

Perioperative Flüssigkeits- und Volumentherapie bei Kindern*

Perioperative fluid and volume therapy in children

R. Sumpelmann¹, J.M. Strauß² und A. Osthaus¹

¹ Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Medizinische Hochschule Hannover (Direktor: Prof. Dr. W. Koppert)

² Klinik für Anästhesie, perioperative Medizin und Schmerztherapie, HELIOS Klinikum Berlin-Buch (Chefarzt: Prof. Dr. J.M. Strauß)



PIN-Nr.:
090510

Einsendeschluss
auf 12 Monate verlängert!

► **Zusammenfassung:** Die Vorstellungen von einer kindgerechten perioperativen Flüssigkeitstherapie haben sich in den vergangenen Jahren stark gewandelt. Lange Zeit wurden hypotone Infusionslösungen mit 5 %-Glukosezusatz eingesetzt, die jedoch nicht selten zu unerwünschten Hyperglykämien und Hyponatriämien geführt haben. Nach neueren Empfehlungen sollen deshalb auch bei Kindern plasmatisotone Vollelektrolytlösungen verwendet werden, um das Risiko einer Hyponatriämie zu vermindern. Durch Zusatz von 1-2 % Glukose können besonders im Neugeborenen- und Säuglingsalter Hypo- oder Hyperglykämien sowie katabole Stoffwechsellaagen vermieden werden. Bei großen Volumenumsätzen kann durch zusätzliche Infusion von Kolloiden das kolloidosmotische System und damit auch das Plasmavolumen stabilisiert werden. Die früher häufig verwendeten Albumin- oder Plasmaproteinlösungen sind inzwischen auch bei Kindern durch künstliche Kolloide, z.B. Hydroxyethylstärkepräparate der zweiten und dritten Generation oder Gelatine ersetzt worden. Postoperativ ist eine enterale Flüssigkeits- und Substratzufuhr für Kinder physiologischer und sicherer als eine Infusionstherapie und sollte, wenn immer möglich, bevorzugt werden.

► **Schlüsselwörter:** Flüssigkeitstherapie – Volumentherapie – Kinder – Glukose – Infusionslösungen.

► **Summary:** In recent years our approach to perioperative fluid management in children has undergone a change. For many years hypotonic electrolyte solutions with 5 % glucose added were used for perioperative paediatric fluid therapy but were not infrequently associated with severe hyponatraemia and hyperglycaemia. Currently, isotonic electrolyte solutions are now recommended for both children and adults to avoid the risk of hyponatraemia. In particular in neonates and infants hypoglycaemia and catabolic states can be avoided through the use of fluids with lower glucose concentrations (1 - 2 %), which are now available on the German market. During major surgical procedures with significant blood loss, colloids are more effective for the stabilisation of colloid osmotic pressure and plasma volume.

In children too, the traditional natural colloids i.e. albumin or plasma protein solutions can now be replaced by the less expensive and equally as effective second and third generation synthetic colloids i.e. hydroxyethyl starch (MG 130.000 or 200.000) or gelatine. Postoperatively early enteral feeding is more physiological and safer than parenteral fluid therapy, and should be given preference whenever possible.

► **Keywords:** Perioperative Fluids – Paediatric Patients – Glucose – Crystalloids – Colloids.

Vorstellungen im Wandel

Lange Zeit wurden die Vorstellungen von einer kindgerechten Infusionstherapie in der Pädiatrie und Kinderanästhesie maßgeblich von einer Arbeit beeinflusst, die Holliday und Segar 1957 mit dem Titel „The maintenance need for water in parenteral fluid therapy“ veröffentlicht hatten [1]. Die beiden Autoren stellten die Stoffwechselraten von gesunden Kindern (Altersgruppen in Tab. 1) in Abhängigkeit vom Körpergewicht (KG) dar und verdeutlichten, dass kleine Kinder im Verhältnis mehr Energie als größere verbrauchen. Sie setzten dann voraus, dass Stoffwechselrate und Flüssigkeitsbedarf eng zusammenhängen (1 ml Wasser wird für die Verstoffwechselung von 1 kcal benötigt) und leiteten aus der Stoffwechselrate den theoretischen Flüssigkeitsbedarf von Kindern ab. So entstand die inzwischen weit verbreitete 4-2-1-Regel, mit der der Flüssigkeitsbedarf von Kindern aus dem Körpergewicht errechnet werden kann (Abb. 1 und Tab. 2). In einem weiteren Schritt schätzten sie dann den Elektrolytbedarf von Kindern aus der Zu-

Tab. 1: Altersgruppen.

Neugeborene	1.-28. Lebenstag
Säuglinge	bis 1. Lebensjahr
Kleinkinder	2.-5. Lebensjahr
Schulkinder	ab 6. Lebensjahr

* Rechte vorbehalten

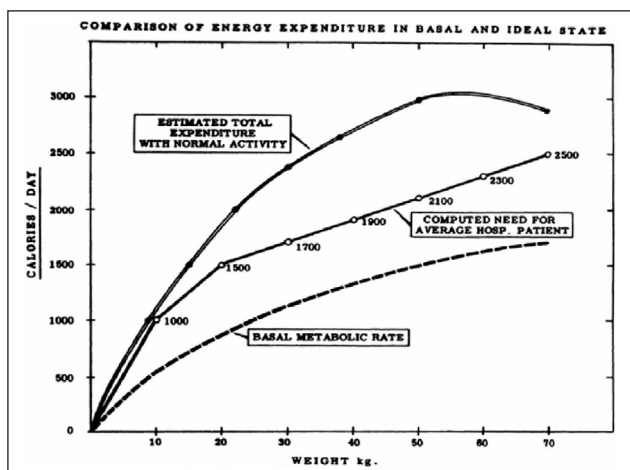


Abb. 1: Ableitung der 4-2-1-Regel: Die mittlere Kurve beschreibt die Abhängigkeit zwischen dem Energiebedarf und dem Körpergewicht von Kindern. Die Steigung ändert sich bei 10 und 20 kg. Normalerweise wird für die Metabolisierung von einer kcal 1 ml Wasser gebraucht, so dass aus dem Energiebedarf auf den Flüssigkeitsbedarf geschlossen werden kann (Originalabbildung aus einer Arbeit von Holliday and Segar [1]).

