

Muskelrelaxierung 2026: 50 Jahre Suche nach einem idealen Relaxans

Thomas Krönauer, Felix GIRRbach, Philipp Simon, Axel R. Heller

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Krönauer, Thomas, Felix GIRRbach, Philipp Simon, and Axel R. Heller. 2026. "Muskelrelaxierung 2026: 50 Jahre Suche nach einem idealen Relaxans." *Die Anaesthesiologie*. <https://doi.org/10.1007/s00101-026-01707-w>.



Muskelrelaxierung 2026 – 50 Jahre Suche nach einem idealen Relaxans

Thomas Krönauer · Felix Girrbach · Philipp Simon · Axel R. Heller

Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Medizinische Fakultät, Universität Augsburg, Universitätsklinikum Augsburg, Augsburg, Deutschland

Zusammenfassung

Muskelrelaxierung ist aufgrund des anschaulichen Zusammenspiels zwischen Physiologie und Pharmakologie und den unmittelbar einsetzenden Effekten seit seiner klinischen Einführung eines der spezifischsten Themengebiete der Anästhesiologie. Über die klassische anästhesiologische Indikation bei Atemwegssicherung hinaus wurden zahlreiche moderne Operationsverfahren und Eingriffe erst durch die Weiterentwicklung der Muskelrelaxierung ermöglicht. Aber auch vor den damit einhergehenden Gefahren und Komplikationen wird seit Jahrzehnten gewarnt. Im Zuge des Auslaufens des Patentschutzes für Sugammadex im Sommer 2023 schien durch die spezifische Wirkung bei günstigem Nebenwirkungsprofil eine entscheidende Vereinfachung im Management der Muskelrelaxierung erreicht worden zu sein. Knapp zwei Jahre später müssen wir anmerken, dass aus dieser vorteilhaften Entwicklung trotzdem keine vollumfängliche Sicherheit abgeleitet werden kann, sondern im Zusammenhang mit Muskelrelaxierung weiterhin klinische Risiken bestehen. Deshalb sind in diesem Bereich fundierte physiologische und pharmakologische Kenntnisse ebenso wichtig wie ein konsequent sorgfältiges Arbeiten anhand der aktuellen Vorgaben der anästhesiologischen Fachgesellschaften.

Schlüsselwörter

Rocuronium · Sugammadex · Succinylcholin · Neostigmin · Neuromuskuläres Monitoring

Die vorliegende Übersichtsarbeit soll nach einer kurzen Darstellung der Historie einige wesentliche Erkenntnisse und Entwicklungen der vergangenen Jahre darstellen und zusammenfassen, die sich in den Leitlinien von ESAIC und ASA spiegeln. Ergänzend werden im zugehörigen CME-Artikel (Krönauer T, Girrbach F, Simon P, Heller AR [2026] Muskelrelaxierung und Neuromuskuläres Monitoring. Die Anaesthesiologie. <https://doi.org/10.1007/s00101-026-01705-y>) das Basiswissen der Muskelrelaxierung und des neuromuskulären Monitorings zusammengefasst sowie eine Vorgehensweise für die klinische Praxis aufgezeigt.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Geschichte

Die indigene Bevölkerung Südamerikas verwendete zur Jagd ein aus verschiedenen Pflanzen gewonnenes Pfeilgift, das bereits im 16. Jahrhundert im Rahmen der europäischen Eroberungsexpeditionen beschrieben wurde. *Curare* ist dabei ein Sammelbegriff für verschiedene Substanzen, dessen Herstellung auch von Alexander von Humboldt auf seiner Reise zum Orinoco in seinen Reisebericht aufgenommen wurde. Nach verschiedenen Tierexperimenten im 19. Jahrhundert durch Claude Bernard und Jakob Pal verwendete Arthur Löwen das Derivat Curarin als einer der ersten Ärzte am Menschen, um den Verschluss der Bauchdecke durch die Entspannung der Muskulatur zu erleichtern. Die Beschreibung wurde 1912

in *Beiträge zur klinischen Chirurgie* publiziert [44]. Leider geriet diese Erkenntnis mutmaßlich im Zusammenhang mit dem Beginn des 1. Weltkriegs und den resultierenden Folgen für längere Zeit in Vergessenheit. Als klinische Einführung der Muskelrelaxierung gilt heutzutage die Publikation von Griffith und Johnson aus dem Jahr 1942 [31].

Im Zusammenhang mit der Entwicklung des Fachgebiets Anästhesiologie wurde die Bedeutung der Muskelrelaxanzien schnell erkannt. In den 1970er-Jahren formulierte Savarese bereits die Anforderungen an das ideale Muskelrelaxans [65]. Ebenso wurde bereits vor über 40 Jahren die Bedeutung des neuromuskulären Monitorings (NMM) proklamiert, und einige der bis heute vorherrschenden Schwierig-

Tab. 1 Gängige Muskelrelaxanzien in der klinischen Verwendung		
Name und Substanzgruppe	Dosis zur Intubation [mg/kgKG]	Klinische Einführung
<i>Depolarisierend</i>		
Succinylcholin = Suxamethonium	1,0	1951
<i>Nichtdepolarisierend</i>		
Benzylisocholinine		
Atracurium	0,5	1980
Cis-Atracurium	0,1	1995
Mivacurium	0,2	1997
Aminosteroide		
Pancuronium	0,1–0,15	1960
Vecuronium	0,1–0,15	1980
Rocuronium	0,6 (RSI: 0,9–1,2)	1992
RSI Rapid Sequence Induction, KG Körpergewicht		

keiten der Messungengenauigkeit und Interpretation wurden beschrieben [2, 77].

Aufgrund dieser weiterhin existierenden Herausforderungen aus dem Themenkomplex „Muskelrelaxierung und NMM“ wurden in den vergangenen Jahren verschiedene Empfehlungen und Leitlinien diverser anästhesiologischer Fachgesellschaften veröffentlicht, deren wesentliche Aussagen sich inhaltlich stark decken und auf die im Folgenden eingegangen werden soll [22, 42, 54, 74].

Gibt es das ideale Muskelrelaxans und die ideale Substanz zur Antagonisierung?

