

Medication dose calculation errors and strategies for the calculation of medication doses

A. Fudickar¹ · L. Reimers² · A. Lindmeier³

► **Zitierweise:** Fudickar A, Reimers L, Lindmeier A: Fehler bei Medikamentendosisberechnungen und Berechnungsstrategien für Medikamentendosierungen. Anästh Intensivmed 2020;61:117–122.
DOI: 10.19224/ai2020.117

- 1 Priv.-Doz. Dr. med. Axel Fudickar, Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel (Komm. Direktor: Prof. Dr. M. Steinfath)
- 2 Dr. rer. nat. Dipl.-Phys. Lüder Reimers, Friedrich-Paulsen-Schule Niebüll
- 3 Prof. Dr. Anke Lindmeier, IPN – Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik, Kiel (Direktor: Prof. Dr. O. Köller)

Danksagung

Wir danken TÄ Anne Reimers für die kritische Lektüre und hilfreiche Anmerkungen.

Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Schlüsselwörter

Medikationsfehler – Dosisberechnung – Proportionsrechnung – Berechnungsstrategie – Mathematikdidaktik

Keywords

Medication Error – Dose Calculation – Proportional Reasoning – Calculation Strategies – Mathematics Education

Zusammenfassung

Hintergrund und Fragestellung: Eine Ursache für Medikationsfehler sind Fehler bei Dosisberechnungen. Ziel dieser Arbeit ist es, aus Originalarbeiten zu Fehlern von Ärzten bei Dosisberechnungen die fehlerrelevanten Berechnungsprobleme zu identifizieren. Zu diesen Berechnungsproblemen sollen Lösungsstrategien unter Berücksichtigung fachdidaktischer Prinzipien angegeben werden.

Methodik: Zur Literaturrecherche wurden in dieser narrativen (selektiven) Übersichtsarbeit eine Suche in der Datenbank PubMed und eine Internetrecherche unter den Stichwörtern „Dose calculation“, „Calculation error medicine“, „Calculation ability medical staff“ und „Calculation ability physicians“ durchgeführt. Außerdem wurden die Literaturverzeichnisse relevanter Publikationen nach weiteren die Fragestellung bearbeitenden Originalarbeiten durchsucht. Alle vor dem Jahr 2019 publizierten Originalarbeiten wurden in die Auswertung einbezogen. Die relevanten Rechenprobleme wurden identifiziert und Lösungsstrategien unter Berücksichtigung fachdidaktischer Grundlagen angegeben.

Ergebnisse: In 5 Evaluierungsstudien wurde gezeigt, dass Dosisberechnungsprobleme bei 5 Aufgabentypen aus dem Bereich der Proportionsrechnung auftreten. 2–45% der Ärzte konnten die schwierigsten Dosierungsberechnungs-

Fehler bei Medikamentendosisberechnungen und Berechnungsstrategien für Medikamentendosierungen

aufgaben lösen, bei den einfachsten Aufgaben waren es 61–100%. Frühere didaktische Forschungsergebnisse zu Proportionsrechnungen zeigten, dass Lösungsstrategien mit Hilfe von Funktionen fehleranfälliger sind als praxisnahe Lösungsstrategien. Deshalb wurden im Anhang nicht nur Lösungswege mit funktionalem Ansatz, sondern auch praxisnahe Lösungswege für die identifizierten Probleme angegeben.

Schlussfolgerungen: Probleme bei der Medikamentendosisberechnung traten bei Ärzten bei 5 Grundtypen von Proportionsrechnungen auf. Für diese Aufgaben wurden funktionale und praxisnahe Lösungswege angegeben.

Summary

Background: Dose calculation errors are possible causes for medication errors. The aim of this study is to identify dose calculation problems from studies investigating dose calculation errors of physicians and to develop calculation strategies to solve these problems based on the principles of mathematics education.

Methods: A PubMed and internet search including the keywords „dose calculation“, „calculation error medicine“, „calculation ability medical staff“ and „calculation ability physicians“ was performed for this narrative (selective) review. The references of relevant publications were analysed for further original articles relating to dose calculation problems. All relevant articles published

before 2019 were included. Relevant calculation problems were identified and dose calculation strategies based on mathematical didactics were reported.

Results: Analysis of five studies resulted in identification of five typical dose calculation problems from the mathematical field of proportional reasoning. 2% to 45% of all physicians could solve the most difficult calculation problems, 61% to 100% could solve the easiest calculation problems. According to educational research, practical calculation strategies were seen to be superior to general mathematical solution strategies. Hence practical dose calculation strategies for the solution of the identified problems were developed in addition to strategies based on functions in the appendix.

Conclusions: Dose calculation problems were identified in five basic types of calculation. Functional and practical calculation strategies are provided for the solution of these calculation problems.

Einleitung

Medikationsfehler treten in allen medizinischen Fachgebieten auf [1]. In einer Studie von Nanji et al. wurden durch externe Begutachtung Medikationsfehler bei 5,3% aller Medikamentengaben während Operationen und damit (bei durchschnittlich 10 Medikamentengaben pro Narkose) bei jeder zweiten Narkose beobachtet [2]. Etwa ein Drittel fehlerhafter Medikamentenapplikationen hatte unerwünschte Ereignisse zur Folge [2]. Medikationsfehler sind häufig Dosierungsfehler [3], und eine verbreitete Ursache dafür sind Rechenfehler bei der Dosisberechnung [4,5]. Eine dreimal häufiger als Erwachsene betroffene Patientengruppe sind Kinder, weil bei Kindern häufiger Dosisberechnungen durchgeführt werden müssen als bei Erwachsenen und die Größenordnungen ungewohnt sind. Die Häufigkeit von Dosisberechnungsfehlern lag in verschiedenen Studien [5–10] – mit allerdings unterschiedlicher untersuchter Fehlerart, Situation und Untersuchungsmethode

– zwischen 1:766 Medikamentenanordnungen mit einem 10er-Potenzfehler im Rahmen eines Risiko-Audits (durch externe Begutachtung) in einer Kindernotaufnahme [7] und 1:32 gleichartigen Fehlern während simulierten Reanimationen an Puppen in der gleichen Notaufnahme. Zur Verabreichung der falschen Dosierungen an den Puppen kam es bei den Anordnungen in der letztgenannten Studie jedoch nicht, denn sie wurden vorher im Team erkannt und verhindert [8]. Berechnungen zur Verordnung von Medikamenten erfordern zwar in der Regel nur einfache Rechenschritte, die Fehlerwahrscheinlichkeit wird aber dadurch erhöht, dass Dosisberechnungen im Medizinbetrieb unter Zeitdruck und in störender Umgebung durchgeführt werden müssen.

