency Manual Uses During Actual Critical Events and Changes in Safety Culture From the Perspective of Anesthesia Residents: A Pilot Study. *Anesth Analg* 2016;123(3):641–649
8. St.Pierre M, Luetcke B, Strembski D, Schmitt C, Breuer G: The effect of an electronic cognitive aid on the management of ST-elevation myocardial infarction during caesarean section: a prospective randomised simulation study. *BMC Anesthesiology* 2017;17(1):46
9. Neuhaus C, Hofer S, Hofmann G, Wachter C, Weigand MA, Lichtenstern C: Perioperative Safety: Learning, Not Taking, from Aviation. *Anesth Analg* 2016;122(6):2059–2063
10. Kapur N, Parand A, Soukup T, Reader T, Sevdalis N: Aviation and healthcare: a comparative review with implications for patient safety. *JRSM Open* 2016;7(1):2054270415616548
11. Toff NJ: Human factors in anaesthesia: lessons from aviation. *British Journal of Anaesthesia* 2010;105(1):21–25
12. Durso FT, Drews FA: Health Care, Aviation, and Ecosystems. *Current Directions in Psychological Science* 2010;19(2):71–75
13. Sturmburg JP, Martin CM: Handbook of Systems and Complexity in Health: Springer 2013

14. Clay-Williams R, Colligan L: Back to basics: checklists in aviation and health-care. *BMJ Qual Saf* 2015;24(7):428–431
15. Klein DE, Woods DD, Klein G, Perry SJ: Can We Trust Best Practices? Six Cognitive Challenges of Evidence-Based Approaches. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making* 2016;10(3):244–254
16. Szabo A, August DA, Klainer S, Miller AD, Kaye AD, Raemer DB, Urman RD, et al: The use of emergency manuals in perioperative crisis management: a cautious approach. *The Journal of medical practice management* 2015;30(6):8–12
17. Webster CS: Checklists, cognitive aids, and the future of patient safety. *Br J Anaesth* 2017;119(2):178–181
18. Marshall SD: Helping experts and expert teams perform under duress: an agenda for cognitive aid research. *Anaesthesia* 2017;72(3):289–295
19. Wirtz S, Eich C, Becke K, Brenner S, Callies A, Harding U et al: Anwendung kognitiver Hilfsmittel im Kindernotfall. Interdisziplinär konsentiertere Stellungnahme. *Anaesthesist* 2017;66(5):340–346
20. Marshall S: The effect of cognitive aids on formation and functioning of teams in medical emergencies. Submitted for the degree of Doctor of Philosophy at The University of Queensland in 2015. Queensland: University of Queensland 2015
21. Harrison TK, Manser T, Howard SK, Gaba DM: Use of cognitive aids in a simulated anesthetic crisis. *Anesth Analg* 2006;103(3):551–556
22. Lelaïdier R, Balanca B, Boet S, Faure A, Lilot M, Lecomte F, et al: Use of a handheld digital cognitive aid in simulated crises: the MAX randomized controlled trial. *Br J Anaesth* 2017;119:5:1015–1021
23. Ziewacz JE, Arriaga AF, Bader AM, Berry WR, Edmondson L, Wong JM, et al: Crisis checklists for the operating room: development and pilot testing. *J Am Coll Surg* 2011;213(2):212–217 e210
24. St.Pierre M, Breuer G, Strembski D, Schmitt C, Luetcke B: Does an electronic cognitive aid have an effect on the management of severe gynaecological TURP syndrome? A prospective, randomised simulation study. *BMC Anaesthesiology* 2017;17(72)
25. Mills PD, DeRosier JM, Neily J, McKnight SD, Weeks WB, Bagian JP: A cognitive aid for cardiac arrest: you can't use it if you don't know about it. *Jt Comm J Qual Saf* 2004;30(9):488–496
26. Neily J, DeRosier JM, Mills PD, Bishop MJ, Weeks WB, Bagian JP: Awareness and use of a cognitive aid for anesthesiology. *Jt Comm J Qual Patient Saf* 2007;33(8):502–511
27. Goldhaber-Fiebert SN, Howard SK: Implementing emergency manuals: can cognitive aids help translate best practices for patient care during acute events? *Anesth Analg* 2013;117(5):1149–1161
28. Hepner DL, Arriaga AF, Cooper JB, Goldhaber-Fiebert SN, Gaba DM, Berry WR, et al: Operating Room Crisis Checklists and Emergency Manuals. *Anesthesiology* 2017;127(2):384–392
29. Marshall SD: The use of cognitive aids during emergencies in anesthesia: a review of the literature. *Anesth Analg* 2013;117(5):1162–1171
