

Intrakranieller Druck und hypotone Infusionslösungen

Generell sollten nur plasmaitone Infusionslösungen zum Einsatz kommen, weil die Infusion größerer Volumina hypotoner Lösungen zu einem Hirnödem mit Steigerung des intrakraniellen Druckes führen kann. Dies gilt insbesondere für Patienten mit intrakraniell raumfordernden Prozessen (intrazerebrale Blutung, subdurales Hämatom, Tumor) sowie für Säuglinge und Kleinkinder, weil die noch nicht vollständig verschlossene Schädeldecke und das relativ große Gehirn (ca. 10 statt 2% des Körpergewichts) ein zusätzliches Risiko beinhalten.

Obligatorische Forderung nach Isotonie

Eine obligatorische Forderung an eine optimale Infusionslösung lautet [15]: Jede Infusionslösung sollte isoton sein.

➤ Jede Infusionslösung sollte isoton sein

Eine Lösung ist dann isoton, wenn ihre kryoskopisch (mithilfe der Gefrierpunktserniedrigung, GPE) gemessene (reale) Osmolalität im Vergleich zu allen Körperflüssigkeiten des Menschen, einschließlich Plasma mit 288 ± 5 mosmol/kgH₂O, in einem Bereich von 280–300 mosmol/kgH₂O liegt. Die Isotonie wird mit der berechneten realen Osmolalität (mosmol/kgH₂O) deklariert. Diese Forderung wird zurzeit von keinem Hersteller erfüllt, stattdessen wird üblicherweise nur die theoretische Osmolarität deklariert, die sich aus der Addition

aller osmotisch wirksamen Bestandteile einer Lösung ergibt.

Osmolarität (mosmol/l) und Osmolalität (mosmol/kgH₂O)

Das osmotische Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Kompartimenten des Organismus ist dann gegeben, wenn die Anzahl der osmotisch wirksamen Teilchen (Osmole) im zur Verfügung stehenden Wasserraum ausgeglichen ist. Beispielsweise steht die frei permeable Glucose dann zwischen Erythrozyt (Wassergehalt: 71%) und Plasma (Wassergehalt: 94%) im Gleichgewicht, wenn die Konzentrationen im zur Verfügung stehenden Wasserraum gleich sind. Daher ist der Bezug auf ein Kilogramm Wasser, also Osmolalität (mosmol/kgH₂O) physiologisch erforderlich, der Bezug auf einen Liter Erythrozyt oder Plasma würde sehr unterschiedliche Konzentrationen ergeben. Tatsächlich wurde der experimentelle Nachweis erbracht, dass alle Körperflüssigkeiten, einschließlich Erythrozyten, in keinem Fall eine Abweichung von mehr als 1 mosmol/kgH₂O vom Plasmawert eines Probanden aufweisen [5].

Am Beispiel von Plasma sollen die Begriffe Osmolarität vs. Osmolalität sowie theoretisch vs. real demonstriert werden.

Die theoretische Osmolarität von 290 mosmol/l kann aus der Addition aller osmotisch wirksamen Substanzen bezogen auf 1 l Plasma berechnet werden (142 mosmol Na⁺, 4,5 mosmol K⁺, 1,3 mosmol ionisiertes Ca²⁺, 0,7 mosmol ionisiertes Mg²⁺, 103 mosmol Cl⁻, 24 mosmol HCO₃⁻, 1 mosmol HPO₄²⁻, 0,5 mosmol SO₄²⁻, 2,5 mosmol organische Säuren

und Protein, 5 mosmol Glucose, 5 mosmol Harnstoff). Unter Berücksichtigung des Wassergehalts von 94% ergibt dies eine theoretische Osmolarität von 310 mosmol/kgH₂O, also eine Erhöhung des Wertes, weil der zur Verfügung stehende Raum um 6% verkleinert wurde.

Da die Elektrolyte, vor allem Natrium und Chlorid nur zu einem Teil osmotisch aktiv sind, nämlich nur zu 92,6% (osmotischer Koeffizient 0,926), beträgt die reale Osmolalität nur noch 287 mosmol/kgH₂O. Der Vergleich mit dem gemessenen realen Normalwert des Plasmas von 288 mosmol/kgH₂O führt zu dem überraschenden Ergebnis, dass die Plasmaosmolalität und -osmolarität zufällig praktisch identisch sind, was vermutlich einen Teil der Verwirrung in der Literatur erklärt. Über die GPE (Gefrierpunktsdepression, GPD) kann die reale Osmolalität (nicht die Osmolarität) gemessen werden.