► sammensetzung von Muttermilch und Kuhmilch ab, was zu der Empfehlung führte, für die Infusionstherapie bei Kindern hypotone Elektrolytlösungen mit Glukosezusatz zu verwenden. Diese leicht nachvollziehbaren Überlegungen verbreiteten sich rasch in der Pädiatrie und Kinderanästhesie und wurden in der Folgezeit durch die verschiedenen natriumarmen pädiatrischen Infusionslösungen (z.B. Eindrittel-, Halb-, Zweidrittel-Elektrolytlösungen, jeweils mit 5 % Glukosezusatz) abgebildet. In den vergangenen zwei Jahrzehnten gerieten diese inzwischen etablierten Vorgehensweisen unter zunehmende Kritik. In zahlreichen Studien und Fallberichten wurden Hyponatriämien und Hyperglykämien beschrieben, die in Zusammenhang mit hypotonen glukosehaltigen Infusionslösungen aufgetreten waren [2-8]. Obwohl in einigen strittigen Punkten noch kein vollständiger Konsens erzielt worden ist, hat der Wissenschaftliche Arbeitskreis Kinderanästhesie der DGAI deshalb bereits 2006 die perioperative Verwendung von isotonen Infusionslösungen bei Kindern empfohlen [9], und viele Kinderkliniken haben ihre Praxis der perioperativen Infusionstherapie inzwischen aufgrund der neueren Studien und Sichtweisen geändert. Im Folgenden sollen nun die rationalen Hintergründe der aktuellen Empfehlungen dargestellt und mögliche Konzepte für eine zeitgemäße Flüssigkeits- und Volumentherapie bei Kindern abgeleitet werden.

Für die perioperative Flüssigkeitstherapie werden auch für Kinder isotope statt hypotone Infusionslösungen empfohlen!

Tab. 2: Berechnung des Erhaltungsbedarfs nach Körpergewicht (KG) mit der 4-2-1-Regel [13].

3-10 kg:	4 ml/kg/h
10-20 kg:	40 ml/h + 2 ml/kg/h für jedes kg von 11-20 kg
>20 kg:	60 ml/h + 1 ml/kg/h für jedes kg >20 kg

Rechenbeispiele:

5 kg KG:	$5 \text{ kg} \cdot 4 \text{ ml/kg/h} = 20 \text{ ml/h}$
15 kg KG:	$10 \text{ kg} \cdot 4 \text{ ml/kg/h} + 5 \text{ kg} \cdot 2 \text{ ml/kg/h} = 50 \text{ ml/h}$
25 kg KG:	$10 \text{ kg} \cdot 4 \text{ ml/kg/h} + 10 \text{ kg} \cdot 2 \text{ ml/kg/h} + 5 \cdot 1 \text{ ml/kg/h} = 65 \text{ ml/h}$

Tab. 3: Größe der Flüssigkeitsräume.

Alter	Gesamtkörperwasser (% KG)	Extrazellulär-Flüssigkeit (% KG)	Blutvolumen (ml/kg)
Frühgeborene	bis 90	bis 60	95
Neugeborene	80	45	85
Säuglinge	65	35	80
Kleinkinder	60	25	75
Erwachsene	55-60	20	70

Was ist bei Kindern anders?

Die grundsätzlichen biochemischen und physiologischen Funktionsweisen sind bei Kindern und Erwachsenen zunächst einmal vergleichbar. Wichtige Unterschiede gibt es z.B. in der Stoffwechselaktivität, dem Herzzeitvolumen und den Flüssigkeitsräumen. Kinder haben im Verhältnis zum Körpergewicht einen höheren Grundumsatz und Sauerstoffverbrauch und brauchen deshalb ein entsprechend höheres Atemminuten- und Herzzeitvolumen, um die größere Sauerstoffmenge aufzunehmen und zu den peripheren Organen und Geweben zu transportieren. Nach der Einnistung der befruchteten Eizelle in der Gebärmutter entwickelt sich der Foetus zunächst im Extrazellulärraum der Mutter. Die Zusammensetzung und die Osmolarität der Extrazellulärflüssigkeit sind deshalb bei Kindern und Erwachsenen vergleichbar. Der Gesamtwasseranteil am Körpergewicht ist bei Früh- und Neugeborenen dagegen deutlich höher als bei Erwachsenen. Mit zunehmendem Alter werden die Menschen dann immer trockener. Der wichtigste Unterschied bei den Flüssigkeitsräumen ist der im Vergleich viel größere Extrazellulärraum, der bei Frühgeborenen 60 %, bei Säuglingen 40 % und bei Erwachsenen 20 % des Körpergewichts betragen kann. Das Blutvolumen ist bei Kindern im Verhältnis ebenfalls größer als bei Erwachsenen (Tab. 3). Neugeborene haben außerdem höhere Hämoglobin-Konzentrationen, niedrigere Plasmaprotein-Konzentrationen und einen niedrigeren kolloidosmotischen Druck (KOD) als ältere Kinder. Die relativen Flüssigkeits- ►

► verluste sind größer als bei Erwachsenen, weil Kinder eine höhere Ventilationsrate, eine im Verhältnis größere Körperoberfläche, eine höhere Stoffwechselrate und eine niedrigere renale Konzentrationsfähigkeit haben. Dehydratationen können deshalb bei kleinen Kindern viel schneller als bei Erwachsenen auftreten. Die größten Unterschiede betreffen das erste Lebensjahr, bei älteren Kindern werden die Unterschiede zum Erwachsenenalter dann kleiner.

Kinder unter einem Lebensjahr haben im Verhältnis größere Flüssigkeitsumsätze, einen größeren Extrazellulärraum und ein größeres Blutvolumen als Erwachsene. Die Osmolarität und Zusammensetzung der Extrazellulärflüssigkeit ist in allen Altersgruppen vergleichbar.

Nüchternzeiten knapp halten

Kinder, die hungrig und durstig sind, werden unzufrieden und lassen sich kaum trösten. Ein OP-Programm mit kleinen Kindern kann wesentlich entspannter ablaufen, wenn die tatsächlichen Nüchternzeiten knapp gehalten und die kleinen und ambulanten Patienten an den Anfang gestellt werden. Prolongierte Nüchternzeiten werden von Kindern mit eingeschränkten Energiereserven besonders schlecht toleriert [10]. Insbesondere Früh- und Neugeborene sowie junge Säuglinge können bereits nach wenigen Stunden Hungern in eine katabole Stoffwechsellage oder bei fehlender Flüssigkeitszufuhr in ein bedrohliches Flüssigkeitsdefizit geraten. Die zurzeit empfohlenen Nüchternzeiten vor und nach einem Eingriff orientieren sich am Alter der Kinder (Tab. 4). Dabei wird zwischen fester Nahrung (dazu zählt auch Milchnahrung und Brei) und klarer Flüssigkeit (z.B. Tee, Apfelsaft, Wasser) unterschieden. Wenn längere Wartezeiten nicht zu vermeiden sind, sollte den Kindern das Trinken bis zwei Stunden vor Narkose-

Tab. 4: Präoperative Nüchternzeiten bei elektiven Eingriffen.

Alter	Feste Nahrung, Muttermilch	Milchnahrung	Klare Flüssigkeit
< 1 Jahr	-	4 Stunden	2 Stunden
> 1 Jahr	6 Stunden	-	2 Stunden

beginn erlaubt werden. Nur wenn das Trinken nicht möglich ist, sollen die Kinder eine Infusion erhalten. Postoperativ dürfen Kinder wieder trinken, sobald sie richtig wach sind, wenn nicht andere (z.B. chirurgische) Gründe dagegen sprechen.