Eine Maßnahme zur Arzneimitteltherapiesicherheit ist daher die Reduktion der Häufigkeit von Rechenfehlern. Am sichersten ist es, auf Berechnungen zu verzichten und zum Beispiel Dosierungs-tabellen zu verwenden. Diese werden von vielen Medikamentenherstellern in den Fachinformationen zur Verfügung gestellt. Eine praktische Kombination von Tabellen und einem Maßband zur Bestimmung der Körpergröße sind pädiatrische Notfalllineale oder Notfallmaßbänder. Von diesen Bändern können neben der Körpergröße die Dosierungen für Notfallmedikamente und Größenangaben für andere Hilfsmittel farbkodiert abgelesen werden. In einer präklinischen Studie von Kaufmann et al. konnten durch den Einsatz eines pädiatrischen Notfalllineals 9 von 10 schwerwiegende Fehldosierungen vermieden werden [11]. Sehr nützlich sind auch Computerprogramme zur Dosisberechnung [6]. Dosisberechnungen lassen sich aber nicht vollständig vermeiden, da diese Hilfsmittel nicht immer verfügbar sind. Da die Beschaffung dieser Hilfsmittel nicht besonders aufwendig ist, sollte ihre Verfügbarkeit aber möglichst in allen Bereichen sichergestellt werden, wo sie gebraucht werden könnten. Es ist trotzdem sinnvoll, Dosisberechnungen näherungsweise schnell durchführen

zu können, denn grobe Fehler können auch bei Verwendung dieser Hilfsmittel z.B. durch Eingabe- oder Ablesefehler auftreten [11,12].

Während Literatur über Dosisberechnung und Dosisberechnungsfehler für Angehörige medizinischer Assistenzberufe einschließlich geeigneter Lehrmaterialien existiert, sind Arbeiten über Dosisberechnung und Dosisberechnungsfehler im ärztlichen Bereich eher selten zu finden [13]. Daher erscheint es sinnvoll, zu untersuchen, welche Arbeiten über Dosisberechnung und Dosisberechnungsfehler im ärztlichen Bereich verfügbar sind. Aus diesen können die Rechenprobleme abstrahiert und Lösungsansätze unter Berücksichtigung fachdidaktischer Kriterien angegeben werden.

Fragestellung

In dieser Arbeit sollen die Studien zur Häufigkeit von Rechenfehlern von Ärzten bei der Dosisberechnung aufgelistet und jeweils eine kurze Inhaltsangabe gegeben werden. Die dabei berücksichtigten Grundtypen von Dosisberechnungen sollen identifiziert und Lösungsansätze unter Berücksichtigung fachdidaktischer Kriterien vorgestellt werden.

Methodik

Zur Literaturrecherche wurden in dieser narrativen (selektiven) Übersichtsarbeit eine Suche in der Datenbank PubMed und eine Internetrecherche unter den Stichwörtern „Dose calculation“, „Calculation error medicine“, „Calculation ability medical staff“ und „Calculation ability physicians“ durchgeführt. Außerdem wurden die Literaturverzeichnisse relevanter Publikationen nach weiteren die Fragestellung bearbeitenden Originalarbeiten durchsucht. Alle vor dem Jahr 2019 publizierten Originalarbeiten wurden in die Auswertung einbezogen. Die relevanten Rechenprobleme wurden identifiziert und Lösungsstrategien unter Berücksichtigung fachdidaktischer Grundlagen angegeben.

Ergebnisse

Studien zu Rechenfehlern bei der Dosisberechnung durch Ärzte

In allen in die Untersuchung einbezogenen Studien wurden Ärzten Rechenaufgaben zur Dosisberechnung gestellt. Die Ergebnisse wurden in den Studien überwiegend in Prozent richtig gelöster Aufgaben für die einzelnen Aufgaben getrennt dargestellt. Deshalb wurde zunächst für jede Studie bestimmt, welche Aufgabe von den meisten und welche Aufgabe von den wenigsten Studienteilnehmern gelöst werden konnte. Anschließend wurde tabellarisch für jede Studie (in Prozent) angegeben, wie viele Studienteilnehmer die jeweils von den wenigsten oder den meisten Studienteilnehmern richtig gelöste Aufgabe berechnen konnten (Tab. 1).

1989 wurde in Leicester gezeigt, dass die Umrechnung von Prozentangaben in Massenangaben pro ml vor allem Nicht-Anästhesisten Probleme bereitet [14].

1995 wurde die Fähigkeit von 150 Ärzten eines Lehrkrankenhauses in Manchester zur Umrechnung von Prozentangaben in Masseneinheiten pro Volumeneinheit untersucht. Etwa die Hälfte der Ärzte konnte diese Berechnung nicht durchführen. Die Schlussfolgerung der Autoren war, dass alle Medikamente mit der Angabe der Masse pro Volumeneinheit beschriftet werden sollten [15].

Eine ähnliche Untersuchung wurde 2004 am Christchurch Hospital in Neuseeland mit fünf Fragen an 111 Pflegekräften, Pharmakologen, Medizinstudenten und Ärzten durchgeführt. Nur 14% der Teilnehmer konnten alle Aufgaben richtig lösen. Ärzte und Pharmakologen schnitten dabei besser ab als Medizinstudenten und Pflegekräfte [16].

In einer weiteren Studie konnten 141 Ärzte des Gold Coast Hospital in Australien durchschnittlich nur rund 70% von zwölf Aufgaben zur Dosisberechnung lösen, wobei Intensiv- und Notfallmediziner und Anästhesisten besser abschnitten als Ärzte anderer Fachrichtungen. Ärzte mit mehr als drei Jahren Berufserfahrung waren besser als Ärzte mit weniger Erfahrung [17].

Eine israelische Studie ergab, dass nur 15% von 41 Anästhesisten eine Dosisberechnung für eine Infusionstherapie bei Kindern durchführen konnten. Die Spannweite der Fehler reichte ohne Unterschied zwischen Oberärzten und Assistenzärzten von um den Faktor 50 zu niedrig bis um den Faktor 56 zu hoch [18].

Identifizierte Rechenprobleme

Die Studien beinhalteten bis zu 12 Rechenaufgaben, die teilweise – mit Ausnahme von einem Taschenrechner, Papier und Stift – ohne Hilfsmittel in einem bestimmten Zeitrahmen gelöst werden sollten. Folgende typische Rechenprobleme wurden identifiziert:

1. Berechnung der richtigen Dosis bezogen auf Körpergewicht oder -oberfläche
2. Berechnung der Medikamentenmasse pro Volumeneinheit (z.B. in mg/ml) aus der Prozentangabe
3. Berechnung der Medikamentenmasse pro Volumeneinheit (z.B. in mg/ml) aus der Stoffmengenangabe (z.B. in mol/l)
4. Berechnung der Konzentration von Verdünnungen
5. Umrechnung der Laufrate von Infusionen oder Perfusoren von Volumeneinheit pro Zeiteinheit (z.B. ml/h) in Medikamentenmenge oder Medikamentenmasse pro Zeiteinheit und Körpergewicht (z.B. µg/kg/min) und umgekehrt.

