

Der Mainzer MH-Notfallkoffer: Einfluss eines strukturierten Notfallsatzes auf das Management der malignen Hyperthermie

Eine simulationsbasierte Evaluation zur Verbesserung der Handlungssicherheit im Management der malignen Hyperthermie

The Mainz MH emergency kit: Impact of a structured emergency kit on malignant hyperthermia management

A simulation-based evaluation to improve operation safety in malignant hyperthermia management

E. Hotz¹ · L. M. Domres¹ · M. Kriege¹

► **Zitierweise:** Hotz E, Domres LM, Kriege M: Der Mainzer MH-Notfallkoffer: Einfluss eines strukturierten Notfallsatzes auf das Management der malignen Hyperthermie. Eine simulationsbasierte Evaluation zur Verbesserung der Handlungssicherheit im Management der malignen Hyperthermie. *Anästh Intensivmed* 2026;67:305–313. DOI: 10.19224/ai2026.305

Zusammenfassung

Hintergrund

Die maligne Hyperthermie (MH) ist eine seltene, potenziell lebensbedrohliche pharmakogenetische Reaktion auf volatile Anästhetika oder Succinylcholin. Aufgrund der geringen Inzidenz und der Dringlichkeit der Therapie bestehen Unsicherheiten im Vorgehen. Ziel der vorliegenden Studie war es, das MH-Management durch den Mainzer MH-Notfallkoffer mit einer standardisierten Materialbereitstellung und einer integrierten Schritt-für-Schritt-Anleitung zu verbessern.

Methodik

In einer randomisierten, kontrollierten Simulationsstudie mit 57 Ärztinnen und Ärzten wurde der Einfluss des Mainzer MH-Notfallkoffers auf die Performanz bei der Therapie einer MH-Krise untersucht. Die Bewertung erfolgte anhand eines gewichteten Punktescores nach der S1-Leitlinie „Therapie der malignen Hyperthermie“. Zusätzlich wurden die Zeit bis zur Dantrolen-Gabe sowie Einzelschritte der Behandlung analysiert.

Ergebnisse

Die Interventionsgruppe erzielte im Mittel 85 Punkte, die Kontrollgruppe 72 Punkte ($p < 0,001$). Praktisch-technische Maßnahmen wie die Rekonstitution von Dantrolen, die Nutzung des Partikelfilters und die Anlage eines separaten i.v.-Zugangs wurden signifikant häufiger korrekt durchgeführt. Die mittlere Zeit bis zur ersten Dantrolen-Gabe betrug

in beiden Gruppen etwa 11 Minuten ($p = 0,82$).

Schlussfolgerung

Der Mainzer MH-Notfallkoffer verbessert die Performanz bei der Behandlung der malignen Hyperthermie signifikant. Hieraus lässt sich ableiten, dass die Bereitstellung standardisierter Materialien und strukturierte Checklisten die Umsetzung leitliniengerechter Maßnahmen erleichtern und technische Fehlerquellen am Beispiel der MH reduzieren.

Summary

Background

Malignant hyperthermia (MH) is a rare, life-threatening pharmacogenetic reaction to volatile anaesthetics or succinylcholine. Because of its low incidence and the need for rapid intervention, clinical management remains challenging. The Mainz MH emergency kit was developed to improve procedural safety by providing standardised materials and an integrated step-by-step checklist.

Methods

In a randomised controlled simulation study including 57 anaesthesiologists, the impact of the Mainz MH emergency kit on performance in the management of an MH crisis was evaluated. Performance was assessed using a weighted score based on the German S1 guideline “Therapy of Malignant Hyperthermia.” Additionally, both the time prior to first dantrolene administration and the accuracy of individual therapeutic steps were analyzed.

¹ Klinik für Anästhesiologie, Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (Direktorin: Prof. Dr. N.-M. Wagner)

Autorenschaft

Studiendesign: EH, MK
Datenerfassung: LD
Dateneingabe: LD
Dateninterpretation: EH, LD, MK
Statistik: MK, LD, EH
Manuskripterstellung: EH, MK, LD
Genehmigung der Endfassung: EH, MK, LD

Danksagung

Wir danken allen beteiligten Kliniken für ihre engagierte Unterstützung bei dieser Umfrage. Weiterhin bedanken wir uns bei Herrn Dr. M. Herbst vom Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik der Johannes Gutenberg-Universität Mainz. Dieses Manuskript enthält Anteile der Dissertation von Frau Lisa-Maria Domres, Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen und Autoren geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Schlüsselwörter

Maligne Hyperthermie – Simulationstraining – Notfallmanagement

Keywords

Malignant Hyperthermia – Simulation Training – Emergency Treatment

Results

The intervention group achieved a mean score of 85 points compared with 72 points in the control group ($p < 0.001$). Practical and technical measures such as dantrolene preparation, use of a particle filter, and placement of a separate intravenous line were performed significantly more often in the intervention group. The mean time prior to the first dantrolene administration was approximately 11 minutes in both groups ($p = 0.82$).

Conclusion

The Mainz MH emergency kit significantly improved performance in the management of malignant hyperthermia. Standardised material provision and structured cognitive aids facilitate the implementation of guideline-based therapy and help reduce technical errors.