Kinder dürfen bis zwei Stunden vor Narkosebeginn noch klare Flüssigkeit trinken!

Postoperativ ist eine enterale Flüssigkeits- und Substratzufuhr für Kinder physiologischer und sicherer als eine Infusionstherapie und sollte, wenn immer möglich, bevorzugt werden.

Gefährliche Elektrolyt- und Wasserverschiebungen vermeiden

Natrium ist das Kation, das die Osmolarität der Extrazellulärflüssigkeit am stärksten beeinflusst. Pädiatrische Infusionslösungen, z.B. Eindrittel-, Halb- oder Zweidrittelelektrolytlösungen haben einen im Vergleich zur Extrazellulärflüssigkeit reduzierten Natriumgehalt und dementsprechend einen Überschuss an freiem Wasser (Tab. 5). Perioperativ sind stressbedingt die Konzentrationen von antidiuretischem Hormon (ADH) auch bei Kindern in der Regel erhöht. Die renale Ausscheidung von Natrium und Wasser wird durch ADH gehemmt, und die Diurese vermindert sich. In dieser Situation kann die Infusion von natriumarmen Lösungen zu einer Hyponatriämie führen [2,3], weil das vorhandene Natrium im Extrazellulärraum verdünnt wird und die Kompensationsmöglichkeiten der kleinen Kinder begrenzt sind. Wenn die Osmolarität im Extra- ►

Tab. 5: Zusammensetzung von Extrazellulärflüssigkeit (EZF) und verschiedenen hypotonen und isotonen Infusionslösungen (in mmol/l).

	Kationen				Anionen					Theor. Osmolarität ⁵
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Azetat	Laktat	Glukose	
EZF	142	4,5	2,5	1,25	103	24	-	1,5	2,78-5	291
NaCl 0,9%	154	-	-	-	154	-	-	-	-	308
Ringer	147	4	2,2	-	156	-	-	-	-	309
RL ¹	130	5	1	1	112	-	-	27	-	276
BEL ²	140	5	-	1,5	98	-	27	-	-	295
VELG1 ³	140	4	2	2	118	-	30	-	55,5	296
² / ₃ -ELG5 ⁴	100	18	2	3	90	-	38	-	277,5	251
¹ / ₂ -ELG5 ⁴	70	2	1,25	0,5	55	-	22,5	-	277,5	151
¹ / ₃ -ELG5 ⁴	45	25	-	2,5	45	-	20	-	277,5	148

¹Ringerlaktat, ²balancierte Elektrolytlösung, ³Vollelektrolytlösung mit 1 %-Glukosezusatz, ⁴hypotone Elektrolytlösungen mit 5 %-Glukosezusatz, ⁵Σ (Kationen+Anionen).

► zellulärraum akut absinkt, verschiebt sich freies Wasser entsprechend den geänderten Konzentrationsgradienten nach intrazellulär, und das Zellvolumen nimmt zu. Im zentralen Nervensystem kann eine 5-7 %ige Volumenzunahme zu einer Hirndruckerhöhung mit Herniation und möglichen deletären Folgen (hyponatriämische Enzephalopathie, respiratorische Insuffizienz, neurologische Schäden) führen [11-14]. Von dieser Komplikationsmöglichkeit sind Kinder vor der Pubertät häufiger betroffen, weil sie ein ungünstigeres Verhältnis zwischen Schädel- und Gehirngröße und deshalb geringere intrakranielle Raumreserven als Erwachsene haben. Die membranständigen Natrium-Kalium-ATPasen im Gehirn von Kindern haben außerdem eine deutlich niedrigere Aktivität als bei Erwachsenen, so dass der intrazelluläre Natrium- (und Wasser-)Gehalt etwas höher ist [2]. Das Risiko einer infusionsbedingten Hyponatriämie nimmt mit abnehmender Natrium-Konzentration in der Infusionslösung und zunehmendem Infusionsvolumen bzw. geschwindigkeit zu. Diese iatrogenen Komplikationsmöglichkeiten sind von großer klinischer Relevanz. In verschiedenen Studien konnten Hyponatriämien überraschend häufig festgestellt und ein Zusammenhang zur Infusion von hypotonen Infusionslösungen nachgewiesen werden [5,6,8,15-17]. Inzwischen gibt es über 50 Fallberichte, in denen primär gesunde Kinder im Zusammenhang mit einer infusionsbedingten Hyponatriämie schwere und tödliche Komplikationen erlitten haben [3,12,18,19]. Die Dunkelziffer dürfte viel höher liegen.

Natriumarme Infusionslösungen und stressbedingte ADH-Freisetzung können bei Kindern zu einer hyponatriämischen Enzephalopathie mit schwerwiegenden Folgen führen.

Welche kristalloiden Infusionslösungen für Kinder?

Kristalloide Lösungen verteilen sich je nach Elektrolytgehalt unterschiedlich auf die verschiedenen Flüssigkeitskompartimente: Eine Vollelektrolytlösung verbleibt fast vollständig im Extrazellulärraum, eine Halbelektrolytlösung wird einen Teil des Wassers auch nach intrazellulär abgeben, und freies Wasser wird sich gleichmäßig im Gesamtkörperwasser verteilen. Hinter der früheren Empfehlung von Holliday und Segar [1] steckte die theoretische Überlegung, den geschätzten Wasser- und Elektrolytbedarf von Kindern unabhängig von der Zusammensetzung von Körperflüssigkeiten durch eine Infusion von hypotonen Infusionslösungen abzubilden. In den aktuellen Empfehlungen zur perioperativen Infusionstherapie bei Kindern [9] spielte dagegen die pragmatische