Im Zusammenhang mit der zunehmenden Bedeutung der Muskelrelaxierung wurde bereits 1975 von Savarese formuliert, welche Eigenschaften das „ideale“ Muskelrelaxans haben sollte [65]. Sowohl ein schneller Wirkeintritt als auch eine kurze Wirkdauer mit zügiger Erholung waren neben einer geringen Gefahr pharmakologisch aktiver Metaboliten und unerwünschter Nebenwirkungen die Kernforderungen.

Diese „idealen Eigenschaften“ werden bis heute von keiner Einzelsubstanz erfüllt, durch Kenntnis der spezifischen pharmakologischen Charakteristika sind aber – je nach Indikation und Eingriff – alle gängigen Substanzen aus Tab. 1 sinnvoll einsetzbar. Im Rahmen der Weiterbildung in

Anästhesiologie muss es (nicht nur für Muskelrelaxanzien) das Ziel sein, den Umgang mit verschiedenen Substanzen zu erlernen, um auch bei Vorliegen spezifischer Kontraindikationen oder bei Nichtverfügbarkeit einzelner Substanzen alternative Medikamente sicher anwenden zu können.

» Die Kombination aus Rocuronium und Sugammadex kommt den Wünschen von 1975 im Jahr 2026 am nächsten

Die Kombination aus Rocuronium und Sugammadex kommt den vor 50 Jahren formulierten Wünschen im Jahr 2026 am nächsten. Die beiden Ziele *vollständige neuromuskuläre Erholung vor Extubation* und *an die chirurgischen Bedürfnisse angepasste Relaxierungstiefe* während des Eingriffs lassen sich bei adäquater Anwendung mit dieser Kombination vermutlich mit den geringsten Nebenwirkungen erreichen, sind aber natürlich auch mit anderen Substanzen möglich. Seit der Einführung von Sugammadex ist es nachweislich zu einer Steigerung der verwendeten Rocuroniumdosen gekommen [79]. Auch nach Reversierung ist allerdings immer ein quantitatives NMM anzuwenden, um Restblockaden und Komplikationen zu vermeiden. Nachdem die Effizienz für Sugammadex als in diesem Kontext erste enkapsulierende Substanz gezeigt werden konnte [55, 56], wurden mittlerweile ebenfalls Anforderungen an eine ideale Substanz zur Antagonisierung bzw. zur Reversierung neuromuskulärer Blockaden beschrieben [35]. Es wird auch weiterhin an neuen Substanzen geforscht, mit dem Ziel einer fortschreitenden Verbesserung [37, 83].

Die anhaltende Diskussion um Succinylcholin

Das älteste und einzige depolarisierende Muskelrelaxans Succinylcholin wird aufgrund seiner Nebenwirkungen und den verfügbaren Alternativen außerhalb von Notfällen nur noch selten verabreicht [5, 83]. Seine Verwendung beschränkt sich auf die Notfallintubation im Rahmen einer RSI in der prähospitalen Notfallmedizin oder bei innerklinischen Intubationen mit

erhöhtem Aspirationsrisiko wie beispielsweise aufgrund eines Dünndarmileus oder (Notfall-)Kaiserschnitts, wobei bei diesen Indikationen zunehmend häufiger Rocuronium Anwendung findet [71]. Insbesondere in Notfallsituationen bietet Succinylcholin im Rahmen einer RSI jedoch weiterhin die Vorteile des schnellsten Wirkeintritts [75], eines höheren Anteils an exzellenten/akzeptablen Intubationsbedingungen [75] und einer höheren Erfolgsrate des ersten außerklinischen Intubationsversuchs [33], hat jedoch aufgrund zahlreicher Kontraindikationen auch Nachteile. Nach einer Nutzen-Risiko-Abwägung und unter strenger Beachtung der Kontraindikationen sowie Kenntnis der Therapie etwaiger Nebenwirkungen ist Succinylcholin bei diesen Fällen somit weiterhin eine Option, für die mit Rocuronium (ggf. + Sugammadex) eine adäquate Alternative existiert [22]. Die Studienlage zu Gleichwertigkeit liefert unterschiedliche Ergebnisse zwischen marginal ausfallenden, nichtsignifikanten Unterschieden [57] und scheitert an der „Non-inferiority“ – Hürde [33].

» Bei Notfallintubationen ist Succinylcholin unter Beachtung der Kontraindikationen weiterhin eine Option

Bei elektiven Eingriffen ohne erhöhtes Aspirationsrisiko im Jahr 2026 ist die Verwendung von Succinylcholin allerdings gemäß der vorherrschenden Meinung aus der Literatur mit Ausnahme einiger Spezialfälle (z. B. Elektrokampftherapie) als obsolet zu bezeichnen. Ein weiterer bislang wenig beachteter Aspekt ist, dass sich auch nach Gabe von Succinylcholin das Risiko für postoperative pulmonale Komplikationen erhöht [67] und folglich ein adaptiertes neuromuskuläres Monitoring angezeigt ist [68]. Zusammengefasst gibt es im Jahr 2026 weiterhin ein Für und Wider in der Diskussion um Alternativen zu Succinylcholin im Rahmen der RSI [30, 69], und in verschiedenen Publikationen wird trotz der kontroversen Diskussion aktuell keine vollständige Abkehr von der Substanz empfohlen [5, 23].

Welche Gründe tragen zu Restblockaden im Aufwachraum bei, und welche Erkenntnisse wurden offenbar bislang noch nicht breit genug kommuniziert?

Eine alleinige klinische Beurteilung der neuromuskulären Erholung wird in den Guidelines der American Society of Anesthesiology (ASA) explizit abgelehnt und aufgrund der oben aufgeführten Problematik wird ein quantitatives gegenüber einem qualitativen NMM bevorzugt [74]. Trotz der eben dargestellten Erkenntnisse und der Tatsache, dass die Wirkdauer eines Muskelrelaxans auch bei einmaliger Gabe vor allem von patientenindividuellen und nicht von zeitabhängigen Faktoren abhängt [11], wird die Entscheidung zur Extubation oftmals weiterhin anhand von klinischen Kriterien wie Atemzugvolumen oder der Dauer seit der letzten Gabe eines Muskelrelaxans abhängig gemacht. In einer Umfrage wurde die Problematik von Restblockaden eher bei „anderen“ Anästhesistinnen und Anästhesisten (60 %) gesehen als bei sich „selbst“ (16 %) [78].