Lösungsstrategien

Allgemeines Problem

Die oben identifizierten Rechenprobleme haben gemeinsam, dass eine unbekannte Größe aus bekannten zueinander proportionalen Größen berechnet werden soll. Zum Beispiel soll die Laufrate eines Perfusors in ml/h ausgerechnet werden, die nötig ist, um ein Medikament mit einer in µg/kg/min angegebenen Dosis zu infundieren, wobei die Konzentration des Medikaments im Perfusor in mg/ml gegeben ist. Diese Probleme gehören mathematisch zum Bereich der Proportionsrechnungen.

Allgemeine Lösungsstrategien

Aus der Didaktik der Mathematik ist bekannt, dass Lernende unterschiedliche Lösungsstrategien anwenden, um Aufgaben mit proportionalen Zusammenhängen zu lösen. Mathematisch leistungsstarke Lernende lösen Aufgaben zu proportionalen Zusammenhängen durch Bestimmung und Auflösung der zugehörigen Funktionsgleichungen. Der überwiegende Teil Lernender verwendet aber Verfahren, die an den zu berechnenden praktischen Inhalten orientiert sind und verzichtet auf die Aufstellung von allgemeinen Gleichungen. Ein weiterer Teil lässt kein strukturierendes Konzept bei der Berechnung erkennen und scheitert häufig an entsprechenden Rechenaufgaben [19]. Allgemeinere Lösungsansätze mit Hilfe von Funktionen

Tabelle 1

Studien zu Rechenfehlern bei der Dosisberechnung durch Ärzte.

Erstautor	Jahr	Land	Zielgruppe	N	% richtig minimal	% richtig maximal
Scrimshire [14]	1989	GB	Ärzte aller Fachrichtungen	100	2	94
Rolfe [15]	1995	GB	Lehrkrankenhaus	150	31	61
Olbridge [16]	2004	Neuseeland	Chirurgen, Assistenzärzte, Apotheker	39	37	100
Simpson [17]	2009	Australien	Ärzte aller Fachrichtungen	141	45	91
Avidan [18]	2014	Israel	Anästhesiologen	41	15	15

Für jede Studie wurde bestimmt, welche Aufgabe von den meisten und welche Aufgabe von den wenigsten Studienteilnehmern gelöst werden konnte. In dieser Tabelle wird für jede Studie in Prozent der Zahl der Studienteilnehmer angegeben, wie viele Studienteilnehmer die jeweils von den wenigsten (% richtig minimal) oder den meisten Studienteilnehmern (% richtig maximal) richtig gelöste Aufgabe berechnen konnten (GB = Großbritannien).

scheinen deshalb eher für mathematisch geübte Ärzte und Ärztinnen geeignet zu sein. Didaktisch erfolgversprechende Lösungsansätze für den größeren Teil der Anfänger sind deshalb überwiegend eng an den zu berechnenden Inhalten orientierte praxisnahe Konzepte.

Prinzipiell scheint es außerdem sinnvoll zu sein, wenn zur Sicherheit bei jeder Dosisberechnung zwei Rechenwege verwendet werden und/oder zwei Personen mit verschiedenen Rechenwegen auf dasselbe Ergebnis kommen.

Lösungsansätze mit Hilfe von Funktionen

Bei der Verwendung von Lösungsansätzen mithilfe von Funktionen wird ausgenutzt, dass Proportionalitäten mithilfe einer Proportionskonstante als funktionale Beziehungen zwischen gegebenen und gesuchten Größen ausgedrückt werden können und die diese Beziehungen beschreibenden Gleichungen nach der gesuchten Größe aufgelöst werden können. Beim einfachen Beispiel der Berechnung einer gewichtsbezogenen Medikamentendosis ist die gewichtsbezogene Dosisangabe die Proportionskonstante. Die gesuchte Medikamentendosis und das Körpergewicht sind proportional:

$$\text{gewichtsbezogene Dosisangabe} = \frac{\text{gesuchte Dosis}}{\text{Körpergewicht}}$$

Auflösen der Gleichung nach der gesuchten Dosis ergibt:

$$\text{gesuchte Dosis} = \text{gewichtsbezogene Dosisangabe} \cdot \text{Körpergewicht}$$

Das konstante Verhältnis zweier Größen, hier die gewichtsbezogene Dosisangabe, bildet eine neue abstrakte Größe und die Berechnung der gesuchten Dosis erfordert das Aufstellen und Umstellen von Gleichungen. Deshalb sind funktionale Lösungsansätze in komplizierteren Fällen schwerer zu verstehen und umzusetzen als praxisnahe Lösungsansätze.

Die einfache Berechnung unbekannter Größen aus einer bekannten Proportion zweier Variablen muss nämlich in komplizierteren Fällen mit mehreren untereinander paarweise proportionalen Va-

riablen wiederholt angewendet werden. Dabei kann es sich beispielsweise um die Berechnung einer Perfusorlaufrate aus der Medikamentenkonzentration in einer Ampulle, der Medikamentendosis pro Körpergewicht und Zeiteinheit und dem Volumen der Perfusorspritze handeln. Die aufzustellenden Formeln werden für Ungeübte dann schnell unübersichtlich. Das funktionale Lösen von Rechenproblemen erfordert deshalb meistens auch die schriftliche Durchführung.

Dabei kann aber auch eine Überprüfung der Einheiten als zusätzliche Kontrolle durchgeführt werden: Wenn sich die Einheiten nicht so kürzen lassen, dass die erwartete Einheit des Rechenergebnisses stehen bleibt, stimmt der Ansatz nicht (sog. „dimensional analysis“).

Praxisnahe Lösungsansätze

Praxisnahe Lösungsansätze sind in der Abfolge der Rechenschritte eng am zu berechnenden Inhalt orientiert und können ohne das Aufstellen von Formeln mit abstrakten Konstanten angewandt werden. Die zur Berechnung verwendeten Größen haben dadurch im Allgemeinen auch immer eine praktische Bedeutung (z.B. Körpergewicht). Dadurch wird der Rechenweg leichter verständlich und die verwendeten Größen lassen sich bei jedem Schritt durch ihre reale Bedeutung veranschaulichen (z.B. Volumen einer Medikamentendosis).

In der Proportionsrechnung werden dafür Proportionalitätsschlüsse angewendet. Dabei wird von den bekannten Verhältnissen zweier konkreter Werte aus zwei verschiedenen Größenbereichen (im o.g. Beispiel zur gewichtsbezogenen Dosierung Medikamentendosis und Körpergewicht) und einem bekannten Wert aus einem der Größenbereiche (Körpergewicht) auf den dazugehörigen Wert aus dem anderen Größenbereich geschlossen. Dabei werden keine Proportionalitätskonstanten und funktionale Zusammenhänge zwischen den Größenbereichen verwendet.