Überlegung eine wichtige Rolle, das Volumen des Extrazellulärspaces und die Zusammensetzung der Extrazellulärflüssigkeit durch Verwendung von Vollelektrolytlösungen möglichst stabil aufrechtzuerhalten. Da sich die Zusammensetzung der Extrazellulärflüssigkeit von Kindern und Erwachsenen nicht unterscheidet, sind dafür grundsätzlich die gleichen Infusionslösungen geeignet. Idealerweise sollten diese Infusionslösungen also möglichst genauso wie Extrazellulärflüssigkeit zusammengesetzt sein. Leider ist dies zur Zeit nicht mit einfachen Mitteln möglich, weil bikarbonathaltige Infusionslösungen nicht stabil sind und darüber hinaus die negativen Ladungen der Plasmaproteine (Anionenlücke) überbrückt werden müssen, damit die Infusionslösungen elektroneutral sind. Deshalb wurden die negativen Ladungen des Bikarbonats und der Plasmaproteine in der Vergangenheit zunächst einfach mit Chlorid ausgeglichen (Tab. 5: Isotone Kochsalzlösung, Ringer-Lösung). Dies kann jedoch bei hohen Infusionsvolumina zu einer unerwünschten Chloridüberladung bzw. Bikarbonatverdünnung im Extrazellulärraum (hyperchlorämische Azidose) mit ungünstigen Auswirkungen, z.B. renale Vasokonstriktion und Abnahme der Diurese, führen [20-23]. Später wurden die zu hohen Chlorid-Konzentrationen dann durch eine Verminderung der Natrium-Konzentration und Zusatz von metabolisierbaren Anionen (Tab. 5: Ringer-Laktat) gesenkt, bei deren Stoffwechselung Bikarbonat im Extrazellulärraum freigesetzt wird. Diese Lösungen haben sich durchaus über Jahrzehnte bewährt, in speziellen Fällen (z.B. Schädel-Hirn-Trauma mit Hirnödem) kann die im Vergleich zur Extrazellulärflüssigkeit niedrigere Osmolarität (276 statt 308 mosmol/l) bzw. Natrium-Konzentration (130 statt 140 mmol/l) von Ringer-Laktat aber zu unerwünschten Flüssigkeitsverschiebungen beitragen [24]. Die modernen balancierten Infusionslösungen (Tab. 5: BEL) haben deshalb eine höhere und damit physiologischere Osmolarität bzw. Natrium-Konzentration und enthalten Azetat und/oder Malat statt Laktat. Azetat und Malat können auch von Frühgeborenen über den Citratzyklus metabolisiert werden [25,26]; dies geschieht im Vergleich zum ausschließlich hepatisch verstoffwechselten Laktat weitgehend unabhängig vom Gewebetyp und schneller, es wird weniger Sauerstoff verbraucht, und die endogenen Plasmalaktat-Konzentrationen werden nicht beeinflusst. Im Falle einer fehlerhaften Überinfusion führen die Vollelektrolytlösungen zu einer isotonen Hyperhydratation mit Ausdehnung des Extrazellulärspaces, was von den Kindern meistens gut vertragen wird. Hypotone Hyperhydratationen mit gefährlichen intrazellulären Ödemen und deletären Komplikationen können deshalb bei Kindern perioperativ ziemlich sicher vermieden werden, wenn statt hy- ►

- ▶ potonen Lösungen Vollelektrolytlösungen verwendet werden.

Die modernen balancierten Infusionslösungen sind auch für die perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern empfehlenswert!

Wann Glukose?

Kinder haben einen höheren Grundumsatz und damit einen höheren Glukosebedarf als Erwachsene. Reife und gesunde Kinder können ihren Glukosebedarf in Fastenperioden zunächst wie gesunde Erwachsene aus Glykogen- und Fettreserven decken. Die Energiereserven sind aber infolge des höheren Grundumsatzes bei Kindern schneller erschöpft. Frühgeborene der 28. Schwangerschaftswoche kommen ganz ohne Fett- und Glykogenreserven auf die Welt, sie sind deshalb auf kontinuierliche Glukosezufuhr angewiesen [27]. Das Risiko einer Hypoglykämie zu OP-Beginn ist mit 0,5-2 % normalerweise gering [28-30]. Perioperativer Glukosemangel führt eher zu einer katabolen Stoffwechselsituation mit Abbau von Fett und Freisetzung von Fettsäuren und Ketonkörpern, was zu einer allmählichen Entwicklung einer metabolischen (hypochlorämischen) Azidose führen kann. Folgen einer zu reichlichen Glukosezufuhr sind Hyperglykämie und gesteigerte Fettsynthese [31,32]. Die früher verwendeten Infusionslösungen mit 5 % Glukosezusatz enthalten im Vergleich zu Plasma oder Extrazellulärflüssigkeit unphysiologisch hohe Glukose-Konzentrationen (Glukose-Konzentration: Plasma 2,78-5 mmol/l (50-90 mg/dl); Glukose 5 % 278 mmol/l (5000 mg/dl)). Perioperativ entstehen mit einer Erhaltungsinfusion mit 5 % Glukosezusatz regelmäßig ausgeprägte Hyperglykämien [31,33]. Hyperglykämien können zu osmotischer Diurese, zur Verstärkung von neurologischen Schäden nach Hypoxämie oder Ischämie und zur Erhöhung der Inzidenz von nosokomialen Infektionen führen [34-36]. Perioperativ sollten die Glukose-Konzentrationen deshalb auch bei Kindern möglichst im (oberen) Normalbereich gehalten werden. Dies ist normalerweise leicht möglich, wenn die inzwischen auch auf dem deutschen Markt kommerziell verfügbaren Vollelektrolytlösungen mit reduzierter Glukose-Konzentration (1-2 %) für die Erhaltungsinfusion verwendet werden [28,31,33,37,38]. Besonders nach langen Nüchternzeiten, während langer Operationen, bei disponierten Kindern (z.B. parenterale Ernährung, Leber- und Stoffwechselerkrankungen, β -Blocker, diabetische Mutter) muss mit einer erhöhten Hypoglykämie- und Kataboliegefahr gerechnet werden. In diesen Fällen ist es besonders wichtig, die Glukose-Konzentrationen und den Säure-Basen-Haushalt engmaschig zu kontrollieren und bei

Bedarf die Glukosezufuhr anzupassen. Bei kleinen Frühgeborenen mit sehr hohem Glukosebedarf reicht eine Erhaltungsinfusion mit 1 % Glukose häufig nicht aus. Bei diesen Kindern muss die Infusionsrate oder der Glukosezusatz erhöht werden (6 ml Glukose 40 % auf 250 ml Infusionslösung erhöhen die Glukose-Konzentration um 1 %). Bei sonst gesunden Kindern jenseits der Neugeborenenperiode kann auf die Glukosezufuhr verzichtet werden, wenn der Eingriff und die prä- und postoperativen Nüchternzeiten kurz gehalten werden. Glukoselösungen ohne Elektrolytzusatz (=freies Wasser) sind perioperativ kontraindiziert. Eine versehentliche Überinfusion von konzentrierter Glukoselösung kann zu gefährlichen Entgleisungen (hyperosmolares hyperglykämisches Koma) mit schwersten neurologischen Schäden oder zum Hirntod führen.

Bei Neugeborenen und Säuglingen können Katabolie und Hypoglykämie durch eine Erhaltungsinfusion mit einer Vollelektrolytlösung mit 1-2 % Glukosezusatz vermieden werden. Kinder jenseits der Neugeborenenperiode brauchen für kurze Eingriffe keine Glukosezufuhr, wenn die Nüchternzeiten prä- und postoperativ knapp gehalten werden.

Welche kolloidalen Infusionslösungen?