Hintergrund

Bei der malignen Hyperthermie (MH) handelt es sich um eine seltene pharmakogenetische Erkrankung, die sich nach Kontakt mit einem Trigger klinisch manifestiert. Diese Trigger sind klassischerweise volatile Anästhetika wie Sevofluran oder Desfluran sowie das depolarisierende Muskelrelaxans Succinylcholin [1]. Ursächlich ist eine Mutation im Gen, welches den Ryanodin-Rezeptor 1 (RyR1) codiert. Nach Aktivierung durch einen der oben genannten Trigger kommt es am Ende einer Signalkaskade zu einem unkontrollierten Anstieg der Ca^{2+} -Konzentration in der Muskelzelle [2]. Das klinische Bild dieser Erkrankung zeigt sich mit einer manifesten hypermetabolischen Reaktion mit u. a. Tachykardie, Hyperkapnie, Azidose und Hyperthermie. Aufgrund der Seltenheit der Erkrankung – in Deutschland wird eine Prävalenz von 1:2000–1:3000 angenommen [3] – und des teilweise fulminanten Verlaufs bestehen Unsicherheiten in der Therapie, weshalb zahlreiche Gedächtnis- und Entscheidungshilfen im Zusammenhang mit der malignen Hyperthermie untersucht wurden [4]. In der Mehrzahl der Fälle wurde hier die Anwendung von Therapiechecklisten untersucht [5]. Kon-

sequenterweise fordern daher auch die Qualitätsindikatoren der Deutschen Gesellschaft für Anästhesie und Intensivmedizin e. V. (DGAI) das Vorhandensein einer Standard Operating Procedure (SOP) für das Krankheitsbild der malignen Hyperthermie [6].

Fragestellung und Methoden

Nach positivem Ethikvotum führte die Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz im Februar 2024 eine randomisierte, kontrollierte Simulationsstudie durch. Eingeschlossen wurden Ärztinnen und Ärzte in Weiterbildung sowie Fachärztinnen und Fachärzte für Anästhesiologie.

Nach Aufklärung und Zustimmung zur Teilnahme an der Studie sowie zur Nutzung und Speicherung ihrer Daten wurden die Teilnehmenden eingeschlossen. Ausschlusskriterien waren eine fehlende Zustimmung oder eine frühere Mitwirkung an der Erstellung des Simulationstrainings oder des Mainzer MH-Notfallkoffers.

Ziel der Studie war die Evaluation des Mainzer MH-Notfallkoffers im Rahmen eines standardisierten Simulationsszenarios, im Vergleich zum konventionellen Vorgehen bei einer MH. Geprüft wurde die Hypothese, dass die Nutzung des Notfallkoffers zu einer signifikant besseren Performanz bei der Therapie einer malignen Hyperthermie führt.

Die Kontrollgruppe (KG) hatte Zugriff auf die üblichen klinikinternen Ressourcen (u. a. PC mit Internet- und Intranetzugang zur SOP „Therapie der malignen Hyperthermie“, persönliche Notizen, handelsübliches Dantrolen). Die Interventionsgruppe (IG) erhielt zusätzlich den Mainzer MH-Notfallkoffer mit strukturierter Schritt-für-Schritt-Anleitung, laminierter SOP sowie dem erforderlichen Material zur Herstellung der Dantrolen-Lösung. Der genaue Inhalt des Mainzer MH-Notfallkoffers ist als Online-Supplement verfügbar. Alle Teilnehmenden bearbeiteten dasselbe standardisierte Simulationsszenario einer intraoperativ auftretenden malignen Hyperthermie. Ziel des Szenarios war

nicht primär die Untersuchung der diagnostischen Treffsicherheit, sondern der leitliniengerechten therapeutischen Maßnahmen nach Konfrontation mit dem Krankheitsbild der MH. Um nach einer initialen Phase der klinischen Einordnung vergleichbare Bedingungen für das weitere Management zu schaffen, erhielten Teilnehmende bei Nichterkennen des Krankheitsbildes nach fünf Minuten einen expliziten Hinweis auf die Diagnose „Maligne Hyperthermie“. Da der Diagnosehinweis nach fünf Minuten die Diagnosestellung teilweise vereinfachte, wurden die Zeitendpunkte nur ergänzend ausgewertet. Das genaue Simulationsszenario wird im Online-Supplement des Artikels dargestellt.

Primärer Endpunkt

Die Performanz wurde anhand eines selbstentwickelten, gewichteten Punktescores bewertet, der sich an den empfohlenen Therapiemaßnahmen der S1-Leitlinie „Therapie der malignen Hyperthermie“ [7] orientierte. Der Score setzte sich aus leitlinienbasierten Einzelmaßnahmen des Akutmanagements der MH zusammen. Die Gewichtung erfolgte a priori nach klinischer Relevanz der jeweiligen Maßnahme für das MH-Management. Es handelte sich um ein studienspezifisch entwickeltes Bewertungsinstrument, das nicht extern validiert wurde. Der Score sollte die leitliniengerechte therapeutische Performanz im standardisierten Simulationssetting strukturiert abbilden. Ein Score von 0 Punkten bedeutete die Umsetzung keiner korrekten Maßnahmen, ein Score von 100 Punkten die vollständige Durchführung aller erforderlichen Maßnahmen. Der Vergleich zwischen KG und IG erfolgte mittels t-Test bei einem Konfidenzniveau von 95 %. Der vollständige Punktescore wird im Online-Supplement des Artikels dargestellt.

Sekundäre Endpunkte

Jede Einzelmaßnahme des Punktescores wurde separat ausgewertet. Der Vergleich zwischen den Gruppen erfolgte mittels Chi-Quadrat-Test.

Zusätzlich wurden folgende Zeitspannen erhoben:

- Zeitraum vom Simulationsbeginn bis zur Dantrolen-Gabe
- Zeitraum vom Erkennen der malignen Hyperthermie bis zur Dantrolen-Gabe

Beide Zeitspannen wurden über einen zweiseitigen, ungepaarten t-Test verglichen.