Der Normalwert der realen Osmolalität des Plasmas beträgt 288 ± 5 mosmol/kgH₂O mit einer mittleren Streuung (SD) von nur 1,8%; hierbei handelt es sich um einen gewichteten Mittelwert für 181 Probanden [3, 4, 8].

Eine 0,9%ige NaCl-Lösung mit 308 mosmol/l (je 154 mosmol/l Na⁺ und Cl⁻) weist, umgerechnet mit dem osmotischen Koeffizienten von 0,926 bei einem Wassergehalt von 99,7%, eine Osmolalität von 286 mosmol/kgH₂O auf, ist also isoton.

In vivo- vs. In-vitro-Osmolalität

Leider kann zwischen der in vitro gemessenen Osmolalität einer Infusions-

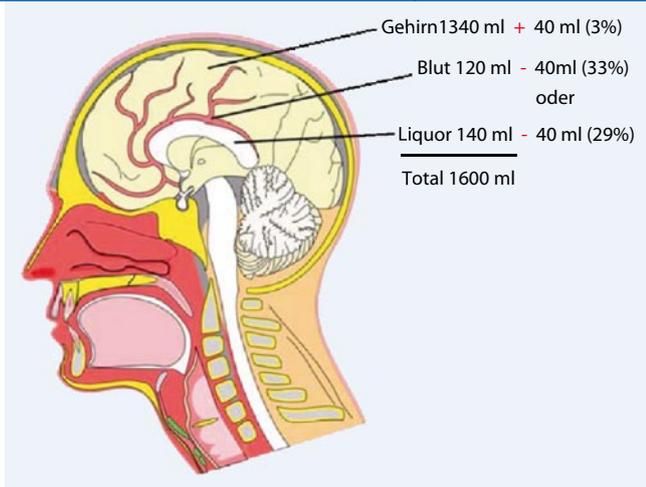


Abb. 1 ◀ Problematik einer Senkung der Plasmaosmolalität um 3%: Die infolge Wasseraufnahme zwangsläufige Volumenzunahme des Gehirns um 3%, also 40 ml, muss zu einer gleich großen Verdrängung des Blut- und/oder Liquorvolumens von ca. 30% führen; dies verursacht seinerseits einen potenziellen Anstieg des ICP

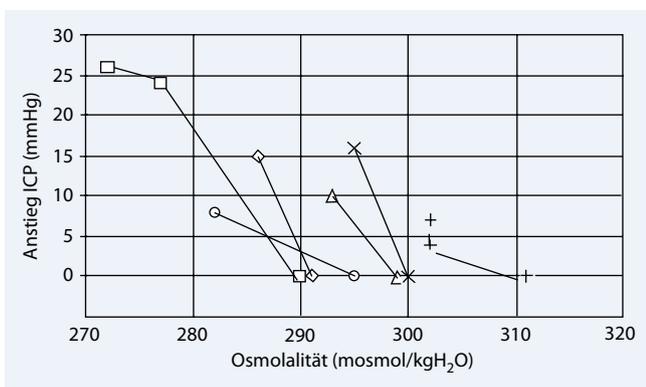


Abb. 2 ▲ Im Tierversuch gemessener Anstieg des intrakraniellen Druckes (ICP, mmHg) nach Senkung der Plasmaosmolalität (mosmol/kgH₂O) als Folge einer Infusion von Ringer-Laktat-Lösung nach verschiedenen Literaturangaben [6, 7]*[11, 13, 16, 17] (*höchstwahrscheinlich ist hier (+) die Osmolarität statt der Osmolalität gemeint). Eine Senkung der Plasmaosmolalität um nur ca. 3% (z. B. 290 auf 280 mosmol/kgH₂O) verursacht im Mittel einen ICP-Anstieg um ca. 15 mmHg

lösung und ihrer Wirkung in vivo ein Unterschied bestehen; dies soll im Folgenden an einigen Beispielen erläutert werden.