Bei den meisten kleinen und mittleren Eingriffen ist die Aufrechterhaltung der Kreislauffunktion und die Stabilisierung des Wasser-Säure-Basen-Elektrolyt-Haushalts durch alleinige Infusion von Vollelektrolytlösungen problemlos möglich. Vollelektrolytlösungen verteilen sich gleichmäßig im Extrazellulärraum, die intravasale Volumenwirkung hängt deshalb vom Verhältnis zwischen Plasmavolumen und Extrazellulärraum ab. Weil kleine Kinder im Verhältnis einen großen Extrazellulärraum haben, ist die intravasale Volumenwirksamkeit um so geringer, je kleiner die Kinder sind (Abb. 2). Die Plasmaprotein-Konzentrationen sind niedriger, und Plasmaproteindilutionen mit kritischem Abfall des kolloidosmotischen Drucks können leichter auftreten. Wenn eine Kreislaufstabilisierung mit Kristalloiden alleine schwierig wird, kann deshalb bei großen Volumenumsätzen das Plasmavolumen durch zusätzliche Infusion von Kolloiden effektiver aufrechterhalten werden [39]. Dies ist besonders wichtig, wenn Blutprodukte restriktiv eingesetzt werden sollen. Dafür wurden früher bei Kindern häufig Albumin- oder Plasmaproteinlösungen eingesetzt. Im direkten Vergleich sind künstliche Kolloide jedoch wesentlich kostengünstiger, mindestens ebenso effektiv und frei von Infektionsrisiken [40,41]. Gelatine ist das am längsten bekannte künstliche Kolloid, mit dem auch umfangreiche Erfahrungen in der Volumen-

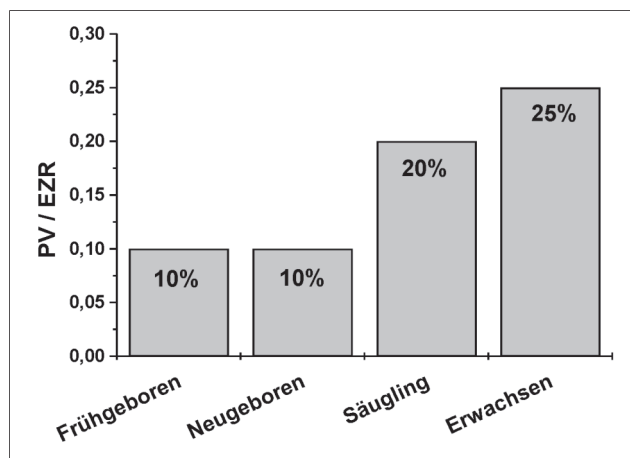


Abb. 2: Intravasale Volumenwirksamkeit von Vollelektrolytlösungen (VEL) in Abhängigkeit vom Alter: Die intravasale Volumenwirksamkeit von VEL ist bei Früh- und Neugeborenen mit großem Extrazellulärraum (EZR) vermindert, weil ein verhältnismäßig größerer Anteil der Infusionslösung in das Interstitium abfließt und ein entsprechend kleinerer Anteil im Plasmavolumen (PV) verbleibt (PV/EZR: Verhältnis zwischen Plasmavolumen und Extrazellulärraum; Prozentangaben: zu erwartender Anteil VEL, der intravascular verbleibt).

► therapie bei Früh- und Neugeborenen vorliegen [42]. Gelatine kann bei Kindern genauso wie früher Albumin eingesetzt werden, weil Gelatine aus Polypeptiden besteht, die auch von kleinen Kindern metabolisiert und renal ausgeschieden werden können [43]. Allergische Reaktionen treten aufgrund der noch wenig entwickelten spezifischen Immunabwehr seltener auf als bei Erwachsenen. Hydroxyethylstärke (HES) hat im Vergleich zur Gelatine in Abhängigkeit vom Molekulargewicht und Substitutionsgrad möglicherweise eine etwas bessere Volumenwirksamkeit. Nebenwirkungen treten mit den Präparaten der dritten Generation (MG 130.000) noch seltener als mit der zweiten Generation (MG 200.000 oder 70.000) auf [44]. In neueren Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass HES 130.000 bei Kindern aller Altersgruppen effektiv und sicher eingesetzt werden kann, wenn die empfohlenen Höchstmengen nicht überschritten werden [45–47]. HES 130.000 ist inzwischen auch in einer azetathaltigen balancierten Lösung verfügbar [48]. Bei Kindern mit bedrohter oder eingeschränkter Nierenfunktion sollte HES möglichst nicht eingesetzt werden, bis genauere Studien vorliegen.

Gelatine und Hydroxyethylstärke (MG 130.000 und 200.000) können auch bei kleinen Kindern effektiv und sicher eingesetzt werden.

Zielgrößen der Flüssigkeits- und Volumentherapie

Durch die Flüssigkeits- und Volumentherapie soll das Volumen des Extrazellulär- bzw. Intravasalraums und eine adäquate Kreislauffunktion aufrechterhalten bzw. wiederhergestellt werden (Normovolämie). Eine zu liberale Volumentherapie (Hypervolämie) kann zu Störungen der endothelialen Glykokalix mit Verschlechterung der vaskulären Barrierefunktion und Ausstrom von Flüssigkeit und Kolloiden in das Interstitium führen und die postoperative Komplikationsrate erhöhen [49]. Leider können die verschiedenen Flüssigkeitsräume auch bei Kindern nicht mit einfachen Mitteln direkt gemessen werden, und die klassischen Messgrößen Herzfrequenz und Blutdruck sind zur indirekten Abschätzung nur bedingt geeignet. Wache Kinder, insbesondere Neugeborene und kleine Säuglinge, können den Blutdruck bei größeren Flüssigkeitsdefiziten durch Vasokonstriktion lange aufrechterhalten, auch wenn bereits eine Schocksituation eingetreten ist. Bei tief anästhesierten Kindern sind die Regulationsmechanismen teilweise oder sogar vollständig ausgeschaltet, so dass eine Hypotension bei einem reduzierten Blutvolumen eher auftritt. Eine flache Narkoseführung kann allerdings einen Volumenmangel maskieren. Deshalb ist bei großen Eingriffen auch bei Kindern ein erweitertes Monitoring zur Abschätzung des Volumenstatus und der Kreislauffunktion sehr empfehlenswert. Atemsynchrone Schwankungen der invasiven Blutdruckkurve oder des Pulsoxymetersignals und ein niedriger zentralvenöser Druck können Zeichen von niedrigen Füllungsdrücken sein. Mit regelmäßigen Blutgasanalysen (z.B. stündlich) können Trends im Säure-Basen-Haushalt verfolgt werden, wobei die Entwicklung einer metabolischen Azidose sowohl Folge einer Hypovolämie mit erniedrigtem Sauerstoffangebot als auch einer katabolen Stoffwechsellage sein kann. Das Herzzeitvolumen kann auch bei Kindern z.B. mittels Echokardiografie oder transpulmonaler Thermodilution direkt gemessen oder (einfacher) über die zentralvenöse Sauerstoffsättigung (ZVS) indirekt abgeschätzt werden [50].