Praxisnahe Rechenwege sind durch die Verwendung besonders einfach zu verstehender Eigenschaften proportionaler Größen, der Vervielfachungseigenschaft

und der Additivität charakterisiert. Als Vervielfachungseigenschaft bezeichnet man die Regel, dass sich bei Vervielfachung oder Multiplikation einer Größe mit einem Faktor x auch die zugeordnete Größe um diesen Faktor vervielfacht. Additivität bedeutet, dass sich bei Addition zweier Ausgangsgrößen auch die zugehörigen proportionalen Größen addieren [19].

Am einfachen Beispiel der auf ein Kilogramm Gewicht bezogenen Dosis für einen Patienten gilt deshalb, dass bei bekannter Dosis für ein Kilogramm Körpergewicht diese Dosis um den Faktor „Körpergewicht des Patienten in kg“ vervielfacht werden muss, um die Gesamtdosis für das bekannte Körpergewicht zu ermitteln.

Das bekannteste schematische Rechenverfahren inhaltlicher Ausrichtung zum Berechnen von Proportionalitäten ist der von Adam Riese beschriebene Dreisatz („Lösung in drei Sätzen“ [20]).

Bei komplexeren Problemen mit mehreren Proportionalitäten wie der Berechnung der Laufrate eines Perfusors (z.B. in ml/h) aus der pro Zeit- und Gewichtseinheit zu applizierenden Dosis (z.B. in µg/kg/min) bietet sich das Beginnen bei einer im klinischen Zusammenhang sinnvollen Größe und schrittweise Berechnen der gesuchten Größe an. Beim Beispiel des Perfusors ist es sinnvoll, zunächst die pro Zeiteinheit (min) zu applizierende Dosis aus der Angabe von Medikamentenmasse pro kg und Körpergewicht zu bestimmen. Dann wird in die am Perfusor eingestellte Zeiteinheit umgerechnet (von Minuten in Stunden). Zuletzt berechnet man das pro eingestellte Zeiteinheit zu applizierende Volumen aus der gegebenen Konzentration des Medikaments im Perfusor (von mg/h in ml/h).

Der Vorteil praxisnaher Rechenverfahren besteht darin, dass die verwendeten Größen eine praktische und vorstellbare Bedeutung haben. Außerdem ist die schrittweise Durchführung für das Rechnen im Kopf besser geeignet als das Aufstellen von Formeln. Die Sicherheit der Rechnung und Applikation wird erhöht, wenn die Berechnung möglichst

von der mentalen Vorstellung der realen Bedeutung der Größen der Rechnung begleitet wird, was dadurch möglich wird, dass jede berechnete Größe vorstellbar ist. Zum Beispiel ist es bei der Vorbereitung einer Kindernarkose sinnvoll, sich gleich klar zu machen, um wieviele und welche Teilstriche der Spritzenkala der Stempel einer vorbereiteten Atropinspritze bewegt werden muss, um im Falle einer Bradykardie die berechnete Dosis zu applizieren.

Funktionale und praxisnahe Beispieldrechnungen für die identifizierten Dosisberechnungsprobleme finden Sie im Online-Anhang zu diesem Artikel (ai-online.info).

Diskussion

Die Untersuchungen zeigen, dass Dosisberechnungsfehler bei Ärzten nicht selten auftreten. Laut einer älteren Übersichtsarbeite wurden Rechenfehler bisher in Beobachtungsstudien zu Medikationsfehlern trotzdem wenig berücksichtigt [21]. In einer neueren Studie wurde aber gezeigt, dass Rechenfehler durchaus verbreitete Ursachen von Medikationsfehlern sind [2]. In einer aktuellen Studie wurde gezeigt, dass auch erfahrenen Fachärzten Dosierungsfehler mit und ohne Verwendung von Dosierungshilfsmitteln wie Notfalllinealen und Tabellen unterlaufen [11]. Eine Online-Umfrage zur Selbsteinschätzung der Fähigkeiten zur Dosisberechnung an 2.975 britischen Ärzten zeigte, dass subjektiv wahrgenommene Schwierigkeiten bei der Dosisberechnung vor allem bei Berufsanfängern und Ärzten in der Primärversorgung bestehen [22].

Dosisberechnungsfehler von Ärzten traten in den zitierten Studien auch in ruhigen Testsituationen außerhalb des klinischen Alltags auf. Dies zeigt, dass Rechenfehler nicht nur situationsbedingt zum Beispiel durch Ablenkung oder Stress im OP passieren, sondern auch auf Mangel an Kenntnis und Übung in den Rechentechniken beruhen.

Dies könnte daran liegen, dass die Schulmathematik am Studienende weit zurückliegt und Dosisberechnung nicht systematisch an medizinischen Fakul-

täten gelehrt wird. Am ehesten werden Proportionsrechnungen noch in der Vorklinik benötigt, aber in den meisten klinischen Lehrveranstaltungen werden sie vermutlich nicht mehr berücksichtigt.

Fachrechnen ist für medizinische Assistentenberufe dagegen häufig Bestandteil der Lehrpläne. So hat Rechnen in der Altenpflegeausbildung einen relevanten Anteil am Lehrplan [23]. Dass die Fähigkeit zur Dosisberechnung ohne spezielle Schulung vermutlich auch Ärzten nicht effektiv vermittelt werden kann, zeigt eine Untersuchung an Medizinstudenten aus Lagos. Den Studenten wurde während ihrer Ausbildung in Pädiatrie von Ärzten auf den Stationen unsystematisch während der Visiten auf Station Dosisberechnung beigebracht. Trotzdem konnten bei einem Test weniger als 50% der Studenten nach der Rotation Dosisberechnungen richtig durchführen [24].

Übereinstimmend mit diesen Beobachtungen geht man in der Didaktik der Berufsbildung nicht davon aus, dass in der Schule gelerntes mathematisches Wissen im Beruf direkt angewendet werden kann. Vielmehr müssen die in Schule oder Studium vermittelten Grundlagen im Beruf durch die Integration in die klinischen Anforderungen praxisbezogen aktualisiert und mit den beruflichen Situationen verknüpft werden [25]. Allgemeine mathematische Prinzipien gelten wegen Problemen bei der praktischen Anwendung dabei als wenig hilfreich. Deswegen ist vermutlich auch in der Medizin die Vermittlung von Rechenstrategien dann am effektivsten, wenn sie sich direkt an den beruflichen Anforderungen orientiert. Eine kleinere Pilotstudie zu den von Pflegekräften angewandten Methoden ergab auch, dass der größte Aufwand für die Mitarbeiter weniger in der eigentlichen Rechnung als im Finden des geeigneten Ansatzes lag [26].