Der einfachste Fall ist die 5%ige Glucoselösung: Sie enthält theoretisch 278 mmol gleich mosmol pro Liter Lösung, also eine Osmolarität von 278 mosmol/l. Unter Berücksichtigung des Wassergehalts von 97% und eines osmotischen Koeffizienten von 1,013 (deutlich abweichend von NaCl-Lösung) ergibt dies eine reale Osmolalität von 290 mosmol/kgH₂O, also eine eindeutig isotone Lösung (mehrfach in vitro gemessen). Die Infusion dieser Lösung aber hat eine Wirkung wie reines Wasser, weil die Glucose im Gewebe schnell intrazellulär metabolisiert wird und das Wasser extrazellulär zurückbleibt.

Würde eine Infusionslösung einen Zusatz von je 5 mosmol/kgH₂O Glucose

oder Harnstoff erhalten, so würde dies einer Osmolalität von zusätzlich je 5 mosmol/kgH₂O entsprechen, weil das Plasma diese beiden Komponenten auch enthält und beide Substanzen im Konzentrationsgleichgewicht mit dem Intrazellularräumen stehen.

Enthält eine Infusionslösung als Bikarbonatersatz 24 mmol/l Laktat oder Acetat, dann ändert dies an der Osmolalität nichts, weil der intrazelluläre Metabolismus von Laktat oder Acetat eine äquimolare Freisetzung von 24 mmol/l Bikarbonat verursacht. Die Osmolalität dieser Lösung wird nicht verändert, also entspricht der Messwert in vitro der Wirkung in vivo.

Enthält eine Lösung als Bikarbonatersatz hingegen z. B. 5 mmol/l Malat, dann wird die Osmolalität nach dem Metabolismus von Malat um 5 mosmol/l erhöht, weil pro 1 mol Malat 2 mol Bikarbonat freigesetzt werden.

Gemessene statt berechnete Osmolalitäten von Infusionslösungen?

Prinzipiell wäre zu überlegen, die bisher genannten berechneten Werte der Osmolalität durch kryoskopische Messwerte der GPD zu ersetzen. Dagegen sprechen zwei Argumente. Erstens werden mit der gemessenen Osmolalität die In-vitro-(Labor-) und nicht die In-vivo-(Patient-) Werte beschrieben. Zweitens haben eigene Versuche zu folgendem, vorläufigen Ergebnis geführt: Während die gemessene Osmolalität im Vergleich zur theoretischen bei den drei klassischen Präparaten (Plasma, 0,9%ige NaCl- und 5%ige Glucoselösung) eine mittlere Abweichung von weniger als 1% ergeben hat (n=102), zeigt diese bei 5 Hydroxyäthylstärke-(HES-)Lösungen eine mittlere Überschätzung von fast 3%. Diese atypische Abweichung kann bisher nur mit einem spezifischen „kryoskopischen HES-Effekt“ erklärt werden; deshalb ist die Kryoskopie vorläufig bei den kolloidalen Lösungen nur mit Vorbehalt einsetzbar. Es wäre wünschenswert, wenn die Hersteller dieser Lösungen valide Messwerte zur Thematik beitragen könnten. Bis dahin sollte, wegen dieser zwei Argumente, der berechneten In-vivo-Osmolalität der Vorzug gegeben werden.

Isotonie einer Infusionslösung

Für die optimale Information des Arztes wäre damit zu fordern, dass eine Infusionslösung mit der realen In-vivo-Osmolalität (mosmol/kgH₂O) gekennzeichnet werden sollte, die aus der analytischen Zusammensetzung mit Wassergehalt und osmotischem Koeffizienten, wie beschrieben, berechnet werden kann. Als isoton wäre sie zu bezeichnen, wenn dieser Wert zwischen 280 und 300 mosmol/kgH₂O liegt [15].

Hypotone Infusionslösungen und intrakranieller Druck

Da der Extrazellularraum mit allen Körperflüssigkeiten und der Intrazellularräumen den gleichen osmotischen Druck wie das Plasma besitzen, charakterisiert durch den Wert der Osmolalität, kann die Infusion

einer hypertonen Lösung (>300 mosmol/kgH₂O) zu einer Wasserverschiebung aus dem Intra- in den Extrazellularraum und umgekehrt die Infusion einer hypotonen Lösung (<280 mosmol/kgH₂O) zu einer Wasserverschiebung in den Intrazellularraum führen. Dieser zweite Fall wird zunehmend kritisch betrachtet, weil einige der in täglicher klinischer Praxis eingesetzten Infusionslösungen hypoton sind. Dazu zählen vor allem Ringer-Laktat- bzw. Ringer-Acetat-Lösung mit 256 mosmol/kgH₂O, die zu einer Wasseraufnahme der Organe führen können, ohne dass dies besondere Folgen hätte.