Ziele der perioperativen Flüssigkeits- und Volumentherapie sind Normovolämie, Normoglykämie und ein stabiler Säure-Basen-Elektrolyt-Haushalt!

Empfehlungen für die klinische Praxis

Entsprechend den aktuellen Empfehlungen sollten Kinder bis zwei Stunden vor Narkoseeinleitung klare Flüssigkeiten trinken dürfen, wenn nicht andere Gründe dagegensprechen. Bei Neugeborenen und ►

► Säuglingen sollte die Infusionstherapie möglichst mit einer Spritzenpumpe oder einer Infusionspumpe durchgeführt werden, um unbeabsichtigte Überinfusionen zu vermeiden. Die Pumpen sollten eine Druckbegrenzung aufweisen. Bei Kleinkindern können bei kurzen Eingriffen auch Schwerkraftinfusionen mit 250 ml Behältern durchgeführt werden. Für Früh- und Neugeborene empfiehlt es sich grundsätzlich, zumindest das durch die präoperative Nüchternheit entstandene Defizit und den Erhaltungsbedarf während der Operation z. B. mit einer Vollelektrolytlösung mit 1 % Glukosezusatz auszugleichen. Für kurzdauernde Operationen (<1 h) ohne relevantes Gewebetrauma (z.B. Leistenherniotomien, Zirkumkisionen) ist eine Infusionstherapie bei sonst gesunden Kindern innerhalb der empfohlenen Nüchternzeiten und jenseits der Neugeborenenperiode nicht zwingend erforderlich – für den Routinebetrieb ist es jedoch am einfachsten, wenn auch in diesen Fällen über den liegenden Venenzugang etwas Flüssigkeit infundiert wird. Bei mittelgroßen Operationen sollte in jedem Fall eine Infusionstherapie durchgeführt werden. Bei Neugeborenen, Säuglingen und jüngeren Kleinkindern kann perioperativ eine inzwischen auf dem freien Markt kommerziell verfügbare Vollelektrolytlösung mit 1-2 % Glukose infundiert werden. Zum Ausgleich von präoperativen Defiziten (z.B. Nüchternheit) kann die Gesamtinfusionsrate in der ersten Stunde 10–20 ml/kg/h betragen. Bei steigenden Blutglukose-Konzentrationen werden die glukosehaltigen Infusionen vermindert oder beendet und entsprechend mehr glukosefreie Vollelektrolytlösung infundiert. Für ältere Klein- und Schulkinder können innerhalb der empfohlenen Nüchternzeiten auch glukosefreie Vollelektrolytlösungen verwendet werden. Bei klinischen Hinweisen auf eine Hypovolämie oder bei Blutverlusten können nach Bedarf jeweils 10 ml/kg Vollelektrolytlösung oder 5 ml/kg künstliche Kolloide zusätzlich appliziert werden (Tab. 6 und 7). Postoperativ sollten die Kinder möglichst früh wieder selbst trinken dürfen, wenn nicht andere Gründe dagegensprechen.

Literatur

1. Holliday MA, Segar WE. The maintenance need for water in parenteral fluid therapy. *Pediatrics* 1957;19:823-832.
2. Arieff AI. Postoperative hyponatraemic encephalopathy following elective surgery in children. *Paediatr Anaesth* 1998;8:1-4.
3. Arieff AI, Ayus JC, Fraser CL. Hyponatraemia and death or permanent brain damage in healthy children. *BMJ* 1992;304:1218-1222.
4. Finberg L. Hospital-acquired hyponatremia. *Pediatrics* 2004;114:1741.
5. Hoorn EJ, Geary D, Robb M, Halperin ML, Bohn D. Acute hyponatremia related to intravenous fluid administration in hospitalized children: an observational study. *Pediatrics* 2004;113:1279-1284.
6. Neville KA, Verge CF, Rosenberg AR, O'Meara MW, Walker JL. Isotonic is better than hypotonic saline for intravenous rehydration of children with gastroenteritis: a prospective randomised study. *Arch Dis Child* 2006;91:226-232.

Tab. 6: Perioperativer Volumen- und Flüssigkeitsbedarf bei Kindern.

Teilmenge	Volumen	Infusionslösung
Präoperatives Defizit	Erhaltungsbedarf x Nüchternzeit	VELG ¹ , VEL ²
Erhaltungsbedarf	4 ml/kg/h (0-10 kg) 2 ml/kg/h (10-20 kg) 1 ml/kg/h (20-30 kg)	VELG ¹ , VEL ²
Korrekturbedarf	2-4-6-10-30 ml/kg/h	VEL ² , (VELG ¹)
Blutverlust	nach Bedarf	VEL ² Gelatine, HES Blutprodukte

¹ Vollelektrolytlösung mit 1 - 2 %-Glukosezusatz

² Vollelektrolytlösung.

Tab. 7: Vorschlag zur perioperativen Infusionstherapie bei Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern.

Präoperativ:	Nüchternzeiten knapp halten (klare Flüssigkeit bis 2h präop.)
Kleine Eingriffe:	Grundinfusion 10-20 ml/kg/h VEL ¹ mit 1 - 2 % Glukosezusatz, ältere Klein- und Schulkinder auch glukosefreie VEL ¹
Mittlere Eingriffe:	Glukosehaltige Grundinfusion nach einer Stunde auf Erhaltungsbedarf reduzieren, VEL1 für Korrekturbedarf, bei Hypovolämie evtl. künstliche Kolloide, Ziel: Normovolämie
Große Eingriffe:	Wie mittlere Eingriffe, Blutprodukte bei kritischer Hämodilution
Postoperativ:	Kinder möglichst schnell wieder selbst trinken lassen.

¹Vollelektrolytlösung.

7. Playfor S. Fatal iatrogenic hyponatraemia. *Arch Dis Child* 2003;88:646-647.
8. Roberts KB. Hospital-acquired hyponatremia is associated with excessive administration of intravenous maintenance fluid. *Pediatrics* 2004;114:1743-1744.
9. Sümpelmann R HH, Schmidt J, Strauß JM. Empfehlungen zur perioperativen Infusionstherapie bei Neugeborenen, Säuglingen und Kleinkindern. *Anästh Intensivmed* 2006;47:616-619.
10. Brady M, Kinn S, O'Rourke K, Randhawa N, Stuart P. Pre-operative fasting for preventing perioperative complications in children. *Cochrane Database Syst Rev* 2005;CD005285.
11. Fraser CL, Arieff AI. Epidemiology, pathophysiology, and management of hyponatremic encephalopathy. *Am J Med* 1997;102:67-77.
12. Moritz ML, Ayus JC. Preventing neurological complications from dysnatremias in children. *Pediatr Nephrol* 2005;20:1687-1700.
13. Paut O LF. Recent developments in the perioperative fluid management for the paediatric patient. *Curr Opin Anaesthesiol* 2006;19:268-277.
14. Murat I, Dubois MC. Perioperative fluid therapy in pediatrics. *Paediatr Anaesth* 2008;18:363-370.
15. Duke T, Molyneux EM. Intravenous fluids for seriously ill children: time to reconsider. *Lancet* 2003;362:1320-1323.
16. Choong K, Kho ME, Menon K, Bohn D. Hypotonic versus isotonic saline in hospitalised children: a systematic review. *Arch Dis Child* 2006;91:828-835.
17. Snaith R, Peutrell J, Ellis D. An audit of intravenous fluid prescribing and plasma electrolyte monitoring; a comparison with guidelines from the National Patient Safety Agency. *Paediatr Anaesth* 2008;18:940-946.