Fragebogen zum Management von Komplikationen

Am Ende der Simulation beantworteten alle Teilnehmenden einen Fragebogen, der den Wissensstand zum Management möglicher Komplikationen bei maligner Hyperthermie erfasste. Der vollständige Fragebogen wird im Anhang dargestellt.

Ergebnisse

Insgesamt nahmen 59 Ärztinnen und Ärzte am Simulationstraining teil. Eine Person widersprach der Teilnahme an der Studie und der damit verbundenen Datenverarbeitung, eine weitere war an der Erstellung des MH-Notfallkoffers be-

teiligt. Somit wurden 57 Teilnehmende in die Auswertung eingeschlossen.

Die Verteilung der Qualifikationen war zwischen beiden Gruppen vergleichbar. In beiden Gruppen überwog der Anteil der Ärztinnen und Ärzte in Weiterbildung, während Fachärztinnen/Fachärzte und Oberärztinnen/Oberärzte in ähnlicher Häufigkeit vertreten waren.

Die mittlere Berufserfahrung lag in der Interventionsgruppe (IG) bei 5,0 Jahren und in der Kontrollgruppe (KG) bei 5,19 Jahren. Die Verteilung der Qualifikationen zeigt Tabelle 1.

Ergebnisse des gewichteten Punktescores

Beim Vergleich der Gruppen anhand des gewichteten Punktescores erreichte die Kontrollgruppe im Mittel 72 Punkte, während die Interventionsgruppe durchschnittlich 85 Punkte erzielte. Dieser Unterschied war statistisch signifikant ($p < 0,001$).

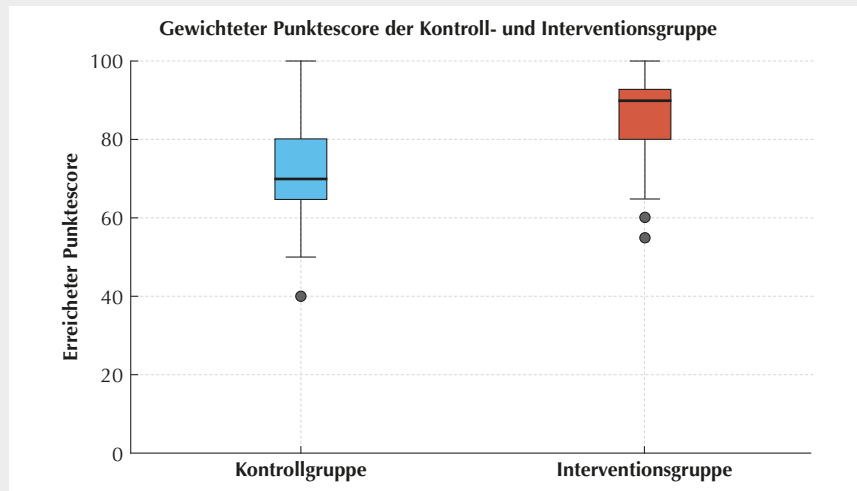
Die Verteilung der Scores ist in Abbildung 1 als Boxplot dargestellt. In der Interventionsgruppe wurde ein Ausreißer mit 55 Punkten identifiziert.

Tabelle 1

Verteilung der ärztlichen Qualifikationen in Interventionsgruppe (IG) und Kontrollgruppe (KG). Ein Chi-Quadrat-Test ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($\chi^2 = 0,12$; $p = 0,94$).

	IG	KG
Weiterbildungsassistent:innen	19/31 = 61 %	17/26 = 65 %
Fachärztinnen/Fachärzte	9/31 = 29 %	7/26 = 27 %
Oberärztin/Oberarzt	3/31 = 10 %	2/26 = 8 %

Abbildung 1



Gewichteter Punktescore der Kontroll- und Interventionsgruppe. Dargestellt sind Median, Interquartilsabstand sowie Minimal- und Maximalwerte ohne Ausreißer. Einzelpunkte kennzeichnen Werte außerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstands.

Einzelbetrachtung der durchgeführten Maßnahmen

Um die Ergebnisse der beiden Gruppen näher auswerten zu können, wurden alle einzelnen Maßnahmen des gewichteten Punktescores noch einmal gesondert betrachtet und ausgewertet. Eine Übersicht der Maßnahmen zeigt Tabelle 2.

In beiden Gruppen wurden die Beendigung der Triggerzufuhr (KG 96 %, IG 100 %) sowie die Teamkommunikation mit Oberarzt/-ärztin und Chirurg:in (je 100 %) nahezu durchgängig umgesetzt. Unterschiede zeigten sich bei der Steigerung des Atemminutenvolumens auf das 3–4-Fache (KG 31 % vs. IG 58 %, $p = 0,039$), der Zubereitung von 20 mg

Dantrolen i. v. mit 60 ml Aqua ad inject. (KG 62 % vs. IG 90 %, $p = 0,01$), der Nutzung des Partikelfilters zum Aufziehen der fertigen Dantrolen-Lösung (KG 42 % vs. IG 87 %, $p < 0,001$) sowie der Verwendung eines separaten peripheren Venenzugangs (KG 50 % vs. IG 84 %, $p = 0,006$). Die Unterschiede in allen weiteren Maßnahmen waren statistisch nicht signifikant.

Zeitkritische Verabreichung von Dantrolen

Die Zeit bis zur Verabreichung von Dantrolen i. v. lag im Mittel bei 11,3 Minuten in der KG und 11,5 Minuten in der IG ($p = 0,818$). Der Zeitraum zwischen Erkennen der MH und Verabreichung von Dantrolen i. v. betrug im Mittel 8,0 Minuten in der Kontroll- bzw. 8,3 Minuten in der Interventionsgruppe ($p = 0,435$).