Recurarisation 2026

Im Gegensatz zu den „klassischen“ Fällen der Recurarisation bei Verwendung von Acetylcholinesterasehemmern, die mit einem Wiedereinsetzen der Relaxanswirkung durch kompetitive Hemmung der Acetylcholinrezeptoren aufgrund unterschiedlicher Halbwertszeiten der Substanzen erklärt wurde, bindet Sugammadex Rocuronium kovalent und eliminiert es dadurch dauerhaft. Bei längerer Verwendung und hohen Dosen von Rocuronium kann es allerdings zu einer Anreicherung von Rocuronium im peripheren Kompartiment kommen.

Ein Rebound nach Rocuronium- und Sugammadex-Gabe bei bereits extubierten Patienten mit einem rezidivierenden neuromuskulären Block lässt sich eventuell durch die Umverteilung von ungebundenem Rocuronium aus dem peripheren in das zentrale und effektive Kompartiment erklären, nachdem Sugammadex bereits ausgeschieden worden ist (■ **Infobox 1**). Die Clearance aus dem peripheren Kompartiment nach lang andauernder Rocuroniumgabe beträgt 0,03 l/min [81] gegen-

über einer Sugammadex-Blut-Clearance von 0,12 l/min [29]. Zu den Risikofaktoren gehören neben hohen Rocuroniumdosen die kontinuierliche Verabreichung und/oder die längere Aufrechterhaltung eines tiefen neuromuskulären Blocks sowie eine zu niedrige Sugammadexdosierung [36].

Das stöchiometrische Verhältnis zwischen Sugammadex und Rocuronium beträgt 3,6:1 [7], somit ist theoretisch zur Reversierung von Rocuronium ungefähr die vierfache Dosis an Sugammadex erforderlich, wenn Metabolisierung und Exkretion unbetrachtet bleiben. Die erforderliche Dosis von Sugammadex wird unabhängig davon anhand der Tiefe des neuromuskulären Blocks ermittelt. Es ist legitim, die Dosierung von Sugammadex anhand des tatsächlichen Körpergewichts zu berechnen, während die Dosierung von Muskelrelaxanzien bezogen auf eine vereinfachte Annäherung an das Idealgewicht (Körpergröße in cm – 100) erfolgen sollte. Dieses Vorgehen kann darüber hinaus den Wirkeintritt der Reversierung beschleunigen [34].

Besondere Aspekte und Patientinnen- und Patientengruppen

Frauen unter hormoneller Kontrazeption

Bei Frauen in gebärfähigem Alter kann es möglicherweise bei Gabe von Sugammadex zu einer Wirkabschwächung einer hormonellen Kontrazeption kommen, weshalb aus rechtlichen Gründen eine Aufklärung zur Verwendung einer nichthormonellen Verhütungsmethode nach Gabe von Sugammadex notwendig wird. Die Gabe soll deshalb nur nach entsprechender Indikationsstellung und einer Nutzen-Risiko-Abwägung erfolgen [60], auch wenn die hormonellen Veränderungen nicht so ausgeprägt zu sein scheinen, dass sich daraus schwerwiegende Bedenken bzgl. einer fehlenden Empfängnisverhütung ergeben [12, 13]. Bei dieser Patientinnen-Gruppe könnte primär ein anderes Muskelrelaxans (z. B. (Cis-)Atracurium) verwendet werden. Als Alternativen bieten sich der Verzicht auf eine Reversierung mit Sugammadex oder eine Antagonisierung mit Neostigmin an, die auch bei Verwendung

von Rocuronium ab einem TOF-Quotient $> 0,2$ möglich ist.

Schwangerschaft und Stillzeit

Die Inzidenz eines unerwartet schwierigen Atemwegs ist bei schwangeren Patientinnen im Gegensatz zu elektiven Eingriffen erhöht [41, 58], vor allem im Rahmen einer RSI zur Not-Section caesarea [10]. Aufgrund des ebenfalls erhöhten Aspirationsrisiko wird bereits während der Schwangerschaft häufiger eine RSI durchgeführt, welche oft ab dem zweiten, spätestens ab dem dritten Trimenon empfohlen wird [17]. Deshalb kommt es regelhaft auch bei kurzen Eingriffen zum Einsatz von Rocuronium in RSI-Dosierung und unvollständiger Spontanerholung am Ende des Eingriffs. Sugammadex kann durch die Bindung von Progesteron und einer potenziellen Reduktion der Plasmaspiegel möglicherweise einen Einfluss auf verschiedene Vorgänge der Früh- und Spätschwangerschaft sowie am Übergang zur Stillperiode ausüben. Es fehlt diesbezüglich u. a. aufgrund der ethischen Schwierigkeiten bei Medikamentenstudien während der Schwangerschaft zu mehreren Fragestellungen an ausreichender Evidenz. Die Society for Obstetric Anaesthesia and Perinatology hat sich daher im Jahr 2019 gegen die Anwendung von Sugammadex in der Frühschwangerschaft und für Vorsicht bei Gaben zu späteren Schwangerschaftszeitpunkten ausgesprochen [80]. Es häufen sich gleichzeitig Berichte und Fallserien zur Anwendung von Sugammadex bei Schwangeren ohne negative Folgen auf den Schwangerschaftsverlauf, sodass die Empfehlung gegen die Anwendung von Sugammadex bei Schwangeren kontrovers diskutiert wird, es aber nichtsdestotrotz bei einer Nutzen-Risiko-Abwägung bleibt [26, 60, 80].

Analog ist die Debatte zum Vorgehen bei Sectio caesarea in Intubationsnarkose wegen geringer Evidenz noch nicht abgeschlossen, und es ist zu früh, um eine Empfehlung zur Verwendung von Succinylcholin oder Rocuronium/Sugammadex abzugeben. Eine Verwendung von Sugammadex nach Beginn der Stillzeit erscheint unproblematisch.