30. Wen LY, Howard SK: Value of expert systems, quick reference guides and other cognitive aids. *Curr Opin Anaesthesiol* 2014, 27(6):643–648
31. Watkins SC, Anders S, Clebone A, Hughes E, Patel V, Zeigler L, et al: Mode of Information Delivery Does Not Effect Anesthesia Trainee Performance During Simulated Perioperative Pediatric Critical Events: A Trial of Paper Versus Electronic Cognitive Aids. *Simul Healthc* 2016;11(6):385–393
32. Burian B: Design guidance for emergency and abnormal checklists in aviation. In: *Proceedings of the human factors and ergonomics society 50th annual meeting*; 2006; San Francisco 2006
33. UK Civil Aviation Authority: CAP 708: a Guidance on the Design, Presentation and Use of Electronic Checklists. London, England: CAA Safety Regulation Group; 2005
34. Evans D, McCahon R, Barley M, Norris A, Khajuria A, Moppett I: Cognitive Aids in Medicine Assessment Tool (CMAT): preliminary validation of a novel tool for the assessment of emergency cognitive aids. *Anaesthesia* 2015;70(8):922–932
35. Schild S, Sedlmayr B, Schumacher A-K, Sedlmayr M, Prokosch H-U, St.Pierre M: A Digital Cognitive Aid for Anesthesia to Support Intraoperative Crisis Management: Results of the User-Centered Design Process. *JMIR Mhealth Uhealth* 2019;7(4):e13226
36. Schild S, Gründner J, Gulden C, Prokosch HU, St.Pierre M, Sedlmayr M: Data model requirements for a digital cognitive aid for anesthesia to support intraoperative crisis management. *Applied Clinical Informatics* 2020;11(1):190–199
37. Wilson JR: Fundamentals of systems ergonomics/human factors. *Applied Ergonomics* 2014;45(1):5–13
38. Bosk CL, Dixon-Woods M, Goeschel CA, Pronovost PJ: Reality check for checklists. *Lancet* 2009;374(9688):444–445
39. Arriaga AF, Bader AM, Wong JM, Lipsitz SR, Berry WR, Ziewacz JE, et al: Simulation-based trial of surgical-crisis checklists. *N Engl J Med* 2013;368(3):246–253
40. Behrens V, Dudaryk R, Nedeff N, Tobin JM, Varon AJ: The Ryder Cognitive Aid Checklist for Trauma Anesthesia. *Anesthesia & Analgesia* 2016;122(5):1484–1487
41. Bould MD, Hayter MA, Campbell DM, Chandra DB, Joo HS, Naik VN: Cognitive aid for neonatal resuscitation: a prospective single-blinded randomized controlled trial. *Br J Anaesth* 2009;103(4):570–575
42. Burden AR, Carr ZJ, Staman GW, Littman JJ, Torjman MC: Does every code need a “reader?” improvement of rare event management with a cognitive aid “reader” during a simulated emergency: a pilot study. *Simul Healthc* 2012;7(1):1–9
43. Clebone A, Burian BK, Watkins SC, Gálvez JA, Lockman JL, Heitmiller ES, et al: The Development and Implementation of Cognitive Aids for Critical Events in Pediatric Anesthesia: The Society for Pediatric Anesthesia Critical Events Checklists. *Anesthesia & Analgesia* 2017;124(3):900–907
44. Clebone A, Burian BK, Tung A: The effect of cognitive aid design on the perceived usability of critical event cognitive aids. *Acta Anaesthesiol Scand* 2019;64:3:378–384
45. Coopmans VC, Biddle C: CRNA performance using a handheld, computerized, decision-making aid during critical events in a simulated environment: a methodologic inquiry. *AANA J* 2008;76(1):29–35
46. Hardy J-B, Gouin A, Damm C, Compère V, Veber B, Dureuil B: The use of a checklist improves anaesthesiologists' technical and non-technical performance for simulated malignant hyperthermia management. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine* 2018;37(1):17–23
47. Hilton G, Daniels K, Goldhaber-Fiebert SN, Lipman S, Carvalho B, Butwick A: Checklists and multidisciplinary team performance during simulated obstetric hemorrhage. *International Journal of Obstetric Anesthesia* 2016;25:9–16
48. Hoefnagel AL, Rajan S, Martin A, Mahendra V, Knutson AK, Uejima JL, et al: Cognitive Aids for the Diagnosis and Treatment of Neuroanesthetic Emergencies: Consensus Guidelines on Behalf of the Society for Neuroscience in Anesthesiology and Critical Care