Im Rahmen einer australischen Längsschnittuntersuchung wurde gezeigt, dass es sinnvoll sein kann, Kurse zur Dosisberechnung in das Medizinstudium zu integrieren. Die Autoren untersuchten die Effektivität eines Curriculums zu Dosisberechnung und Medikamenten-

sicherheit und wiesen eine erfolgreiche Wissensvermittlung noch nach vier Jahren nach [27]. Strukturierte Ausbildung, das heißt geplante Ausbildung im Gegensatz zu Weiterbildung im Betrieb, erhöht auch das persönliche Sicherheitsgefühl und kann selbst dadurch die Fehlerrate bei der Dosisberechnung objektiv reduzieren. In einer neueren Studie wurde gezeigt, dass Angst vor mathematischen Aufgaben bei medizinischem Personal unabhängig von der objektiven Fähigkeit zur Dosisberechnung die Sicherheit beim Rechnen beeinträchtigen kann [28].

Limitationen

Wir haben die beiden Methoden der funktionalen und inhaltsnahen Lösungsstrategien zur Lösung von Proportionalitätsaufgaben beispielhaft gewählt, weil es die wichtigsten grundsätzlichen Strategien sind. Aufgrund der interindividuell großen Vielfalt an Herangehensweisen gibt es viele alternative Lösungswege, die für jeweils einen Teil der Lernenden einfacher zu verstehen und anzuwenden sein könnten. Der Vorteil der gewählten Strategien ist, dass sie die beiden wesentlichen Systematiken für Lösungsansätze bei Proportionsrechnungen beschreiben, auch wenn sie zunächst beim Verständnis und der Vermittlung etwas mehr Aufwand verlangen als auswendig zu lernende Formeln. Sie führen aber zu grundlegenderem Verständnis für die Probleme, die beim Lernenden und Lehrenden entstehen, wenn sie sich nicht darüber im Klaren sind, welche Art, die Probleme anzugehen, für den Lernenden geeignet ist und welche prinzipiellen Wege zur Erklärung und Anwendung es überhaupt gibt. Dafür ist es sinnvoll, sich auch dann mit den elementaren Schritten der verschiedenen Ansätze zu beschäftigen, wenn man sie als erfahrener Kliniker schon längst intuitiv richtig anwendet, weil man erst dann das Problem des Lernenden erfasst. Insofern ist ein Ergebnis der Arbeit auch die Vermittlung der fachdidaktischen Erkenntnis, dass es für die bei der Medikamentendosisberechnung und ihrer Lehre auftretenden Probleme keine allgemeingültige einfache Lösung gibt.

Schlussfolgerung

Fehler bei der Medikamentendosisberechnung kommen auch bei Ärzten vor und können zu potenziell gefährlichen Medikationsfehlern führen. Probleme bei der Dosisberechnung von Medikamenten traten in den ausgewerteten Studien bei fünf typischen Aufgaben auf, deren Lösungen auf Proportionsrechnungen beruhen. Orientierend an Erkenntnissen der Didaktik der Mathematik wurden inhaltsnahe Lösungsverfahren und Lösungsverfahren auf Basis von Funktionen angegeben. Die Ergebnisse zeigen, dass es sinnvoll wäre, Rechenkenntnisse auch im Medizinstudium und während der Facharztausbildung auf der Basis fachdidaktischer Grundlagen systematisch und praxisnah an den tatsächlichen Anforderungen orientiert zu lehren.

Literatur

1. Alshehri GH, Keers RN, Ashcroft DM: Frequency and Nature of Medication Errors and Adverse Drug Events in Mental Health Hospitals: a Systematic Review. *Drug Saf* 2017;40:871–886
2. Nanji KC, Patel A, Shaikh S, Seger DL, Bates DW: Evaluation of Perioperative Medication Errors and Adverse Drug Events. *Anesthesiology* 2016;124:25–34
3. Alsaidan J, Portlock J, Aljadhey HS, Shebl NA, Franklin BD: Systematic review of the safety of medication use in inpatient, outpatient and primary care settings in the Gulf Cooperation Council countries. *Saudi Pharm J* 2018;26:977–1011
4. Wahr JA, Abernathy JH, Lazarra EH, Keebler JR, Wall MH, Lynch I, et al: Medication safety in the operating room: literature and expert-based recommendations. *Br J Anaesth* 2017;118:32–43
5. Kaushal R, Bates DW, Landrigan C, McKenna KJ, Clapp MD, Federico F, et al: Medication errors and adverse drug events in pediatric inpatients. *JAMA* 2001;285:2114–2120
6. Kaufmann J, Laschat M, Wappler F: Medication errors in pediatric emergencies: a systematic analysis. *Dtsch Arztebl Int* 2012;109:609–616
7. Kozer E, Scolnik D, Keays T, Shi K, Luk T, Koren G, et al: Large errors in the dosing of medications for children. *The New Engl J Med* 2002;346:1175–1176
8. Kozer E, Seto W, Verjee Z, Parshuram C, Khattak S, Koren G, et al: Prospective observational study on the incidence of medication errors during simulated resuscitation in a paediatric emergency department. *BMJ* 2004;329:1321
9. Kaufmann J, Wolf AR, Becke K, Laschat M, Wappler F, Engelhardt T: Drug safety in paediatric anaesthesia. *Br J Anaesth* 2017;118:670–679
10. Kaufmann J, Engelhardt T, Steinwegs T, Hinkelbein I, Piekarski F, Laschat M, et al: Der Einfluss von Ausbildung und Erfahrung auf Dosierungsfehler bei pädiatrischen Notfallmedikamenten – eine interventionelle Fragebogen-Studie mit tabellarischer Hilfe. *Anästh Intensivmed* 2019;60:164–172
11. Kaufmann J, Roth B, Engelhardt T, Lechleuthner A, Laschat M, Hadamitzky C, et al: Development and Prospective Federal State-Wide Evaluation of a Device for Height-Based Dose Recommendations in Prehospital Pediatric Emergencies: A Simple Tool to Prevent Most Severe Drug Errors. *Prehosp Emerg Care* 2018;22:252–259
12. Bernius M, Thibodeau B, Jones A, Clothier B, Witting M: Prevention of pediatric drug calculation errors by prehospital care providers. *Prehosp Emerg Care* 2008;12:486–494
13. Gierse M: Fachrechnen für Pflegeberufe. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft 2017
14. Scrimshire JA: Safe use of lignocaine. *BMJ* 1989;298:1494
15. Rolfe S, Harper NJ: Ability of hospital doctors to calculate drug doses. *BMJ* 1995;310:1173–1174
16. Oldridge GJ, Gray KM, McDermott LM, Kirkpatrick CM: Pilot study to determine the ability of health-care professionals to undertake drug dose calculations. *Int Med J* 2004;34:316–319
17. Simpson CM, Keijzers GB, Lind JF: A survey of drug-dose calculation skills of Australian tertiary hospital doctors. *Med J Aus* 2009;190:117–120
18. Avidan A, Levin PD, Weissman C, Gozal Y: Anesthesiologists' ability in calculating weight-based concentrations for pediatric drug infusions: an observational study. *J Clin Anesth* 2014;26:276–280
19. Kleine M, Jordan K: Lösungsstrategien von Schülerinnen und Schülern in Proportionalität und Prozentrechnung – eine korrespondenzanalytische Betrachtung. *JMD* 2007;28:209–223
20. Wußing H: Adam Riese. Leipzig: Ed. am Gutenbergplatz 2009
21. Wright K: Do calculation errors by nurses cause medication errors in clinical practice? A literature review. *Nurse Educ Today* 2010;30:85–97
22. Wheeler DW, Wheeler SJ, Ringrose TR: Factors influencing doctors' ability to calculate drug doses correctly. *Int J Clin Pract* 2007;61:189–194
23. Knappich T: Wieviel Mathematik braucht die Altenpflege? *Pflegezeitschrift* 2018;71(5):44–46
24. Oshikoya KA, Senbanjo IO, Soipe A: Ability of medical students to calculate drug doses in children after their paediatric attachment. *Pharm Pract* 2008;6:191–196
25. Musch M, Rach, S, Heinze A: Zum Spannungsverhältnis zwischen mathematischen Anforderungen im Schulunterricht und im Berufsleben. In: Heinze A, Grüssing M (Hrsg.): Mathematiklernen vom Kindergarten bis zum Studium. Kontinuität und Kohärenz als Herausforderung beim Mathematiklernen. Münster: Waxmann Verlag 2009:217–227
26. Wright K: How do nurses solve drug calculation problems? *Nurse Educ Today* 2013;33:450–457
27. Wallace D, Woolley T, Martin D, Rasalam R, Bellei M: Medication calculation and administration workshop and hurdle assessment increases student awareness towards the importance of safe practices to decrease medication errors in the future. *Educ Health* 2016;29:171–178
28. Williams B, Davis S: Maths anxiety and medication dosage calculation errors: A scoping review. *Nurse Educ Pract* 2016;20:139–146.