Kinder

Lange Zeit wurde proklamiert, dass Sugammadex bei Kindern unter 2 Jahren als Off-label-Verwendung unter besonderer Vorsicht sicher möglich sei [32]. Kürzlich wurde Sugammadex sowohl durch die European Medicines Agency (EMA) [20] als auch die Food and Drug Administration (FDA) [21] ohne Altersbeschränkung freigegeben. Es konnte darüber hinaus gezeigt werden, dass Dosierungen von 2 und 4 mg/kgKG auch bei Kinder unter 2 Jahren ohne schwerwiegende Nebenwirkungen gut toleriert wurden [47] und bezogen auf das Auftreten von PONV Vorteile gegenüber Neostigmin vorliegen könnten [9]. Da die ED₉₅ bei kleineren Kindern 0,25 mg/kgKG beträgt, sollte allerdings die Rocuroniumdosis zur Intubation auf 0,5 mg/kgKG begrenzt werden [73]. Mittlerweile ist mit wenigen Ausnahmen bei Spezialfällen eine Zwischenbeatmung auch im Rahmen der RSI von Kindern obligat, und da dabei – im Gegensatz zur verwendeten Bezeichnung „rapid“ – die Geschwindigkeit der Intubation gegenüber der Oxygenierung sowie adäquater Tiefe von Narkose und Muskelrelaxierung eine nachrangige Priorität einnimmt, sollte bei der Dosierung der Muskelrelaxanzien eine unnötig hohe Dosis vermieden und ein nichtdepolarisierendes Relaxans verwendet werden. Ein neuromuskuläres Monitoring durch EMG kann in dieser Patientengruppe valide Ergebnisse liefern, wohingegen die AMG-Messung eine Herausforderung darstellt [76]. Insbesondere bei Neugeborenen und Säuglingen oder nach Reversierung aus tiefen neuromuskulären Blockaden muss in der postoperativen Phase eine besondere Wachsamkeit auf Symptome einer möglichen Recurarisierung gelegt werden [64, 76].

Geriatrische Patientinnen und Patienten

Ältere Patientinnen und Patienten haben aufgrund verschiedener Ursachen (v. a. Veränderung der Organfunktionen sowie Änderung von Muskelmasse und Verteilungsvolumen) ein erhöhtes Risiko für eine postoperative neuromuskuläre Restblockade [24, 49] und bedürfen besonderer Wachsamkeit beim NMM.

Patientinnen und Patienten auf der Intensivstation

Auch in der Intensivmedizin ist der Einsatz von Muskelrelaxanzien zur endotrachealen Intubation obligat, und es sollte sich zur Vermeidung einer Awareness nach der Induktion eine adäquate Sedierung anschließen. Dabei sollten vergleichbare Aspekte wie im OP beachtet werden, wobei durch Veränderungen an Organen, Muskulatur und motorischer Endplatte sowohl Wirkeintritt als auch Wirkdauer verändert sein können. Bei einer geplanten Extubation im zeitlichen Zusammenhang mit der Gabe von Muskelrelaxanzien oder direkt nach operativen Eingriffen muss eine vollständige neuromuskuläre Erholung überprüft werden, da bei Patientinnen und Patienten die ohnehin individuelle Eliminationszeit für Muskelrelaxanzien im Zusammenhang mit Organdysfunktionen verlängert sein kann [39].

Anaphylaktisches Potenzial

Muskelrelaxanzien und Antibiotika besitzen im perioperativen Umfeld mit das höchste Allergiepotezial [72]. Das Risiko für eine anaphylaktische Reaktion könnte bei Rocuronium etwas höher liegen als bei Atracurium [14, 59]. Atracurium führt im Gegensatz dazu, v. a. bei rascher Injektion, ohne Vorliegen einer Anaphylaxie häufig zu einer dosisabhängigen Histaminliberation. Dies gilt es, bei unklaren hämodynamischen Veränderungen im Rahmen der Einleitung zu bedenken. Bei Patientinnen und Patienten mit hochgradiger Prädisposition für Allergien kann unabhängig vom verwendeten Relaxans die Verabreichung eines Antihistaminikums vor der Narkoseeinleitung erwogen werden. Dadurch können histaminbedingte Reaktionen deutlich abgemildert, immunologisch-vermittelte Hypersensivitätsreaktionen allerdings nicht verhindert werden. Bei dieser Patientengruppe könnte eine Kombination aus Antihistaminikum und Cis-Atracurium das Risiko minimieren [48]. Zur Therapie einer Anaphylaxie auf Rocuronium kann nach Durchführung der Standardtherapie Sugammadex erwogen werden [46, 70].

Auch Sugammadex besitzt – wie jedes Medikament – ein potenzielles Allergierisi-

ko. Erhöhte Inzidenzen an Anaphylaxien, wie in japanischen Studien beschrieben [50, 66], scheinen sich seit der breiten Verwendung nach Wegfall des Patentschutzes bislang nicht gezeigt zu haben, es gilt allerdings, in diesem Zusammenhang wachsam zu bleiben [82] und auch Sugammadex nur bei korrekt gestellter Indikation in der adäquaten Dosierung zu verabreichen [61].

Leberinsuffizienz

Während Rocuronium überwiegend hepatisch eliminiert wird, wird der Rocuronium-Sugammadex-Komplex renal ausgeschieden. Deshalb scheint die Gabe bei Patientinnen und Patienten mit Leberinsuffizienz bei adäquatem Sicherheitsprofil sinnvoll [25].

Niereninsuffizienz

Bei einer GFR < 30 ml/min wird die Verwendung von Sugammadex nicht empfohlen. Die Verwendung von Sugammadex in dieser Patientengruppe und sogar bei Patientinnen und Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz scheint gemäß aktueller Datenlage sicher zu sein, wobei weitere Studien an großen Patientenzahlen wünschenswert wären [1, 52, 53]. Eine aktuelle Publikation, welche über eine Risikoerhöhung für verschiedene Komplikationen im Vergleich von Rocuronium/Sugammadex gegenüber Cis-Atracurium/Neostigmin bei Vorliegen einer chronischen Niereninsuffizienz berichtet [27], bietet aufgrund der im Artikel beschriebenen methodischen Limitationen aus Sicht des Autors keine adäquate Basis, um daraus aktuell weitere Empfehlungen ableiten zu können. Mangels anderslautender Evidenz sollte diese Information nichtsdestotrotz bekannt sein [16] und die Verwendung von Cis-Atracurium/Neostigmin bei Patientinnen und Patienten mit höhergradiger Niereninsuffizienz erwogen werden.