- **18. Moritz ML, Ayus JC.** Hospital-acquired hyponatremia: why are there still deaths? *Pediatrics* 2004;113:1395-1396.
- 19. Way C, Dhamrait R, Wade A, Walker I.** Perioperative fluid therapy in children: a survey of current prescribing practice. *Br J Anaesth* 2006;97:371-379.
- 20. Wakim KG.** "Normal" 0.9 per cent salt solution is neither "normal" nor physiological. *Jama* 1970;214:1710.
- 21. Ho AM, Karmakar MK, Contardi LH, Ng SS, Hewson JR.** Excessive use of normal saline in managing traumatized patients in shock: a preventable contributor to acidosis. *J Trauma* 2001;51:173-177.
- 22. Prough DS, Bidani A.** Hyperchloremic metabolic acidosis is a predictable consequence of intraoperative infusion of 0.9 % saline. *Anesthesiology* 1999;90:1247-1249.
- 23. Reid F, Lobo DN, Williams RN, Rowlands BJ, Allison SP.** (Ab)normal saline and physiological Hartmann's solution: a randomized double-blind crossover study. *Clin Sci* 2003;104:17-24.
- 24. Zander R.** Intracranial pressure and hypotonic infusion solutions. *Anaesthesist* 2009;58:405-409.
- 25. Zander R.** Flüssigkeitstherapie. *Melsungen: Bibliomed*; 2009.
- 26. Ekblad H, Kero P, Takala J.** Slow sodium acetate infusion in the correction of metabolic acidosis in premature infants. *Am J Dis Child* 1985;139:708-710.
- 27. Strauss JM, Sümpelmann R.** Perioperative fluid guideline in preterms, newborns, toddlers and infants. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2007;42:634-641.
- 28. Welborn LG, Hannallah RS, McGill WA, Ruttimann UE, Hicks JM.** Glucose concentrations for routine intravenous infusion in pediatric outpatient surgery. *Anesthesiology* 1987;67:427-430.
- 29. Welborn LG, McGill WA, Hannallah RS, Nisselson CL, Ruttimann UE, Hicks JM.** Perioperative blood glucose concentrations in pediatric outpatients. *Anesthesiology* 1986;65:543-547.
- 30. Jensen BH, Wernberg M, Andersen M.** Preoperative starvation and blood glucose concentrations in children undergoing inpatient and outpatient anaesthesia. *Br J Anaesth* 1982;54:1071-1074.
- 31. Nishina K, Mikawa K, Maekawa N, Asano M, Obara H.** Effects of exogenous intravenous glucose on plasma glucose and lipid homeostasis in anesthetized infants. *Anesthesiology* 1995;83:258-263.
- 32. Pierro A, Eaton S.** Metabolism and nutrition in the surgical neonate. *Semin Pediatr Surg* 2008;17:276-284.
- 33. Mikawa K, Maekawa N, Goto R, Tanaka O, Yaku H, Obara H.** Effects of exogenous intravenous glucose on plasma glucose and lipid homeostasis in anesthetized children. *Anesthesiology* 1991;74:1017-1022.
- 34. Khoadhiar L, McCowen K, Bistran B.** Perioperative hyperglycemia, infection or risk? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 1999;2:79-82.
- 35. Bruno A, Biller J, Adams HP, Jr., et al.** Acute blood glucose level and outcome from ischemic stroke. Trial of ORG 10172 in Acute Stroke Treatment (TOAST) Investigators. *Neurology* 1999;52:280-284.
- 36. Wass CT, Lanier WL.** Glucose modulation of ischemic brain injury: review and clinical recommendations. *Mayo Clin Proc* 1996;71:801-812.
- 37. Berleur MP, Dahan A, Murat I, Hazebroucq G.** Perioperative infusions in paediatric patients: rationale for using Ringer-lactate solution with low dextrose concentration. *J Clin Pharm Ther* 2003;28:31-40.
- 38. Fösel TH, Uth M, Wilhelm W, Gruness V.** Comparison of two solutions with different glucose concentrations for infusion therapy during laparotomies in infants. *Infusionsther Transfusionsmed* 1996;23:80-84.
- 39. Sümpelmann R, Schürholz T, Marx G, Thorns E, Hausdorfer J.** Haemodynamic, acid-base and electrolyte changes during plasma replacement with hydroxyethyl starch or crystalloid solution in young pigs. *Paediatr Anaesth* 2000;10:173-179.
- 40. Chong Sung K, Kum Suk P, Mi Ja Y, Kyoung Ok K.** Effects of intravascular volume therapy using hydroxyethyl starch (130/0.4) on post-operative bleeding and transfusion requirements in children undergoing cardiac surgery: a randomized clinical trial. *Acta Anaesthesiol Scand* 2006;50:108-111.
- 41. Simbruner G.** The safety of hydroxyethyl starch use in newborns and its short- and long-term benefits in hypovolemic patients. *Pediatr Crit Care Med* 2003;4:388.
- 42.** Randomised trial of prophylactic early fresh-frozen plasma or gelatin or glucose in preterm babies: outcome at 2 years. Northern Neonatal Nursing Initiative Trial Group. *Lancet* 1996;348:229-232.
- 43. Huskisson L.** Intravenous volume replacement: which fluid and why? *Arch Dis Child* 1992;67:649-653.
- 44. Boldt J.** Modern rapidly degradable hydroxyethyl starches: current concepts. *Anesth Analg* 2009;108:1574-1582.
- 45. Sümpelmann R, Kretz FJ, Gabler R, et al.** Hydroxyethyl starch 130/0.42/6:1 for perioperative plasma volume replacement in children: preliminary results of a European Prospective Multicenter Observational Postauthorization Safety Study (PASS). *Paediatr Anaesth* 2008;18:929-933.
- 46. Haas T, Preinreich A, Oswald E, et al.** Effects of albumin 5 % and artificial colloids on clot formation in small infants. *Anaesthesia* 2007;62:1000-1007.
- 47. Standl T, Lochbuehler H, Galli C, Reich A, Dietrich G, Hagemann H.** HES 130/0.4 (Volluven) or human albumin in children younger than 2 yr undergoing non-cardiac surgery. A prospective, randomized, open label, multicentre trial. *Eur J Anaesthesiol* 2008;25:437-445.
- 48. Sümpelmann R, Witt L, Brütt M, Osterkorn D, Koppert W, Osthaus WA.** Changes in acid-base, electrolyte and hemoglobin concentrations during infusion of hydroxyethyl starch 130/0.42/6 : 1 in normal saline or in balanced electrolyte solution in children. *Paediatr Anaesth* 2010;20:100-104.
- 49. Jacob M, Bruegger D, Rehm M, et al.** The endothelial glycocalyx affords compatibility of Starling's principle and high cardiac interstitial albumin levels. *Cardiovasc Res* 2007;73:575-586.
- 50. Osthaus WA, Huber D, Beck C, et al.** Correlation of oxygen delivery with central venous oxygen saturation, mean arterial pressure and heart rate in piglets. *Paediatr Anaesth* 2006;16:944-947.