Korrespondenzadresse



**Priv.-Doz. Dr. med.
Axel Fudickar**

Klinik für Anästhesiologie und

Operative Intensivmedizin

Arnold-Heller-Straße 3/R3

24105 Kiel, Deutschland

Tel.: 0431 59720801

Fax: 0431 59720804

E-Mail: axel.fudickar@uksh.de

ORCID-ID: 0000-0001-7102-8164

Anhang: Beispielrechnungen

In diesem Anhang wurden Lösungswege für die im Hauptartikel identifizierten Rechenprobleme bei der Dosisberechnung anhand klinisch relevanter Beispielrechnungen angegeben:

1. Berechnung der richtigen Dosis bezogen auf Körpergewicht oder -oberfläche
2. Berechnung der Medikamentenmasse pro Volumeneinheit aus der Prozentangabe
3. Berechnung der Medikamentenmasse pro Volumeneinheit aus der Stoffmengenangabe pro Volumeneinheit
4. Berechnung der Konzentration von Verdünnungen
5. Umrechnung der Laufrate von Infusionen oder Perfusoren von Volumeneinheit pro Zeiteinheit in Medikamentenmenge oder -masse pro Zeiteinheit und Körpergewicht und umgekehrt

Die Lösungswege wurden zunächst für am allgemeinen Lösungsweg interessierte Leser in die zugehörigen Funktionen gefasst und in mathematischen Formeln dargestellt. Für das praktische Vorgehen in klinischer Anwendung und für die Vermittlung in der Lehre wurden jeweils im Anschluss zusätzlich praxisnah am benötigten Inhalt orientierte Rechenwege formuliert.

1. Berechnung der richtigen Dosis bezogen auf Körpergewicht oder -oberfläche

Meistens wird eine auf das Körpergewicht oder die Körperoberfläche bezogene Dosierung in Medikamentendosis pro Kilogramm des Körpergewichts oder Quadratmeter der Körperoberfläche als konstantes proportionales Verhältnis angegeben. Daraus muss die für einen Patienten mit gegebenem Körpergewicht geeignete Dosis berechnet werden. Als einfaches Beispiel wurde die Berechnung der Dosis von intravenösem Adrenalin zur Säuglingsreanimation für einen Säugling mit einem Gewicht von 3,5 kg aus der gewichtsbezogenen Dosisangabe (10 µg/kg) gewählt.

Funktionaler Lösungsweg

Die funktionale Lösung erhält man durch Aufstellen und Auflösung der folgenden Gleichung auf Basis des konstanten proportionalen Verhältnisses zwischen Medikamentendosis und Körpergewicht, angegeben als Medikamentendosis pro Gewichtseinheit (gewichtsbezogene Dosisangabe):

$$\frac{\text{gesuchte Dosis}}{\text{Körpergewicht}} = \frac{\text{Medikamentendosis}}{\text{Gewichtseinheit}} \quad (= \text{gewichtsbezogene Dosisangabe})$$

Multiplikation der Gleichung mit dem Körpergewicht auf beiden Seiten:

$$\frac{\text{gesuchte Dosis}}{\text{Körpergewicht}} = \frac{\text{Medikamentendosis}}{\text{Gewichtseinheit}} \cdot \text{Körpergewicht}$$

ergibt:

$$\text{gesuchte Dosis} = \text{Körpergewicht} \cdot \frac{\text{Medikamentendosis}}{\text{Gewichtseinheit}}$$

Einsetzen der Werte unseres Beispiels „Adrenalindosis bei der Säuglingsreanimation“ ergibt:

$$\text{gesuchte Dosis} = 3,5 \text{ kg} \cdot \frac{10 \mu\text{g}}{\text{kg}} = 35 \mu\text{g}$$

Dasselbe gilt analog für Stoffmengeneinheiten anstelle von Masseneinheiten und für die Körperoberfläche anstelle des Körpergewichts.

Praxisnaher Lösungsweg

Wenn die Dosierung für Adrenalin bei der Säuglingsreanimation so vorgegeben ist, dass die angegebene Medikamentendosis von 10 µg jeweils 1 kg Körpergewicht entspricht, gilt: Wenn ein 1 kg schwerer Säugling 10 µg Medikament benötigt, dann benötigt ein 3,5 kg schwerer Säugling 3,5 mal so viel, also 35 µg.

Die als 10 µg pro kg angegebene Medikamentendosis wird also mit dem Körpergewicht des Patienten in kg multipliziert, um die für den Patienten geeignete Dosis in µg zu ermitteln: 10 µg/kg mal 3,5 kg ergibt 35 µg.