Fragebogen zum Management der Komplikationen bei MH

Die Gesamtgruppe ($N = 57$) beantwortete im Anschluss an die Simulation fünf Fragen zum Management von Komplikationen. Die höchsten Anteile korrekter Antworten zeigten sich für die Therapie einer starken Azidose (56/57; 98 %), die Therapie der Hyperkaliämie (52/57; 91 %) sowie für Maßnahmen bei Schock/Hypotonie (50/57; 88 %). Zur Therapie tachykarder Herzrhythmusstörungen wurden in 47/57 Fällen korrekte Angaben gemacht (82 %). Die niedrigsten Anteile korrekter Antworten ergaben sich bei der Frage nach der kontraindizierten Antiarrhythmika-Gruppe (Calciumkanalantagonisten; 23/57; 40 %). Tabelle 3 zeigt die Einzelwerte.

Tabelle 2

Übersicht der durchgeführten Einzelmaßnahmen.

Ergriffene Maßnahme	KG	IG	p-Wert
Beendigung der Triggerzufuhr	25/26 (96 %)	31/31 (100 %)	0,271
Umstellung auf totale intravenöse Anästhesie	24/26 (92 %)	30/31 (97 %)	0,452
Kommunikation im Team mit Oberärztin/Oberarzt und Chirurg:in	26/26 (100 %)	31/31 (100 %)	–
Triggerzufuhr beendet, ggf. Narkoseverdampfer entfernt	14/26 (54 %)	19/31 (61 %)	0,571
Einstellung von $\text{FiO}_2 = 1,0$ und Frischgaszufuhr = 10 l/min	21/26 (81 %)	26/31 (84 %)	0,759
Steigerung des Atemminutenvolumens auf das 3–4-Fache	8/26 (31 %)	18/31 (58 %)	0,039
Entnahme einer BGA oder Blutprobe	19/26 (73 %)	19/31 (61 %)	0,347
Zubereitung von 20 mg Dantrolen i. v. (Trockensubstanz + 60 ml Aqua ad inject.)	16/26 (62 %)	28/31 (90 %)	0,010
Nutzung des Partikelfilters beim Aufziehen der Lösung	11/26 (42 %)	27/31 (87 %)	<0,001
Richtige Dosierung von Dantrolen i. v.	24/26 (92 %)	27/31 (87 %)	0,523
Separater peripherer Venenzugang für Dantrolen i. v.	13/26 (50 %)	26/31 (84 %)	0,006

BGA: Blutgasanalyse; IG: Interventionsgruppe; KG: Kontrollgruppe.

Diskussion

Ziel der vorliegenden Studie war die Evaluation des Mainzer MH-Notfallkoffers im Rahmen eines standardisierten Simulationsszenarios zur Therapie der malignen Hyperthermie (MH), im Vergleich zum konventionellen Vorgehen. Die Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz des Koffers mit einer signifikant höheren Gesamtperformanz verbunden war, während sich die Zeit bis zur Verab-

Tabelle 3

Fragebogen zur Behandlung von Komplikationen im Rahmen der malignen Hyperthermie (MH) einschließlich korrekt bewerteter Antworten.

Frage	Gesamtgruppe: Korrekte Antwort in absoluten Zahlen und relativen Häufigkeiten (%)
Wie therapieren Sie eine eventuell auftretende starke Azidose? (Angabe 1–2 Medikamente: Natriumhydrogencarbonat und/oder TRIS-Puffer)	56/57 (98 %)
Wie therapieren Sie tachykarde Herzrhythmusstörungen im Rahmen der MH? (Angabe 1–2 Medikamente: Dantrolen und/oder Amiodaron und/oder Betablocker)	47/57 (82 %)
Welche Antiarrhythmika-Gruppe ist kontraindiziert? (Angabe 1: Calciumkanalantagonisten)	23/57 (40 %)
Wie therapieren Sie Schockzustände/Hypotonien im Rahmen der MH? (Angabe von mindestens einer der folgenden Maßnahmen: Volumengabe und/oder Vasopressoren und/oder Inotropika)	50/57 (88 %)
Wie therapieren Sie die Hyperkaliämie im Rahmen der MH? (Angabe von mindestens einer der folgenden Maßnahmen: Forcierte Diurese mit Schleifendiuretika und/oder Glucose-Insulin-Lösung und/oder Dialyse)	52/57 (91 %)

reichung von Dantrolen nicht unterschied. In der Detailanalyse einzelner Maßnahmen konnten insbesondere bei der Zubereitung und Applikation von Dantrolen deutliche Verbesserungen beim Einsatz des Mainzer Notfallkoffers festgestellt werden. Bei der Einordnung der Einzelmaßnahmen ist zu berücksichtigen, dass im Akutmanagement der malignen Hyperthermie die sofortige Beendigung der Triggerzufuhr und die schnellstmögliche Dantrolen-Gabe höchste Priorität besitzen. Andere Maßnahmen sind klinisch relevant, dürfen jedoch nicht zu einer Verzögerung dieser beiden Kerninterventionen führen. Darüber hinaus offenbarten die Ergebnisse des begleitenden Fragebogens zum Komplikationsmanagement spezifische Wissenslücken, insbesondere im Bereich der medikamentösen Therapie von Rhythmusstörungen, wie sie bei einer malignen Hyperthermie auftreten können.

Im Folgenden werden die zentralen Befunde hinsichtlich der Gesamtpersonalleistung, der Umsetzung einzelner Therapiemaßnahmen, der zeitkritischen Dantrolen-Gabe sowie des Wissensstands zum Management von Komplikationen näher diskutiert.