Weitere Aspekte

Die Verwendung von Arzneimitteln, die die neuromuskuläre Blockade verstärken können (z. B. Magnesium [28], einige Chemotherapeutika oder Antibiotika wie Aminoglykoside [51]), sollte in der perioperativen

Infobox 2

- Antagonisierung in der Anästhesie [3]
- Frauen unter hormoneller Kontrazeption Schwangerschaft und Stillzeit [13, 26, 60, 80]
- Kinder [32, 40, 47, 76]
- Geriatrische Patientinnen und Patienten [62]
- Patientinnen und Patienten auf der Intensivstation [39]

Phase nur nach einer Prüfung der Indikationsstellung erfolgen, und die Folgen im Zusammenhang mit der Gabe von Muskelrelaxanzien sollten mittels NMM überwacht werden. Es ist möglich, dass sich beispielsweise der TOF-Quotient und sogar die TOF-Zahl nach Gabe der o. g. Substanzen nach bereits erfolgter (Teil-)Erholung wieder erniedrigen. Im Gegensatz dazu kann der Betablocker Esmolol den Wirkeintritt eines Muskelrelaxans vermutlich indirekt über die Erniedrigung des Herzzeit-Volumens verlängern und im Rahmen einer RSI im ungünstigsten Fall die Intubationsbedingungen verschlechtern [45].

In dieser zusammenfassenden Übersichtsarbeit wird aufgrund des Themenumfangs zu einigen Themen in **Infobox 2** auf verschiedene Publikationen mit vertiefenden Inhalten zur jeweiligen Thematik oder Patientengruppe verwiesen.

Zusammenfassung

Der Themenkomplex Muskelrelaxierung und neuromuskuläres Monitoring ist ein entscheidender anästhesiologischer Baustein der perioperativen Patientensicherheit. Sugammadex ist in diesem Kontext nicht die Lösung aller Probleme, welche mit Muskelrelaxierung einhergehen, sondern ein spezifisches, hochwirksames Medikament, dass bei Kenntnis der pharmakologischen und monitoringspezifischen Details sehr gut eingesetzt werden kann. Allerdings darf dabei keinesfalls, aufgrund einer unbegründeten Sicherheit, die Achtsamkeit verloren gehen. Die Basis zur Vermeidung postoperativer Restblockaden liegt in der Kombination aus adäquater Dosierung, einem korrekt angewandten neuromuskulären Monitoring und der Beurteilung aller weiteren klinischer Informationen – dabei ist physio-

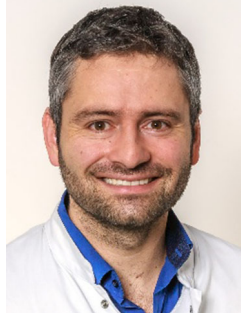
logisches und pharmakologisches Wissen essenziell.

Zusammenfassend muss das Ziel proklamiert werden, die weiterhin vorherrschenden Unterschiede zwischen den schriftlichen Vorgaben der Guidelines unserer Fachgesellschaften und der klinischen Praxis zu minimieren.

Fazit für die Praxis

- Bei jeder Intubation ist ein Muskelrelaxans zu verwenden.
- Bei jeder Verwendung eines Muskelrelaxans soll ein quantitatives neuromuskuläres Monitoring durchgeführt werden, bevorzugt am N. ulnaris/M. adductor pollicis.
- Vor Beendigung einer Intubationsnarkose sollte ein unter Kenntnis der Limitationen adäquat gemessener TOF-Quotient $> 0,95$ vorliegen und dokumentiert werden.
- Diverse Substanzen sind zur Erfüllung dieser Ziele verwendbar, wobei sie mit der Kombination aus Rocuronium und Sugammadex häufig am einfachsten erreichbar sind.
- Die Kenntnisse der zugrunde liegenden Physiologie und Pharmakologie bleiben essenziell.

Korrespondenzadresse



Dr. med. Thomas Krönauer
Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Medizinische Fakultät, Universität Augsburg, Universitätsklinikum Augsburg Stenglinstr. 2, 86156 Augsburg, Deutschland
thomas.kroenauer@uk-augsburg.de

Biografie

Dr. med. Thomas Krönauer studierte an LMU und TU München sowie der UB Barcelona Medizin und arbeitet seit 2014 in der Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin am (Universitäts-)Klinikum Augsburg. Er erwarb 2019 die Facharztbezeichnung Anästhesiologie und das Europäische Diplom (DESA). Außerdem besitzt er die Zusatzbezeichnungen Notfallmedizin und Intensivmedizin. Seit 2021 ist er als Lehrkoordinator für Anästhesiologie

und Intensivmedizin im Modellstudiengang der Uni Augsburg tätig und seit 2022 als Oberarzt Mitglied der Bereichsleitung für Geburtshilfliche Anästhesie. In der Lehre unterrichtet er als CRM-Simulationsinstructor bevorzugt praxisnahe Fallsimulationen und im klinischen Bereich liegen seine besonderen Interessen neben der Geburtshilfe in der Kardioanästhesie und dem Themenkomplex Muskelrelaxierung.

Förderung. Für diese Arbeit wurde keine Förderung erhalten.