- (SNACC) Education Committee. J Neurosurg Anesthesiol 2019;31(1):7–17
49. King R, Hanhan J, Harrison TK, Kou A, Howard SK, Borg LK, et al: Using eye tracking technology to compare the effectiveness of malignant hyperthermia cognitive aid design. Korean J Anesthesiol 2018;71(4):317–322
50. Lipps J, Meyers L, Winfield S, Durda M, Yildiz V, Kushelev M: Physiologically Triggered Digital Cognitive Aid Facilitates Crisis Management in a Simulated Operating Room: A Randomized Controlled Study. Simul Healthc 2017;12(6):370–376
51. Low D, Clark N, Soar J, Padkin A, Stoneham A, Perkins GD, et al: A randomised control trial to determine if use of the iResus(c) application on a smart phone improves the performance of an advanced life support provider in a simulated medical emergency. Anaesthesia 2011;66(4):255–262
52. Marshall SD, Mehra R: The effects of a displayed cognitive aid on non-technical skills in a simulated 'can't intubate, can't oxygenate' crisis. Anaesthesia 2014;69(7):669–677
53. Marshall SD, Sanderson P, McIntosh CA, Kolawole H: The effect of two cognitive aid designs on team functioning during intra-operative anaphylaxis emergencies: a multi-centre simulation study. Anaesthesia 2016;71:4:389–404
54. McEvoy MD, Hand WR, Stoll WD, Furse CM, Nietert PJ: Adherence to guidelines for the management of local anesthetic systemic toxicity is improved by an electronic decision support tool and designated "Reader". Reg Anesth Pain Med 2014;39(4):299–305
55. McMillan NK, Rosen MA, Shilkofski NA, Bradshaw JH, Saliski M, Hunt EA: Cognitive Aids Do Not Prompt Initiation of Cardiopulmonary Resuscitation in Simulated Pediatric Cardiopulmonary Arrests. Simulation in Healthcare 2018;13(1):41–46
56. Neal JM, Hsiung RL, Mulroy MF, Halpern BB, Dragnich AD, Slee AE: ASRA checklist improves trainee performance during a simulated episode of local anesthetic systemic toxicity. Reg Anesth Pain Med 2012;37(1):8–15
57. Nelson KL, Shilkofski NA, Haggerty JA, Saliski M, Hunt EA: The use of cognitive AIDs during simulated pediatric cardiopulmonary arrests. Simul Healthc 2008;3(3):138–145
58. Runciman WB: Crisis management during anaesthesia: the development of an anaesthetic crisis management manual. Quality and Safety in Health Care 2005;14(3):e1–e1
59. Schneider AJ, Murray WB, Mentzer SC, Miranda F, Vaduva S: "Helper:" A critical events prompter for unexpected emergencies. J Clin Monit 1995;11(6):358–364
60. Shear TD, Deshur M, Benson J, Houg S, Wang C, Katz J, et al: The Effect of an Electronic Dynamic Cognitive Aid Versus a Static Cognitive Aid on the Management of a Simulated Crisis: A Randomized Controlled Trial. Journal of Medical Systems 2019;43(1):6
61. Tobin JM, Grabinsky A, McCunn M, Pittet JF, Smith CE, Murray MJ, et al: A checklist for trauma and emergency anesthesia. Anesth Analg 2013;117(5):1178–1184.