Nutzung von Cognitive Aids

Die signifikant höheren Punktzahlen in der Interventionsgruppe sprechen dafür, dass ein strukturierter Notfallkoffer die Behandlungsqualität bei maligner Hyperthermie verbessern kann. Dies unterstreicht die Relevanz standardisierter Cognitive Aids insbesondere bei seltenen und zeitkritischen Notfällen. Bereits Harrison et al. konnten in einem vergleichbaren Simulationssetting zeigen, dass der Einsatz einer „MH Box“ mit einer verbesserten Performanz assoziiert war [8]. Der Mainzer MH-Notfallkoffer kombiniert eine strukturierte Schritt-für-Schritt-Anleitung mit der unmittelbaren Verfügbarkeit der benötigten Materialien. Unsere Ergebnisse legen nahe, dass insbesondere diese Kombination die Umsetzung leitliniengerechter Maßnahmen erleichtert. Das Layout der eingesetzten Checkliste orientierte sich zudem an etablierten Prinzipien der Gestaltung kognitiver Hilfen, die ein rasches Auffinden relevanter Informationen unter Zeitdruck unterstützen [9,10].

Umsetzung einzelner Therapiemaßnahmen

Bei der Analyse der einzelnen Maßnahmen zeigte sich, dass insbesondere

praktisch-technische Schritte – wie die Zubereitung von Dantrolen, die Verwendung des Partikelfilters sowie das Anlegen eines separaten intravenösen Zugangs – in der Interventionsgruppe signifikant häufiger korrekt durchgeführt wurden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass ein separater intravenöser Zugang die Organisation der Therapie zwar erleichtern kann, jedoch keine Voraussetzung für die initiale Dantrolen-Gabe darstellt. Falls kein zusätzlicher Zugang vorhanden ist, sollte Dantrolen ohne Zeitverlust über den bestehenden Zugang appliziert werden. Das in unserer Studie verwendete Dantrolen i. v. 20 mg Pulver zur Herstellung einer Infusionslösung musste mit 60 ml Wasser für Injektionszwecke rekonstituiert und anschließend über spezielle Partikelfilter in eine 60-ml-Spritze aufgezogen werden (Fachinformation des Herstellers). Hierbei handelt es sich um in der klinischen Routine nicht regelmäßig verwendete Materialien, die als zusätzliche Distraktoren die Performanz der Teilnehmenden beeinflussen könnten.

Dies weist darauf hin, dass standardisierte Materialien und klar strukturierte Schritt-für-Schritt-Anleitungen insbesondere dann wirksam sind, wenn komplexe, vom Standardanwendungsfall abweichende Handgriffe und praktische Fertigkeiten erforderlich sind.

Das in unserer Studie eingesetzte Dantrolen i. v. 20 mg Pulver zur Herstellung einer Infusionslösung wurde inzwischen durch das weiterentwickelte Nachfolgepräparat AGILUS® (Norgine GmbH, Wettenberg, Deutschland) 120 mg Pulver zur Herstellung einer Infusionslösung ersetzt. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Präparaten liegt in der höheren Wirkstoffkonzentration pro Durchstechflasche: Eine 6er-Packung AGILUS® 120 mg entspricht hinsichtlich der Gesamtwirkstoffmenge einer 36er-Packung des zuvor verwendeten Dantrolen i. v. 20 mg (Fachinformation des Herstellers). Konkret bedeutet dies, dass für einen 80 kg schweren Patienten nicht mehr 10 Flaschen, sondern nur noch 2 Flaschen AGILUS® verwendet werden müssen. Die Verwendung eines

gesonderten Partikelfilters ist ebenfalls nicht mehr erforderlich. Darüber hinaus ermöglicht AGILUS® 120 mg eine schnellere Rekonstitution bei Verwendung einer geringeren Menge an Wasser für Injektionszwecke, was insbesondere im akuten MH-Notfall eine deutliche Zeitersparnis und Erleichterung der Zubereitung bewirkt und die hauptsächlichen Probleme der Teilnehmer in unserer Studie adressiert. Aus Sicht der Autoren stellt dies eine sinnvolle und längst überfällige Verbesserung für die Therapie der MH dar. Gerade die Umstellung auf ein neues Präparat mit veränderter Rekonstitution bei unveränderter Dosierungslogik spricht jedoch weiterhin für die Verwendung strukturierter Notfallsätze mit klarer Schritt-für-Schritt-Anleitung, um Unsicherheiten in der Akutsituation zu vermeiden.

Im Gegensatz dazu wurden Basismaßnahmen, wie die Beendigung der Triggerzufuhr oder die Teamkommunikation, in beiden Gruppen nahezu vollständig umgesetzt, was auf eine solide Grundroutine im MH-Management schließen lässt. Einzig die Steigerung des Atemminutenvolumens um das 3–4-Fache wurde in der IG signifikant häufiger umgesetzt.