Korrespondenzadresse:

Prof. Dr. med. Robert Sümpelmann
Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin
Medizinische Hochschule Hannover
Carl-Neuberg-Straße 1
30625 Hannover, Deutschland
Tel.: 0511 5329080, Fax: 0511 5329048
E-Mail: suempelmann.robert@mh-hannover.de

MULTIPLE-CHOICE-FRAGEN (CME 5/2010)

1. **Welche Aussage zum Flüssigkeitshaushalt bei Kindern trifft zu?**
 - a. Der Flüssigkeitsbedarf im Verhältnis zum Körpergewicht ist in allen Altersklassen gleich
 - b. Der Extrazellulärraum wird mit zunehmendem Alter größer
 - c. Kinder haben einen gleich großen Extrazellulärraum wie Erwachsene
 - d. Die Osmolarität und Zusammensetzung der Extrazellulärflüssigkeit ist in allen Altersklassen vergleichbar
 - e. Die Osmolarität der Extrazellulärflüssigkeit nimmt mit dem Alter ab
2. **Die Osmolarität der Extrazellulärflüssigkeit wird am stärksten beeinflusst durch**
 - a. Magnesium
 - b. Calcium
 - c. Chlorid
 - d. Kalium
 - e. Natrium
3. **Welche Aussage trifft nicht zu? Neugeborene haben im Vergleich zu älteren Kindern**
 - a. höhere Hämoglobin-Konzentrationen
 - b. niedrigere Plasmaprotein-Konzentrationen
 - c. eine höhere Stoffwechselrate
 - d. einen höheren kolloidosmotischen Druck
 - e. einen höheren Flüssigkeitsumsatz
4. **Welche Aussage zur perioperativen Infusionstherapie bei Kindern ist richtig?**
 - a. Kinder sollen perioperativ hypotone Infusionslösungen bekommen, weil ihre Extrazellulärflüssigkeit eine niedrigere Osmolarität hat
 - b. Kinder sollen perioperativ hypotone Infusionslösungen bekommen, weil die Nierenfunktion noch nicht ausgereift ist
 - c. Kinder sollen perioperativ isotone Kochsalzlösung bekommen, weil das besonders physiologisch ist
 - d. Kinder sollen perioperativ Vollelektrolytlösungen bekommen, damit keine Hyponatriämien auftreten
 - e. Kinder, die noch gestillt werden, sollen möglichst laktathaltige Infusionslösungen bekommen
5. **Welche Aussage zu metabolisierbaren Anionen trifft nicht zu?**
 - a. Laktat wird fast ausschließlich von der Leber metabolisiert
 - b. Für die Metabolisierung von Laktat wird weniger Sauerstoff benötigt als für Azetat
 - c. Azetat wird weitgehend unabhängig vom Gewebetyp verstoffwechselt
 - d. Die Infusion von Laktat kann die diagnostische Aussagekraft von Laktatmessungen beeinflussen
 - e. Azetat darf auch bei Frühgeborenen infundiert werden
6. **Welche Aussage zur perioperativen Glukosezufuhr bei Kindern trifft nicht zu?**
 - a. 5 % Glukosezusatz führt perioperativ schneller zu unerwünschten Hyperglykämien als 1 % Glukosezusatz
 - b. Kleine Kinder werden schneller katabol, wenn sie perioperativ keine Glukose infundiert bekommen
 - c. Konzentrierte Glukoselösungen können bei schneller Infusion zu irreversiblen Hirnschäden führen
 - d. Kinder haben einen größeren Glukosebedarf als Erwachsene
 - e. Größere Säuglinge sollen perioperativ keine 1 % Glukoselösungen bekommen, weil sie damit regelmäßig unterzuckern
7. **Der Erhaltungsbedarf eines Kindes mit einem Körpergewicht von 23 kg beträgt gemäß der 4-2-1-Regel**
 - a. 23 ml/h
 - b. 230 ml/h
 - c. 63 ml/h
 - d. 92 ml/h
 - e. 46 ml/h
8. **Welche Aussage zum Einsatz von Kolloiden bei Kindern trifft zu?**
 - a. Kinder brauchen perioperativ Albumin, damit sie wachsen können
 - b. Gelatine- und Hydroxyethylstärkelösungen sind auch bei Kindern effektiv und sicher einsetzbar
 - c. Kristalloide haben eine bessere intravasale Volumenwirksamkeit als Kolloide
 - d. Künstliche Kolloide führen bei Kindern besonders häufig zu Allergien
 - e. Hydroxyethylstärke kann auch bei Kindern mit Nierenfunktionsstörungen bedenkenlos eingesetzt werden
9. **Welche Aussage zu Infusionslösungen für Kinder trifft zu?**
 - a. Ringer-Laktat hat eine physiologische Osmolarität
 - b. Isotone Kochsalzlösung ist besonders für Kinder mit Niereninsuffizienz geeignet, weil sie die Nierenfunktion nicht beeinflusst
 - c. Ringer-Lösung enthält weniger Chlorid als isotone Kochsalzlösung
 - d. Balancierte Infusionslösungen sind auch für Kinder empfehlenswert, weil sie die Zusammensetzung von Extrazellulärflüssigkeit am besten abbilden
 - e. Azetathaltige Infusionslösungen führen zu metabolischen Azidosen
10. **Welche Aussage zu den Zielgrößen der Infusionstherapie trifft zu?**
 - a. Herzfrequenz und Blutdruck sind bei wachen Kindern stets zuverlässige Parameter zur Beurteilung des Volumenstatus
 - b. Eine zu liberale Flüssigkeitstherapie kann die postoperative Komplikationsrate erhöhen
 - c. Eine metabolische Azidose ist intraoperativ immer Folge einer Hypovolämie
 - d. Das Herzzeitvolumen kann bei Kindern nicht direkt gemessen werden
 - e. Bei Kindern ist die zentralvenöse Sauerstoffsättigung zur Abschätzung des Herzzeitvolumens nicht geeignet.