Als kritische Ausnahme aber ist das Gehirn (Zentralnervensystem, ZNS) anzusehen. Der in seiner Form nichtveränderbare Schädel beinhaltet drei inkompressible Flüssigkeitsräume, von denen nur zwei, nämlich Blut und Liquor, partiell und limitiert nach außen verschoben werden können: 1340 ml (g) Gehirn (Mittelwert von Frau und Mann), 120 ml Blut, 140 ml Liquor. Jede Volumenänderung eines der drei Kompartimente muss mit einer identischen Änderung eines anderen Raumes beantwortet werden (Hirn-ödem, intrazerebrale Blutung, subdurales Hämatom, Tumor etc.).

➤ Kritische Ausnahme ist das Gehirn

Die „elastance“ ($\Delta P/\Delta V$, mmHg/ml) des ZNS beschreibt die Zunahme des intrakraniellen Druckes („intracranial pressure“, ICP) als Antwort auf eine Volumenzunahme von Gehirn, Blut oder Liquor. Ihre Messung kann z. B. so erfolgen, dass 1 ml 0,9%ige NaCl-Lösung in die Schädelhöhle appliziert und der resultierende Anstieg des ICP gemessen wird.

Mit zunehmendem ICP nimmt die Fähigkeit zur Volumenverschiebung von Blut bzw. Liquor deutlich ab. Der Normalwert der Elastance des ZNS beträgt ca. 1–2 mmHg/ml [2], d. h., dass jede Volumenzunahme des ZNS um nur 1 ml mit einem Anstieg des ICP von 1–2 mmHg beantwortet werden muss. Dieser Anstieg des ICP nimmt mit weiterer Zunahme überproportional zu, weil die Elastance des ZNS zunimmt. Ein Anstieg des ICP auf 30 mmHg für länger als einen Tag wird kaum ohne bleibende Schäden überlebt [2].

Anaesthesist 2009 · 58:405–409 DOI 10.1007/s00101-009-1524-1
© Springer Medizin Verlag 2009

R. Zander

Intrakranieller Druck und hypotone Infusionslösungen

Zusammenfassung

Die physiologische Plasmaosmolalität, gemessen über die Gefrierpunktsdepression (GPD), beträgt 288 ± 5 mosmol/kgH₂O. Praktisch identisch ist die theoretische Osmolarität (290 mosmol/l), berechnet aus Zusammensetzung, osmotischem Koeffizienten (0,93) und Wassergehalt (0,94). Die 0,9%ige Kochsalz- (NaCl)-Lösung hat eine Osmolarität von 308 mosmol/l und eine Osmolalität von 286 mosmol/kgH₂O (Wassergehalt ca. 1,0). Die In-vivo-Osmolalität ist wichtiger als die in vitro gemessene. Eine 5%ige Glucoselösung ist in vitro isoton, in vivo aber verhält sie sich wie reines Wasser, da die Glucose schnell metabolisiert wird. Jede Infusionslösung sollte isoton sein (290 ± 10 mosmol/kgH₂O). Hypotone Lösungen müssen eine Wasserdiffusion von extra- nach intrazellulär bewirken. Typische Beispiele sind Ringer-Laktat- und Rin-

ger-Acetat-Lösung (256 anstatt 290 mosmol/kgH₂O). Das Gehirn (Zentralnervensystem, ZNS) ist das kritische Organ: Die starre Schädelkalotte enthält drei inkompressible Räume, nur Blut und Liquor („cerebrospinal fluid“, CSF) können partiell, aber limitiert aus dem Schädel verschoben werden. Die Konsequenz einer Volumenzunahme ist ein Anstieg des intrakraniellen Druckes („intracranial pressure“, ICP). Eine Abnahme der Plasmaosmolalität um nur 3% verursacht einen ICP-Anstieg von ca. 15 mmHg. Die Infusion größerer Volumina hypotoner Lösung ist daher zu vermeiden.