Dauer bis zur ersten Dantrolen-Gabe

Trotz der besseren Performanz zeigte sich kein signifikanter Unterschied in der Zeit bis zur ersten Dantrolen-Gabe. Dieses Ergebnis legt nahe, dass die zeitliche Komponente der Therapie weniger von der Materialverfügbarkeit als vielmehr von der Diagnosestellung und der Teamkoordination abhängt. Da alle Teams nach spätestens fünf Minuten einen Diagnosehinweis erhielten, dürfte dieser Aspekt mögliche Unterschiede zusätzlich nivelliert haben. Insbesondere der Endpunkt „Zeit vom Simulationsbeginn bis zur Dantrolen-Gabe“ ist dadurch nur eingeschränkt aussagekräftig. In unserer Studie betrug die mittlere Zeit bis zur ersten Dantrolen-Gabe etwa elf Minuten. Frühere Untersuchungen zeigten, dass bereits das Auflösen und Aufziehen einer einzelnen Dantrolen-

Ampulle im Mittel rund vier Minuten in Anspruch nimmt [11]. Betrachtet man den gesamten Ablauf von Erkennen und Beurteilen der Situation über das Bereitstellen des Notfallkoffers bis hin zur vollständigen Rekonstitution und Applikation, ist davon auszugehen, dass dieser Zeitraum unter realen klinischen Bedingungen deutlich länger ausfallen dürfte. Die vergleichsweise kurzen Zeiten in unserer Untersuchung sind vermutlich dem standardisierten Simulationssetting zuzuschreiben. Zudem ist zu berücksichtigen, dass in der Studie lediglich der Zeitpunkt der ersten Dantrolen-Gabe erfasst wurde, nicht jedoch der Zeitpunkt, zu dem die vollständige, errechnete Dosis appliziert war.

Management von MH-assoziierten Komplikationen

Die Auswertung des begleitenden Fragebogens ergab insgesamt ein hohes theoretisches Wissen, insbesondere hinsichtlich der Therapie von Azidose, Hyperkaliämie und hämodynamischer Instabilität. Auffällig war jedoch, dass nur 40 % der Teilnehmenden die Gabe von Calciumantagonisten im Rahmen einer malignen Hyperthermie als kontraindiziert bewerteten. Diese Wissenslücke ist von hoher klinischer Relevanz, da die gleichzeitige Anwendung von Dantrolen und Nicht-Dihydropyridin-Calciumantagonisten (z. B. Verapamil, Diltiazem) zu schwerer Hyperkaliämie, Myokarddepression und Herzrhythmusstörungen führen kann. Dieser Zusammenhang wurde bereits früh in tierexperimentellen Studien nachgewiesen [12]. Das Ergebnis verdeutlicht, dass ergänzende Fortbildungsmaßnahmen insbesondere auf die Pharmakotherapie und das Management von Begleitkomplikationen fokussieren sollten. Eine Integration solcher Inhalte in bestehende MH-Trainingsprogramme erscheint sinnvoll, um Wissen und Handlungssicherheit langfristig zu festigen.

Limitationen

Die Ergebnisse dieser Studie sind vor dem Hintergrund einiger Limitationen zu interpretieren. Erstens erfolgte die Untersuchung im Rahmen eines Simula-

tionsszenarios, das zwar standardisierte und geschützte Bedingungen erlaubt, jedoch die Dynamik realer klinischer Situationen nur eingeschränkt abbildet. Darüber hinaus kam ein studienspezifisch entwickelter, nicht extern validierter Performance-Score zum Einsatz. Obwohl dieser eng an der S1-Leitlinie ausgerichtet wurde, ist eine formale Validierung des Instruments nicht erfolgt. Einzelne im Score berücksichtigte Maßnahmen müssen zudem im Kontext ihrer klinischen Priorität interpretiert werden, da nicht alle Handlungsschritte im Akutmanagement denselben Stellenwert haben. Zweitens könnte der Diagnosehinweis nach fünf Minuten die Unterschiede zwischen den Gruppen im Hinblick auf die Zeit bis zur Dantrolen-Gabe reduziert haben. Drittens wurden ausschließlich Ärztinnen und Ärzte einbezogen; der Einfluss multiprofessioneller Teamstrukturen auf die Performanz blieb unberücksichtigt. Schließlich ist die Stichprobengröße begrenzt, sodass kleinere Effektunterschiede möglicherweise statistisch nicht erfasst wurden.

Schlussfolgerung

Der Mainzer MH-Notfallkoffer leistet einen messbaren Beitrag zur Erhöhung der Handlungssicherheit bei der Therapie der malignen Hyperthermie. Die standardisierte Materialbereitstellung und die integrierte Schritt-für-Schritt-Anleitung erleichtern das gezielte Auffinden relevanter Informationen, fördern leitliniengerechtes Handeln und reduzieren technische Fehlerquellen.

Für die Praxis empfehlen wir, strukturierte Notfallsets fest in das MH-Management zu integrieren und regelmäßig in interprofessionellen Simulationstrainings zu erproben.

Zukünftige Studien sollten den Einfluss solcher Hilfsmittel auf Teamkoordination, diagnostische Entscheidungsfindung und klinische Ergebnisse untersuchen sowie den Effekt der in Deutschland verfügbaren neuen Dantrolen-Zubereitung auf Zubereitungszeit und Anwendungssicherheit bewerten.

Literatur

1. Kaur H, Katyal N, Yelam A, Kumar K, Srivastava H, Govindarajan R: Malignant Hyperthermia. *Mo Med* 2019;116:154–159
2. Riaz S, Kraeva N, Hopkins PM: Updated guide for the management of malignant hyperthermia. *Can J Anaesth* 2018;65:709–721
3. Wolak S, Rücker B, Kohlschmidt N, Doetsch S, Bartsch O, Zechner U, et al: Homozygous and compound heterozygous RYR1 mutations. New findings on prevalence and penetrance of malignant hyperthermia. *Anaesthesist* 2014;63:643–650
4. 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
5. Gallegos E, Hennen B: Malignant Hyperthermia Preparedness Training: Using Cognitive Aids and Emergency Checklists in the Perioperative Setting. *J Perianesth Nurs* 2022;37:24–28
6. Coburn M, Rossaint R, Bause H, Biscopio J, Fries M, Henzler D et al: Qualitätsindikatoren Anästhesiologie 2015. *Anästh Intensiv* 2016;57:219–230
7. Wappler F: S1-Leitlinie maligne Hyperthermie: Update 2018. *Anaesthesist* 2018;67:529–532
8. Harrison TK, Manser T, Howard SK, Gaba DM: Use of cognitive aids in a simulated anesthetic crisis. *Anesth Analg* 2006;103:551–556
9. Clebone A, Burian BK, Tung A: The effect of cognitive aid design on the

perceived usability of critical event cognitive aids. *Acta Anaesthesiol Scand* 2020;64:378–384