Korrespondenz- adresse



**Priv.-Doz. Dr.
Michael St.Pierre,
MSc, DEAA**

Anästhesiologische Klinik
Universitätsklinikum Erlangen
Krankenhausstraße 12
91054 Erlangen

Tel.: 09131 854 2308 (DECT)

E-Mail:

michael.st.pierre@uk-erlangen.de

ORCID-ID: 0000-0001-6263-5261

Tabelle 1 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Übersicht über Simulationsstudien zum Einsatz von Gedächtnis- und Entscheidungshilfen („cognitive aids“) bei anästhesiologischen Notfällen. Die Auflistung erfolgt in alphabetischer Reihenfolge der Autoren.

Autor	Medium	Inhalt/Zielsetzung	Entwicklungsprozess	Ergebnis
Arriaga et al. 2013 [39]	Checklisten (Manual)	Verschiedene Notfälle	Expertenkonsensus, Design durch Autoren	75%-ige Reduktion an fehlerhaften Schritten, wenn GEH verwendet wurde
Behrens et al. 2016 [40]	Piktogramm	Narkose für Trauma-patienten	Guidelines; Design durch Autoren	k.a.
Bould et al. 2009 [41]	Poster	Neugeborenenreanimation	Guidelines; Design durch Autoren	Anwender wurden nicht geschult. GEH verbessert Handeln nicht. GEH wurde kaum verwendet.
Burden et al. 2012 [42]	Poster	Maligne Hyperthermie/ Peripartale Reanimation	Vorgefertigtes Poster (AHA; MHAUS)	Verbesserte Performance, wenn eine Person („Reader“) die Handlungsschritte vorliest
Clebone et al. 2017 [43]	Digital: Smart-phone	Checklisten für pädiatrische Notfälle	Expertenkonsensus, Design durch Autoren	k.a.
Clebone et al. 2019 [44]	Checklisten (3 Designs)	Vergleich verschiedener Darstellungsformen	Expertenkonsensus, Design durch Autoren	Bestimmte Designformen haben Vorteile
Coopmans & Biddle 2008 [45]	Personal Digital Assistant (PDA)	Lungenödem, Hypoglykämie	Literatur; Design der Oberfläche durch Autoren	Die Diagnose wird durch den Einsatz des PDA in einem Szenario verbessert, in dem anderen verzögert
Hardy et al. 2018 [46]	Checkliste	Maligne Hyperthermie	Guidelines; Design durch Autoren	Bessere Behandlung, wenn Checkliste verwendet wurde

Tabelle 1 (Fortsetzung von vorheriger Seite)

Übersicht über Simulationsstudien zum Einsatz von Gedächtnis- und Entscheidungshilfen („cognitive aids“) bei anästhesiologischen Notfällen. Die Auflistung erfolgt in alphabetischer Reihenfolge der Autoren.