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Datenverfügbarkeit. Alle dieser Arbeit zugrunde liegenden Daten sind in diesem Artikel enthalten.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. T. Krönauer: A. Finanzielle Interessen: T. Krönauer gibt an, dass kein finanzieller Interessenkonflikt besteht. – B. Nichtfinanzielle Interessen: Oberarzt, Universitätsklinikum Augsburg, Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Stenglinstr. 2, 86156 Augsburg | Mitgliedschaften: DGAI, BDA, ESAIC, Wissenschaftlicher Arbeitskreis Geburtshilfliche Anästhesie der DGAI. F. Girschbach: A. Finanzielle Interessen: F. Girschbach gibt an, dass kein finanzieller Interessenkonflikt besteht. – B. Nichtfinanzielle Interessen: Geschäftsführender Oberarzt, Universitätsklinikum Augsburg, Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Stenglinstr. 2, 86156 Augsburg | Mitgliedschaften: DGAI, AGBN, GRC. P. Simon: A. Finanzielle Interessen: Forschungsförderung zur persönlichen Verfügung: BMBF FKZ 13GW0625B UBIC-Trial Jahr 2023–2025; Freistaat Bayern Corona-Förderung COVIDPEEP-Trial Jahr 2022. – Vortrag DGP 2025 Firma Fisher & Paykel. – B. Nichtfinanzielle Interessen: Sektionsleiter Operative Intensivmedizin, Leitung klinische Forschung, Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Augsburg, Stenglinstr. 2, 86156 Augsburg | Mitgliedschaften: DGAI, ESAIC, ESCIM, SepNet, Deutsche Sepsisgesellschaft, Wissenschaftlicher Arbeitskreis Intensivmedizin der DGAI, Wissenschaftlicher Arbeitskreis Digitale Medizin der DGAI, Wissenschaftlicher Arbeitskreis junge AnästhesistInnen der DGAI. A.R. Heller: Finanzielle Interessen: Forschungsförderung: Drittmittelförderung Projekte: Fresenius-Kabi, BMBF, BMVgg, BayStMWI • Referentenhonorar/Reisekostenerstattung als passiver Teilnehmer: Referentenhonorar: CSL Behring | Reisekostenerstattungen: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, DIVI, DGAI, BayStM | Herausgeberhonorar: Springerverlag • Bezahlter Berater/interner Schulungsreferent/Gehaltsempfänger o.ä.: Herausgeberschaft: Der Anaesthetist, Springer Medizin • Nichtfinanzielle Interessen: Universitätsklinikum Augsburg, Universität Augsburg | Mitgliedschaften: Gesellschaft/Verband DGAI, BDA, DIVI, DGKM, GRC, DAKEP | Beschwerdeführer beim BVerfG zum §5c IfSG.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Adams DR, Tollinche LE, Yeoh CB et al (2020) Short-term safety and effectiveness of sugammadex for surgical patients with end-stage renal disease: a two-centre retrospective study. *Anaesthesia* 75:348–352
- Ali HH, Savarese JJ (1976) Monitoring of Neuromuscular Function. *Anesthesiology* 45:216–249
- Baier S, Hübler A, Koch T (2023) Antagonisierung in der Anästhesie. *Anaesthesiol Intensivmed* 64:476–488
- Bartkowski RR (1987) Incomplete reversal of pancuronium neuromuscular blockade by neostigmine, pyridostigmine, and edrophonium. *Anesth Analg* 66:594–598
- Blobner M, Hunter JM (2020) Another nail in the coffin of succinylcholine? *Br J Anaesth* 125:423–425
- Blobner M, Hunter JM, Meistelman C et al (2020) Use of a train-of-four ratio of 0.95 versus 0.9 for tracheal extubation: an exploratory analysis of POPULAR data. *Br J Anaesth* 124:63–72
- Bom A, Bradley M, Cameron K et al (2002) A novel concept of reversing neuromuscular block: chemical encapsulation of rocuronium bromide by a cyclodextrin-based synthetic host. *Angew Chem Int Ed Engl* 41:266–270
- Brueckmann B, Sasaki N, Grobara P et al (2015) Effects of sugammadex on incidence of postoperative residual neuromuscular blockade: A randomized, controlled study. *Br J Anaesth* 115:743–751
- Chhabra R, Gupta R, Gupta LK (2024) Sugammadex versus Neostigmine for Reversal of Neuromuscular Blockade in Adults and Children: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Curr Drug Saf* 19:33–43
- Cook TM, Macdougall-Davis SR (2012) Complications and failure of airway management. *Br J Anaesth* 109:68–85
- Debaene B, Plaud B, Dilly MP, Donati F (2003) Residual paralysis in the PACU after a single intubating dose of nondepolarizing muscle relaxant with an intermediate duration of action. *Anesthesiology* 98:1042–1048
- Devoy T, Hunter M, Smith NA (2023) A prospective observational study of the effects of sugammadex on peri-operative oestrogen and progesterone levels in women who take hormonal contraception. *Anaesthesia* 78:180–187
- Devoy T, Smith N (2024) Sugammadex and oral contraceptives. *Curr Opin Anaesthesiol* 37:338–343
- Dewachter P, Mouton-Favre C (2015) Anaphylaxis Incidence with Rocuronium, Succinylcholine, and Atracurium: How Risk Communication Can Influence Behavior. *Anesthesiology* 123:735–736
- Dubois BFH, Fraessdorf J, Blobner M et al (2023) Muscle weakness after sugammadex: incomplete reversal of neuromuscular blockade or delayed postoperative recurarisation? *Br J Anaesth* 130:e409–e412
- Dutton RP (2025) Rocuronium-Sugammadex Versus Cisatracurium-Neostigmine in Kidney Disease: Making Sense of Surprising Results. *Anesth Analg* 140:1001–1003
- Eichelsbacher C, Ilper H, Noppens R et al (2018) Rapid sequence induction and intubation in patients with risk of aspiration: Recommendations for action for practical management of anesthesia. *Anaesthesiol* 67:568–583
- Eriksson LI, Sato M, Severinghaus JW (1993) Effect of a Vecuronium-induced Partial Neuromuscular Block on Hypoxic Ventilatory Response. *Anesthesiology* 78:693–699
- Eriksson LI, Sundman E, Olsson R et al (1997) Functional Assessment of the Pharynx at Rest and during Swallowing in Partially Paralyzed Humans. *Anesthesiology* 87:1035–1043
- European Medicines Agency (EMA) (2025) An overview of Bridion and why it is authorised in the EU.
- Food and Drug Administration (FDA) (2024) Bridion (sugammadex) injection.
- Fuchs-Buder T, Romero CS, Lewald H et al (2023) Peri-operative management of neuromuscular blockade: A guideline from the European Society of Anaesthesiology and Intensive Care. *Eur J Anaesthesiol* 40:82–94
- Fuchs-Buder T, Schmartz D (2013) The never ending story or the search for a nondepolarising alternative to succinylcholine. *Eur J Anaesthesiol* 30:583–584
- Fuchs-Buder T, Schmartz D (2017) Neuromuskuläre Restblockade. *Anaesthesist* 66:465–476
- Fujita A, Ishibe N, Yoshihara T et al (2014) Rapid reversal of neuromuscular blockade by sugammadex after continuous infusion of rocuronium in patients with liver dysfunction undergoing hepatic surgery. *Acta Anaesthesiol Taiwanica* 52:54–58
- Gaston IN, Lange EMS, Farrer JR, Toledo P (2023) Sugammadex Use for Reversal in Nonobstetric Surgery during Pregnancy: A Reexamination of the Evidence. *Anesth Analg* 136:1217–1219
- Georgakis NA, Deshazo SJ, Gomez JI et al. (2024) Risk of Acute Complications with Rocuronium versus Cisatracurium in Patients with Chronic Kidney Disease: A Propensity-Matched Study. *Anesth Analg* 140:1004–1011
- Germano-Filho PA, Cavalcanti IL, Micuci AJQR et al (2023) Recurarization with magnesium sulfate administered after two minutes sugammadex reversal: A randomized, double-blind, controlled trial. *J Clin Anesth* 89:111186
- Gijsenbergh F, Ramael S, Houwing N, Van Iersel T (2005) First human exposure of Org 25969, a novel agent to reverse the action of rocuronium bromide. *Anesthesiology* 103:695–703
- Girard T (2013) Pro: Rocuronium should replace succinylcholine for rapid sequence induction. *Eur J Anaesthesiol* 30:585–589
- Griffith HR, Johnson GE (1942) The use of curare in general anesthesia. *Anesthesiology* 3:418–420
- Grigg E (2020) Sugammadex and neuromuscular reversal: special focus on neonatal and infant populations. *Curr Opin Anaesthesiol* 33:374–380
- Guihard B, Chollet-Xémar C, Lakhnati P et al (2019) Effect of Rocuronium vs Succinylcholine on Endotracheal Intubation Success Rate among Patients Undergoing Out-of-Hospital Rapid Sequence Intubation: A Randomized Clinical Trial. *JAMA - J Am Med Assoc* 322:2303–2312
- Horrow JC, Li W, Blobner M et al (2021) Actual versus ideal body weight dosing of sugammadex in morbidly obese patients offers faster reversal of rocuronium- or vecuronium-induced deep or moderate neuromuscular block: a randomized clinical trial. *BMC Anesthesiol* 21:1–10
- Hunter JM (2020) Reversal of neuromuscular block. *BJA Educ* 20:259–265
- Hunter JM, Blobner M (2024) Under-dosing and over-dosing of neuromuscular blocking drugs and reversal agents: beware of the risks. *Br J Anaesth* 132:461–465
- Hunter JM, Blobner M (2025) Developing novel drugs to reverse neuromuscular block: do we need them? *Br J Anaesth* 134:1591–1596
- Illman HL, Laurila P, Antila H et al (2011) The duration of residual neuromuscular block after administration of neostigmine or sugammadex at two visible twitches during train-of-four monitoring. *Anesth Analg* 112:63–68
- Jung C, Stüber T (2024) Muskelrelaxanzien in der Intensivmedizin. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 59:506–516
- Keil O, Rigterink V (2024) Muskelrelaxierung bei pädiatrischen Patient*innen. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 59:518–527
- Kinsella SM, Winton AL, Mushambi MC et al (2015) Failed tracheal intubation during obstetric general anaesthesia: a literature review. *Int J Obstet Anesth* 24:356–374
- Klein AA, Meek T, Allcock E et al (2021) Recommendations for standards of monitoring during anaesthesia and recovery 2021: Guideline from the Association of Anaesthetists. *Anaesthesia* 76:1212–1223
- Krönauer T, Girschbach F, Simon P (2025) Clinically significant recurarisation in the postanesthesia care unit after robotic surgery with antagonism of rocuronium with sugammadex controlled by neuromuscular monitoring. A case report. *Eur J Anaesthesiol* 42(e-supplement 63):528–541
- Läwen A (1912) Über die Verbindung der Lokalanästhesie mit der Narkose, über hohe Extraduralanästhesie und epidurale Injektionen anästhesierender Lösungen bei tabischen Magenkrise. *Beitr Klin Chir* 80:168–180
- Lee JH, Kim Y, Lee KH et al (2015) The effects of nicardipine or esmolol on the onset time of rocuronium and intubation conditions during rapid sequence induction: a randomized double-blind trial. *J Anesth* 29:403–408
- McDonnell NJ, Pavy TJG, Green LK, Platt PR (2011) Sugammadex in the management of rocuronium-induced anaphylaxis. *Br J Anaesth* 106:199–201
- Mensah-Osman E, Mukai Y, Wang A et al (2025) Sugammadex for Reversal of Neuromuscular Blockade in Neonates and Infants Less than 2 Years Old: Results from a Phase IV Randomized Clinical Trial. *Anesthesiology* 143:300–312
- Mertes PM, Volcheck GW (2015) Anaphylaxis to Neuromuscular-blocking Drugs. *Anesthesiology* 122:5–7
- Murphy GS, Szokol JW, Avram MJ et al (2015) Residual Neuromuscular Block in the Elderly. *Anesthesiology* 123:1322–1336