10. Clebone A, Burian BK, Tung A: Matching design to use: a task analysis comparison of three cognitive aid designs used during simulated crisis management. *Can J Anaesth* 2019;66:658–671
11. Kugler Y, Russell WJ: Speeding dantrolene preparation for treating malignant hyperthermia. *Anaesth Intensive Care* 2011;39:84–88
12. Saltzman LS, Kates RA, Corke BC, Norfleet EA, Heath KR: Hyperkalemia and cardiovascular collapse after verapamil and dantrolene administration in wine. *Anesth Analg* 1984;63:473–478.

Korrespondenz- adresse

**Dr. med.
Eric Hotz**



Klinik für Anästhesiologie
Universitätsmedizin Mainz
Langenbeckstraße 1
55131 Mainz, Deutschland
Tel.: 06131 172051

E-Mail:
eric.hotz@unimedizin-mainz.de
ORCID-ID: 0009-0007-5922-0621

Anhang

Übersicht: gewichteter Punktescore

Gemessen wird die Performanz der Teilnehmenden bei der Umsetzung der Primärmaßnahmen im Management der malignen Hyperthermie (MH) anhand eines gewichteten Punktescores. Je mehr Primärmaßnahmen innerhalb der fünfzehnminütigen Simulation ergriffen werden, desto höher ist – entsprechend der Gewichtung der jeweiligen Maßnahme – der individuell erzielte Score. In der anschließenden Analyse werden die Mittelwerte der beiden Gruppen miteinander verglichen. Es können minimal 0 Punkte und maximal 100 Punkte erreicht werden.

Ziel der Studie ist das Überprüfen der Nullhypothese:

H_0 = Der mittlere Punktescore unterscheidet sich nicht signifikant zwischen der Interventions- und der Kontrollgruppe.

Folgende Primärmaßnahmen sind in den Punktescore mit einbezogen:

1. Beendigung der Zufuhr von Triggersubstanzen (Flurane, Succinylcholin)
2. Umstellung auf totale intravenöse Anästhesie (TIVA), Verwendung von nicht depolarisierenden Muskelrelaxanzien
3. Kommunikation im Team: Oberarzt/-ärztin und Operateur:in informieren, Team vergrößern
4. Narkoseverdampfer entfernen
5. Einstellung am Narkosegerät: $\text{FiO}_2 = 1,0$ und Frischgasfluss = 10 l/min
6. Steigerung des Atemminutenvolumens (AMV) auf das Drei- bis Vierfache
7. BGA oder Blutprobe veranlassen
8. Vorbereitung der Dantrolen-Gabe: richtige Zubereitung mit 60 ml Aqua ad inject.
9. Vorbereitung der Dantrolen-Gabe: Verwendung eines Partikelfilters
10. Vorbereitung der Dantrolen-Gabe: korrekte Dosierung
11. Dantrolen-Gabe erfolgt über separaten Zugang

Gewichteter Punktescore

1. Beendigung Triggerzufuhr 10
2. Umstellung TIVA 10
3. Kommunikation im Team 5
4. Narkoseverdampfer entfernen 5
5. Einstellung Narkosegerät 5
6. Steigerung AMV auf 3–4-Fache 5
7. BGA/Blutprobe 10
8. 60 ml Aqua 15
9. Partikelfilter 10
10. Korrekte Dosierung 15
11. Separater Zugang 10

Maximale mögliche Punkte **100**

MH-Studie – Simulationsprotokoll

Protokoll der Simulation:

Minute	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Diagnosehinweis MH						X										
BGA	BGA I						BGA II					BGA III				
Herzfrequenz [n/min]	Anstieg über 5 Minuten von 70 auf 130						130									
Blutdruck [mmHg]	110/70						100/65									
VES [Anzahl/min]	0						8									
etCO ₂ [mmHg]	- Anstieg von 38 in Minute 0 auf 80 in Minute 10 - Ab Dantrolen-Gabe i.v. erfolgt Sistieren des CO₂-Anstiegs, Abfall auf 50 mmHg über 10 min										80					
Temperatur [°C]	36,0	36,3	36,6	36,9	37,2	37,5	37,8	38,1	38,1	38,2	38,2	38,3	38,5	38,7	38,9	39,1
	Ab Dantrolen-Gabe i.v. erfolgt Sistieren des Temperatur-Anstiegs, Abfall auf 36,0 °C über 10 min															

MH: maligne Hyperthermie; BGA: Blutgasanalyse; VES: ventrikuläre Extrasystolen.

Gruppe A

- aktuelle SOP über Intranet verfügbar
- 12er-Set Norgine Dantrolen i.v. 20 mg inkl. 12 x Mini-Spikes mit Filter von B. Braun Melsungen AG
- Narkoseprotokoll von Narkoseeinleitung bis zum Übergabezeitpunkt

Gruppe B

- aktuelle SOP über Intranet verfügbar
- Mainzer MH-Notfallkoffer
- Narkoseprotokoll von Narkoseeinleitung bis zum Übergabezeitpunkt

Inhalt MH-Notfallkoffer

Gesamtinhalt:

Packung 1 Dantrolen

Packung 2 Aqua ad inject.