Autor	Medium	Inhalt/Zielsetzung	Entwicklungsprozess	Ergebnis
Harrison et al. 2006 [21]	Poster	Maligne Hyperthermie	vorgefertigtes Poster (MHAUS)	Je häufiger auf die GEH zugegriffen wurde, desto besser war die Performance
Hilton et al. 2016 [47]	Checkliste	Geburtshilfliche Blutung	Guidelines; Design durch Autoren	Variabler Einsatz der Checkliste
Hoefnagel et al. 2019 [48]	Checklisten	Neuroanästhesiologische Notfälle	Guidelines; Design durch Autoren	k.a.
King et al. 2018[49]	Powerpointdateien von 5 verschiedenen Checklisten	Maligne Hyperthermie	Die MH-Seiten von 5 bekannte Checklisten	Mit Eyetracking-Methode unterschiedlich schnelles Auffinden von Informationen unabhängig vom Erfahrungsgrad
Lelaidier et al. 2017 [22]	Digital: Smartphone	Verschiedene Notfälle	Guidelines; Design der Oberfläche durch Autoren	Bessere Teamperformance, wenn das Smartphone vom Teamleader eingesetzt wird
Lipps et al. 2017 [50]	Digital: PC-Bildschirm	Bradykardie	Guidelines; Design der Oberfläche durch Autoren	Bessere Behandlung des AV-Blocks, wenn GEH verwendet wurde
Low et al. 2011 [51]	Digital: Smartphone	Erwachsenenreanimation	iResus-App der UK Resuscitation Council	Bessere Behandlung, wenn GEH verwendet wurde
Marshall et al. 2014 [52]	Poster	Can't intubate, can't oxygenate	Guidelines; Design durch Autoren	Nicht-technische Fertigkeiten werden besser, wenn GEH verwendet wird
Marshall et al. 2016 [53]	2 Poster mit verschiedenem Design	Anaphylaxie	Guidelines; Design durch Autoren	Lineare Darstellung der Handlungsschritte erscheint geeigneter als verzweigte Darstellung
McEvoy et al. 2014 [54]	Digital: Tablet	Lokalanästhetikaintoxikation	Guidelines; Design der Oberfläche durch Autoren	Verbesserte Performance, wenn eine Person („Reader“) die Handlungsschritte vorliest
McMillan et al. 2018 [55]	PALS-Taschenkarten	Kammerflimmern und PEA	PALS-Algorithmus; Design der Taschenkarte durch Autoren	Trotz Verwendung der GEH verspäteter Beginn der HDM und häufig falscher Algorithmus
Neal et al. 2012 [56]	Checkliste	Lokalanästhetikaintoxikation	Guidelines; Design durch Autoren	Verbesserte technische und nicht-technische Performance, wenn GEH verwendet wird
Nelson et al. 2008 [57]	PALS-Taschenkarten	Kammerflimmern und PEA	PALS-Algorithmus; Design der Taschenkarte durch Autoren	Trotz Verwendung der GEH wird häufig falscher Algorithmus angewendet
Runciman et al. 2005 [58]	Manual	24 Notfälle	Expertenkonsensus, Design durch Autoren	k.a.
Schneider et al. 1995 [59]	Digital: PC-Bildschirm	Hinweisgeber („Prompter“) bei ACLS-Notfällen	Expertenkonsensus, Design durch Autoren	Verbesserte Performance, wenn „Prompter“ verwendet wurde
Shear et al. 2019 [60]	Poster und Digital: PC-Bildschirm	Maligne Hyperthermie	Guidelines; Design der Oberfläche durch Autoren	Verbesserte technische und nicht-technische Performance, wenn GEH verwendet wird
St.Pierre et al. 2017a [8]	Digital: PC-Bildschirm	Intraoperativer Myokardinfarkt	Guidelines; Design der Oberfläche durch Autoren	Verbesserte Performance, wenn GEH verwendet wird
St.Pierre et al. 2017b [24]	Digital: PC-Bildschirm	TURP-Syndrom	Guidelines; Design der Oberfläche durch Autoren	Verbesserte Performance, wenn GEH verwendet wird, Anwendung aktueller Guidelines, mit denen die Teilnehmern nicht vertraut waren
Tobin et al. 2013 [61]	Checkliste	Narkose für Traumapatient	Guidelines; Design durch Autoren	k.a.
Watkins et al. 2016 [31]	Poster und Digital: PC-Bildschirm	6 verschiedene Szenarien	Guidelines; Design der Oberfläche durch Autoren	Format der Darstellung (Papier/PC) beeinflusst die Performance nicht
Ziewacz et al. 2011 [23]	Checklisten (Manual)	8 verschiedene Szenarien	Expertenkonsensus, Design durch Autoren	6-fache Reduktion an Fehlern, wenn GEH verwendet wurde