50. Orihara M, Takazawa T, Horiuchi T et al (2020) Comparison of incidence of anaphylaxis between sugammadex and neostigmine: a retrospective multicentre observational study. *Br J Anaesth* 124:154–163
51. Ortiz-Gómez JR, Palacio-Abizanda FJ, Fornet-Ruiz I (2014) Failure of sugammadex to reverse rocuronium-induced neuromuscular blockade A case report. *Eur J Anaesthesiol* 31:708–709
52. Panhuizen IF, Gold SJA, Buerkle C et al (2015) Efficacy, safety and pharmacokinetics of sugammadex 4 mg kg⁻¹ for reversal of deep neuromuscular blockade in patients with severe renal impairment. *Br J Anaesth* 114:777–784
53. Paredes S, Porter SB, Porter IE, Renew JR (2020) Sugammadex use in patients with end-stage renal disease: a historical cohort study. *Can J Anesth* 67:1789–1797
54. Plaud B, Baillard C, Bourgain JL et al (2020) Guidelines on muscle relaxants and reversal in anaesthesia. *Anaesth Crit Care Pain Med* 39:125–142
55. Pühringer FK, Gordon M, Demeyer I et al (2010) Sugammadex rapidly reverses moderate rocuronium- or vecuronium-induced neuromuscular block during sevoflurane anaesthesia: a dose-response relationship. *Br J Anaesth* 105:610–619
56. Pühringer FK, Rex C, Sielenkämper AW et al (2008) Reversal of profound, high-dose rocuronium-induced neuromuscular blockade by sugammadex at two different time points: an international, multicenter, randomized, dose-finding, safety assessor-blinded, phase II trial. *Anesthesiology* 109:188–197
57. Ramsey JT, Pache KM, Sayre MR et al (2024) Comparison of Intubating Conditions with Succinylcholine Versus Rocuronium in the Prehospital Setting. *Prehospital Emerg Care* 28:537–544
58. Reale SC, Bauer ME, Klumpner TT et al (2022) Frequency and risk factors for difficult intubation in women undergoing general anesthesia for cesarean delivery: A multicenter retrospective cohort analysis. *Anesthesiology* 136:697–708
59. Reddy JI, Cooke PJ, Van Schalkwyk JM et al (2015) Anaphylaxis is more common with rocuronium and succinylcholine than with atracurium. *Anesthesiology* 122:39–45
60. Richardson MG, Raymond BL (2020) Sugammadex Administration in Pregnant Women and in Women of Reproductive Potential: A Narrative Review. *Anesth Analg* 130:1628–1637
61. Rodney G, Raju P, Brull SJ (2024) Neuromuscular block management: evidence-based principles and practice. *BJA Educ* 24:13–22
62. Rudolf D (2024) Muskelrelaxierung bei geriatrischen Patient*innen. *AINS - Anästhesiologie · Intensivmed · Notfallmedizin · Schmerztherapie* 59:528–536
63. Ruetzler K, Li K, Chhabada S et al (2022) Sugammadex Versus Neostigmine for Reversal of Residual Neuromuscular Blocks After Surgery: A Retrospective Cohort Analysis of Postoperative Side Effects. *Anesth Analg* 134:1043–1053
64. Salaün JP, Décarry E, Veyckemans F (2024) Recurarisation after sugammadex in children: review of case reports and recommendations. *Br J Anaesth* 132:410–414
65. Savarese JJ, Kitz RJ (1975) Does Clinical Anesthesia Need New Neuromuscular Blocking Agents? *Anesthesiology* 42:236–239
66. Savić L, Savić S, Hopkins PM (2020) Anaphylaxis to sugammadex: should we be concerned by the Japanese experience? *Br J Anaesth* 124:370–372