Packung 3 Infusionssystem

Packung 4 Backup-Material

2 x laminierte Anleitung zur Dantrolen-Zubereitung, inklusive Dosierungsanleitung

SOP-Kurzübersicht, laminiert A4

Offizielle SOP, beidseitig laminiert

Packliste

Inhalt Packung 1 Dantrolen:

- Vollständiges 12er-Set Norgine Dantrolen i.v. 20 mg inkl. 12 x Mini-Spikes mit Partikelfilter (blau)
- Laminierte Anleitung für Packung 1 Dantrolen

Inhalt Packung 2 Aqua:

- 2 x 500 ml Aqua ad injectabilia von B. Braun Melsungen AG
- 2 x Mini-Spikes mit Partikelfilter (blau)
- 12 x BD Plastipak Spritzen mit BD Luer Lock 50 ml/60 ml
- Laminierte Anleitung für Packung 2 Aqua

Inhalt Packung 3 Infusion:

- 1 x Heidelberger Extension Line 140 cm von Fresenius Kabi AG
- 1 x Discofix C Luer Lock 10 cm von B. Braun Melsungen AG
- 1 x Discofix C Dreiwegehahn von B. Braun Melsungen AG
- Laminierte Anleitung für Packung 3 Infusion

Inhalt Packung 4 Backup-Material:

- 1 x 500 ml Aqua ad injectabilia von B. Braun Melsungen AG
- 3 x Mini-Spikes mit Partikelfilter (blau)
- 2 x BD Plastipak Spritzen mit BD Luer Lock 50 ml/60 ml
- 1 x Heidelberger Extension Line 140 cm von Fresenius Kabi AG
- 1 x Discofix C Luer Lock 10 cm von B. Braun Melsungen AG
- 1 x Discofix C Dreiwegehahn von B. Braun Melsungen AG

Anmerkung: Für die Zubereitung der Dantrolen-Lösung ist eine Einwegfiltriervorrichtung mit Partikelfilter dringend notwendig. Die im OP üblicherweise verfügbaren Mini-Spikes (grün) verfügen lediglich über einen Luftfilter.

Simulationsaufbau MH-Studie

Szenario 1 – Maligne Hyperthermie

Aufbau:	Saal, OP-Tisch, Narkosegerät, Narkosewagen, Narkoseprotokoll, Medikamente, SimMan mit Basismonitoring, iSimulate, Notfallkoffer MH
Lernziele:	- Trainingseffekt zu Primärmaßnahmen der malignen Hyperthermie - Studie
Briefing:	• 30-jähriger Patient • ASA III: schlecht eingestellter Diabetes mellitus, Adipositas (BMI 31), 178 cm, 100 kg • Vitrektomie bei Traktionsamotio • Reklination gut, Mallampati 2; MÖ > 3 cm, kein Difficult Airway • Keine Vor-OPs, örtliche Betäubung beim Zahnarzt ohne Probleme • Primär intubiert bei Gastroparese und regelmäßig Reflux in der Anamnese • Eingeleitet durch Oberarzt, Narkose übernommen im Saal • Vitalparameter bei Übergabe stabil
Einstellungen:	Initiale Einstellungen RR: 110/70 HF: 70 SpO ₂ : 97 % etCO ₂ : 38 mmHg (Temperatur: 36,0°, wird nur angezeigt, wenn Messung verlangt) Größe: 178 cm Gewicht 100 kg Beatungsmodus „Pressure mode“: O ₂ : 40 % Flow: 0,5 l/min Pins: 17 mbar AF: 12/min Tinsp.: 2,0 (1:1,5) ΔPps: 7 mbar PEEP 6 Sevoflurane 4,5 % IMT Analytics Smartlung 2.000: 60 mL/mbA Leakage 0 Resistance 20 mbar/ml
Verlauf:	• Übernahme des intubierten Patienten im Saal, Vitalparameter bei Übergabe stabil • Masseterspasmus zu Beginn • Verlauf der Vitalparameter, etCO₂ nach Simulationsplan • Ab Dantrolen-Gabe sinkt etCO₂ bis auf 50 mmHg über 10 min • Temperatur wird nur auf Nachfrage angezeigt (s. Simulationsplan) • Ab Dantrolen-Gabe sinkt Temperatur bis auf 36,0 °C über 10 min • BGA auf Nachfrage: BGA I–III nach Simulationsplan ausgeben • Wenn nach 5 min noch kein V. a. MH: „Haben Sie an eine MH gedacht?“ • Weiteres Personal (OA, Pflege etc.) kommt max. 1 min nach Hilferuf dazu und handelt nur nach Anweisung des Teilnehmenden mit stets korrekter Ausführung der Anweisung
Ziele:	• Erkennen der Frühzeichen einer MH • SOP-gerechte symptomatische und kausale Therapie • Awareness für Dantrolen-Lagerungsstellen • Einzelne Items: vgl. Punktescore (Studie)
Material:	SimMan IMT Analytics Smartlung 2.000 Autarker WLAN-Router Medikamente Narkosewagen Narkosegerät Narkoseprotokoll laminiert iSimulate 2. iSimulate als Defibrillator Notfallkoffer MH BGA-Materialien BGA-Ausdrucke 1–3 laminiert Dantrolen, Aqua ad inject. WarmTouch-Decke für aktive Kühlung Kühlakkus Perfusoren Monitor für das Debriefing