2. Berechnung der Medikamentenmasse pro Volumeneinheit (z.B. in mg/ml) aus der Prozentangabe

Diese Berechnungen werden vor allem bei der Bestimmung von Lokalanästhetikadosen in mg aus Lokalanästhetikavolumina zur Einhaltung des Sicherheitsabstands zur Höchstdosis benötigt, wenn die Konzentrationen auf den Lokalanästhetikaampullen nur in Prozent angegeben werden (z.B. 20 ml Ropivacain 0,2%).

Prozentangaben sind prinzipiell nur eine andere Schreibweise für Hundertstel. 20% von z.B. 100 mg sind damit $20 \cdot 1/100 \cdot 100 \text{ mg} = 20 \text{ mg}$. Um nun die Umrechnung von Prozentangaben in Massenangaben pro Volumeneinheit und umgekehrt zu verstehen, muss man zusätzlich die Definition von Prozentangaben für gelöste Substanzen in Lösungen kennen: Die Prozentangabe ist bei Lösungen gewichtsbezogen, also der prozentuale Anteil der Masse des gelösten Stoffes bezogen auf das Gewicht der gesamten Lösung.

Funktionaler Lösungsweg

Die Prozentangabe für Lösungen erhält man daher bei bekannter Masse des gelösten Medikaments, indem man das Gewicht des gelösten Medikaments durch das Gewicht der Lösung teilt und damit den Bruchteil des Gewichtsanteils des gelösten Medikaments ermittelt. Multiplikation dieses Bruchteils mit 100 und Umwandlung des Bruchs in Dezimalschreibweise ergibt den Bruchteil in Prozent.

$$\text{Gewichtsprozent des gelösten Medikaments \%} = \frac{\text{Masse(gelöstes Medikament) g}}{\text{Masse(Lösung) g}} \cdot 100\%$$

Die Masse des gelösten Medikaments erhält man umgekehrt bei gegebener Prozentangabe und gegebener Masse der Lösung aus:

$$\text{Masse(gelöstes Medikament) g} = \frac{\text{Masse (Lösung) g}}{100\%} \cdot \text{Gewichtsprozent des gelösten Medikaments \%}$$

Die Ropivacainlösung hat wie die meisten Medikamentenlösungen ungefähr die Dichte von Wasser, nämlich etwa 1 g/ml. Das Gewicht der Gesamtlösung von 20 ml Ropivacain 0,2% ist also 20 g oder 20.000 mg. Für das oben angegebene Beispiel ergibt sich also:

$$\text{Ropivacainmasse in mg} = 0,2\% \cdot \frac{20 \text{ g}}{100\%} = 0,04 \text{ g} = 40 \text{ mg}$$

Praxisnaher Lösungsweg

Wenn der prozentuale Anteil 0,2% von Ropivacain in einer Ampulle mit 20 ml gegeben ist, entspricht er dem Gewicht von 0,2 Hundertstel des Gesamtgewichts der Lösung. Also muss das Gewicht von einem Hundertstel der Gesamtlösung in mg mit der angegebenen Prozentzahl 0,2 multipliziert werden, um die Masse des gelösten Medikaments in mg zu erhalten. Die Lösung hat ungefähr die Dichte von Wasser, nämlich etwa 1 g/ml. Das Gewicht der Gesamtlösung ist also 20 g oder 20.000 mg. Ein Hundertstel der Gesamtlösung wiegt daher 200 mg. Dieses multipliziert mit 0,2 ergibt 40 mg.

Wenn umgekehrt die Masse eines Medikaments in einer Lösung gegeben ist, erfolgt die Umrechnung andersherum:

3. Berechnung der Medikamentenmasse pro Volumeneinheit (z.B. in mg/ml) aus der Stoffmengenangabe

Zur Umrechnung einer Konzentrationsangabe von Stoffmenge in mol pro Volumeneinheit, zum Beispiel einer 1-molaren Kaliumchlorid-Lösung, in Masse in g pro Volumeneinheit muss als konstantes Verhältnis die Masse g pro Stoffmenge mol, die molare Masse M bekannt sein (für Kaliumchlorid: 74,56 g/mol, Fachinformation 1 M-Kaliumchlorid-Lösung Fresenius).

Funktionaler Lösungsweg

Die molare Masse M definiert eine Proportionalität zwischen der Angabe einer Medikamentenmasse in g und Angabe einer Medikamentenmenge in mol. Die Konzentration als Masse pro Volumeneinheit ergibt sich damit durch Umstellung der folgenden Gleichung aus der Angabe in Stoffmenge pro Volumeneinheit:

$$\text{molare Masse g/mol} = \frac{\text{Masse}}{\text{Stoffmenge}} \text{ g/mol} = \frac{\text{Masse des gelösten Medikaments}}{\text{Stoffmenge des gelösten Medikaments}} \text{ g/mol} =$$

$$\frac{\text{Masse des gelösten Medikaments}}{\text{Stoffmenge des gelösten Medikaments}} \text{ g/mol} \cdot 1 = \frac{\text{Masse}}{\text{Stoffmenge}} \cdot \frac{\text{Volumen der Lösung}}{\text{Volumen der Lösung}} \text{ (g/l)/(mol l)} = \frac{\text{Konzentration g/l}}{\text{Konzentration mol/l}}$$

Daraus folgt durch Multiplikation mit der Konzentration mol/l:

$$\text{Konzentration mol/l} \cdot \frac{\text{Masse}}{\text{Stoffmenge}} \text{ g/mol} = \text{Konzentration g/l}$$

$$\text{Konzentration mol/l} \cdot \text{Molare Masse M g/mol} = \text{Konzentration g/l}$$

Für das Beispiel der Kaliumchloridlösung gilt also:

$$1 \text{ mol/l} \cdot 74,56 \text{ g/mol} = 74,56 \text{ g/l} = 74,56 \text{ mg/ml}$$

Praxisnaher Lösungsweg

Die molare Masse von Kaliumchlorid ist die Masse einer Stoffmenge von einem Mol Kaliumchlorid. Eine 1-molare Lösung enthält in einem Liter 1 mol Kaliumchlorid. Da die molare Masse von Kaliumchlorid 74,56 g/mol ist, wiegt ein mol Kaliumchlorid 74,56 g. Also enthält die Lösung 74,56 g/l oder 74,56 mg/ml:

$$74,56 \text{ g/l} = 74,56 \text{ mg/l} = 74,56 \text{ mg/ml}$$

4. Berechnung der Konzentration von Verdünnungen

Ein typisches Beispiel aus der Praxis ist die Verdünnung von Noradrenalin zur Applikation bei akuter Hypotonie durch Verdünnung einer handelsüblichen Ampulle Noradrenalin (1 mg/ml) in 99 ml NaCl 0,9%. Proportionalitätskonstante ist hier das Verhältnis zwischen dem Volumen der Originallösung zum Volumen der Verdünnung (im Beispiel 1:100).