Muscle relaxation 2026—50 years of searching for the ideal relaxant

Since its clinical introduction, muscle relaxation has been one of the most specific topics in anesthesiology, due to the clear interaction between physiology and pharmacology and the immediately apparent effects.

Beyond the classical indications in anesthesia for securing the airway, many modern surgical procedures and interventions would not be possible without the development of muscle relaxation; however, warnings about the associated risks and complications have also been issued for decades.

Following the expiration of the patent protection of sugammadex in summer 2023, its specific effects and favorable side-effect profile have made a significant contribution to the simplification of muscle relaxation management; however, nearly 2 years later it is important to acknowledge that this advantageous development does not guarantee complete safety and that clinical risks continue to exist in connection with muscle relaxation.

Therefore, in this field profound physiological and pharmacological knowledge stay just as important as a consistent and thorough work ethic in accordance with the current guidelines of the anesthesia professional associations.

Keywords

Rocuronium · Sugammadex · Suxamethonium · Neostigmin · Neuromuscular monitoring

67. Schaefer MS, Hammer M, Santer P et al (2020) Succinylcholine and postoperative pulmonary complications: a retrospective cohort study using registry data from two hospital networks. *Br J Anaesth* 125:629–636
68. Schmartz D, Chénard L, Baumann C, Fuchs-Buder T (2021) A modified train-of-four ratio to assess recovery from depolarizing neuromuscular blockade after succinylcholine, a prospective observational study. *J Clin Monit Comput* 35:1133–1138
69. Schreiber JU (2013) Con: Succinylcholine should not be replaced by rocuronium for rapid sequence induction. *Eur J Anaesthesiol* 30:590–593
70. Schumacher S, Söhle M, Piekarski F (2025) Sugammadex bei Anaphylaxie durch Rocuronium. *Die Anaesthesiol* 74:439–441
71. Sorbello M, Paternò DS, Zdravkovic I, La Via L (2025) Pharmacological approach to rapid sequence induction/intubation: A contemporary perspective. *Curr Opin Anaesthesiol* 38:369–374
72. Tacquard C, Iba T, Levy JH (2023) Perioperative Anaphylaxis. *Anesthesiology* 138:100–110
73. Taivainen T, Meretoja OA, Erkola O et al (1996) Rocuronium in infants, children and adults during balanced anaesthesia. *Paediatr Anaesth* 6:271–275
74. Thilen SR, Weigel WA, Todd MM et al (2023) 2023 American Society of Anesthesiologists Practice Guidelines for Monitoring and Antagonism of Neuromuscular Blockade: A Report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Neuromuscular Blockade. *Anesthesiology* 138:13–41
75. Tran DT, Newton EK, Mount VA et al (2015) Rocuronium versus succinylcholine for rapid sequence induction intubation. *Cochrane Database Syst Rev* 2015:66–68
76. Veyckemans F, Debouche S, Kaufmann J et al (2026) 2025 ESAIC and ESPA Guidelines on neuromuscular block in anaesthetised children. *Eur J Anaesthesiol* 43:295–323
77. Viby-Mogensen J, Jensen NH, Engbaek J et al (1985) Tactile and visual evaluation of the response to train-of-four nerve stimulation. *Anesthesiology* 63:440–443
78. Videira RLR, Vieira JE (2011) What rules of thumb do clinicians use to decide whether to antagonize nondepolarizing neuromuscular blocking drugs? *Anesth Analg* 113:1192–1196
79. Wachtendorf LJ, Kaiser L, Ahrens E et al (2026) Changes in Intraoperative Rocuronium Dosing after the Introduction of Sugammadex and Association with Postoperative Respiratory Complications: A Retrospective Cohort Study. *Anesthesiology* 144:597–610
80. Willet, Butwick, Togioka et al (2019) Society for Obstetric Anesthesia and Perinatology Statement on Sugammadex during pregnancy and lactation. https://www.soap.org/assets/docs/SOAP_Statement_Sugammadex_During_Pregnancy_Lactation_APPROVED.pdf
81. Yang L, Wang H, Zhang L et al (2010) Population pharmacokinetics of rocuronium delivered by target-controlled infusion in adult patients. *Chin Med J (Engl)* 123:2543–2547
82. Zecic F, Smart MH, Abbey TC et al (2022) Sugammadex-induced anaphylactic reaction: A systematic review. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol* 38:360–370
83. Zoremba N, Schälte G, Bruells C, Pühringer FK (2017) Update Muskelrelaxation: Was kommt nach Succinylcholin, Rocuronium und Sugammadex? *Anaesthesist* 66:353–359

Hinweis des Verlags. Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.