Funktionaler Lösungsweg

Ausgangswert ist hier die Konzentration vor der Verdünnung ($\frac{\text{Medikamentenmenge}}{\text{Volumen (vor Verdünnung)}}$).

Das proportionale Verhältnis ist durch den Verdünnungsfaktor ($\frac{\text{Volumen (vor Verdünnung)}}{\text{Volumen (nach Verdünnung)}}$) gegeben.

Daraus ergibt sich der funktionale Ansatz:

$$\frac{\text{Medikamentenmenge}}{\text{Volumen (vor Verdünnung)}} \cdot \frac{\text{Volumen (vor Verdünnung)}}{\text{Volumen (nach Verdünnung)}} = \frac{\text{Medikamentenmenge}}{\text{Volumen (nach Verdünnung)}} = \text{Konzentration (nach Verdünnung)}$$

Im oben genannten Beispiel für die Verdünnung von Noradrenalin auf 10 µg/ml:

$$\frac{1 \text{ mg}}{1 \text{ ml}} \cdot \frac{1 \text{ ml}}{100 \text{ ml}} = \frac{1 \text{ mg}}{100 \text{ ml}} = \frac{1.000 \mu\text{g}}{100 \text{ ml}} = \frac{10 \mu\text{g}}{\text{ml}} = \text{Konzentration (nach Verdünnung)}$$

Praxisnaher Lösungsweg

Inhaltlich orientiert man sich an der Medikamentenmenge in der jeweiligen Lösung:

Wenn die Noradrenalinlösung vom Volumen (vor Verdünnung) 1 ml auf ein Volumen (nach Verdünnung) von 100 ml durch Zusatz zu 99 ml NaCl 0,9% auf ein 100-faches des Volumen dieser Lösung verdünnt wird, verteilt sich die Medikamentenmenge gleichmäßig auf dieses Volumen. Die Medikamentenmenge pro Volumen (vor Verdünnung: 1 mg pro ml) muss also durch die ganze Zahl geteilt werden, um die das Volumen vervielfacht wurde (in diesem Fall 100), um die Medikamentenmenge in demselben 1 ml nach Verdünnung auf 100 ml zu erhalten:

$$1 \text{ mg} (1.000 \mu\text{g}) \text{ geteilt durch } 100 \text{ ergibt } 10 \mu\text{g}$$

5. Umrechnung der Laufrate von Infusionen oder Perfusoren von Volumeneinheit pro Zeiteinheit (z.B. ml/h) in Medikamentenmenge oder -masse pro Zeiteinheit und Körpergewicht (z.B. µg/kg/min) und umgekehrt

Auch hier wird das Vorgehen an einem typischen praktischen Beispiel erläutert: Umrechnung der Laufrate einer Noradrenalin-infusion von 4 ml/h in µg/kg/min bei einer Konzentration 0,06 mg/ml und einem Körpergewicht von 70 kg.

Funktionaler Lösungsweg

Hier wird nach dem im Hauptartikel unter „Lösungsansätze mit Hilfe von Funktionen“ beschriebenen Prinzip für mehrere unteinerander paarweise proportionale Variablen vorgegangen. Zunächst werden die bekannten Proportionen identifiziert. Hierbei kann es sich um gegebene reale Proportionen wie die Medikamentenkonzentration (z.B. mg/ml) in der Infusion oder im Perfusor oder um die Proportionen von Einheiten zueinander handeln (z.B. eine Stunde entspricht 60 Minuten: h/min = 60). Damit lässt sich dann sukzessive in die gewünschte Einheit umrechnen. Für diese Rechnungen lässt sich keine einfache allgemeine Lösung angeben.

Die sukzessive Umrechnung unter Ausnutzung der bekannten Proportionen erfolgt im o.a. Beispiel für den Noradrenalinperfusor zunächst von Stunden in Minuten, dann von Milliliter in mg, dann von Milligramm in Mikrogramm. Zuletzt wird die damit erhaltene Laufrate in µg/min durch Division mit dem Körpergewicht in µg/kg/min umgerechnet. Dabei wird im zweiten Schritt die spezielle Konzentration des Noradrenalins im Perfusor als konstante Proportion verwendet, in den anderen Schritten die allgemein bekannten Proportionen zwischen den für die jeweils selbe Größe verwendeten Einheiten:

$$\frac{4 \cdot \text{ml}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \frac{0,06 \text{ mg}}{\text{ml}} \cdot \frac{1.000 \mu\text{g}}{\text{mg}} \cdot \frac{1}{70 \text{ kg}} = \frac{4 \cdot 0,06 \cdot 1.000 \mu\text{g}}{60 \cdot 70 \text{ kg} \cdot \text{min}} = 0,057 \frac{\mu\text{g}}{\text{kg} \cdot \text{min}}$$

Diese Rechnung beinhaltet zugleich eine Überprüfung der Einheiten, weil sichergestellt wird, dass die richtige Einheit $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ am Ende herauskommt („dimensional analysis“).

Praxisnaher Lösungsweg

Inhaltlich kann man sich am besten an der Stoffmenge Noradrenalin im Perfusor orientieren. Diese ist mit 0,06 mg/ml bekannt. Wenn die Infusion also mit 4 ml/h läuft, werden pro Stunde 0,24 mg Noradrenalin verabreicht.

Da 1 h gleich 60 min ist, werden pro Minute 0,24 mg/60, also 0,004 mg verabreicht.

Um die auf das Körpergewicht bezogene Laufrate in $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ zu erhalten, muss das Ergebnis zunächst noch durch das Körpergewicht (70 kg) geteilt werden. Damit ergibt sich eine Laufrate von 0,000057 mg/min/kg.

Da 1 mg gleich 1.000 μg ist, ergibt sich daraus eine Laufrate von $0,000057 \cdot 1000 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min} = 0,057 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$:

$$\frac{4 \cdot \text{ml}}{\text{h}} \text{ entsprechen } \frac{0,24 \text{ mg}}{\text{h}}$$

$$\frac{0,24 \text{ mg}}{\text{h}} = \frac{0,24 \text{ mg}}{60 \text{ min}} = \frac{0,004 \text{ mg}}{\text{min}}$$

$$\frac{0,004 \text{ mg}}{\text{min}} \text{ entsprechen } \frac{0,004 \text{ mg}}{\text{min} \cdot 70 \text{ kg}} = \frac{0,000057 \text{ mg}}{\text{min} \cdot \text{kg}} = \frac{0,057 \mu\text{g}}{\text{min} \cdot \text{kg}} = 0,057 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$$