Schlüsselwörter

Osmolalität · Osmolarität · „Intracranial pressure“ · Hypoton · Infusionslösungen

Intracranial pressure and hypotonic infusion solutions

Abstract

The physiological osmolality of plasma is 288 ± 5 mosmol/kgH₂O when measured by freezing-point depression. The theoretical osmolarity (290 mosmol/l) calculated from composition, osmotic coefficient (0.93) and water content (0.94) is practically identical. Saline (0.9% NaCl) has an osmolarity of 308 mosmol/l and an osmolality of 286 mosmol/kgH₂O (water content ca. 1.0). The osmolality in vivo is more important than that measured in vitro. A 5% dextrose solution in water (D5W) is isotonic in vitro, but the in vivo effect is that of pure water because the glucose is rapidly metabolized. Every infusion fluid should be isotonic (290 ± 10 mosmol/kgH₂O). Hypotonic solutions must move water from the extracellular space to the intracellular space. Typical examples are Ringer's

lactate and acetate solutions (256 instead of 290 mosmol/kgH₂O). The brain (central nervous system, CNS) is the critical organ: The rigidly shaped skull contains three incompressible compartments, only blood and cerebrospinal fluid (CSF) can be partially, but limitedly shifted outside the skull. The consequence of a volume load is an increasing intracranial pressure (ICP). A decrease in plasma osmolality by only 3% produces an increase in ICP of about 15 mmHg. Therefore, infusion of larger volumes of hypotonic solutions should be avoided at all costs.

Keywords

Osmolality · Osmolarity · Intracranial pressure · Hypotonic · Infusion solutions

Tab. 1 Typische kristalloide und kolloidale Lösungen im Vergleich zum Plasma

	Hersteller	Dichte (kg/l)	Einwaage (g/l)	H ₂ O (kg/l)	Osmotischer Koeffizient	Theoretische Osmolarität (mosmol/l)	Reale Osmolalität (mosmol/kgH ₂ O)	
Plasma		1,0258	–	0,940	0,926	290	287	Isoton
0,9%ige NaCl-Lösung		1,0062	9	0,997	0,926	308	286	Isoton
5%ige Glucoselösung		1,0197	50	0,970	1,013	278	290	Isoton ^c
Ringer-Laktat-Lösung				0,997	0,926	276	256	Hypoton
Ringer-Acetat-Lösung	SWB			0,997	0,926	276	256	Hypoton
Jonosteril	FK			0,997	0,926	291	270	Hypoton
Sterofundin ISO	BBM			0,997	0,926	304	287 ^d	Isoton
HES 6% ^a		1,0257	69	0,957	0,926	308	298	Isoton
Venofundin	BBM	1,0257 ^b	69	0,957	0,926	308	298	Isoton
Voluven	FK	1,0274	69	0,958	0,926	308	298	Isoton
VitaHes	SWB	1,0257 ^b	69	0,957	0,926	309	299	Isoton
Tetraspan	BBM	1,0257 ^b	71,1	0,955	0,926	296	287 ^d	Isoton
Volulyte	FK	1,0274	71,3	0,956	0,926	287	278	Hypoton
Vitafusal	SWB	1,0257 ^b	70,4	0,952	0,926	277	269	Hypoton
Gelafundin	BBM	1,0177	47,2	0,969	0,926	274	262	Hypoton
Gelafusal	SWB	1,0154	50	0,965	0,926	279	268	Hypoton

Die theoretische Osmolarität (mosmol/l) nach Herstellerangabe wurde mit dem osmotischen Koeffizienten und dem Wassergehalt (kg/l) in die reale In-vivo-Osmolalität (mosmol/kgH₂O) umgerechnet. Der Wassergehalt seinerseits wurde aus der gemessenen oder abgeschätzten Dichte (kg/l) ermittelt (bei den kristalloiden Lösungen von 0,9%iger NaCl-Lösung übernommen). Hersteller: **BBM** B.Braun Melsungen, **FK** Fresenius Kabi, **SWB** Serumwerk Bernburg.^aDie gemessene Dichte von 6 HES-Präparaten mit 60 g/l und einem Molekulargewicht (MG) von 70.000–200.000 beträgt im Mittel 1,0257 kg/l und damit der Wassergehalt 0,957 kg/l (1,0257 kg/l–0,069 kg/l).^bAngenommen. ^cHier ist die In-vitro-Osmolalität angegeben, der In-vivo-Wert beträgt 0 mosmol/kgH₂O.^dEingerechnet, dass 5 mosmol/l Malat in vivo 10 mosmol/kgH₂O an HCO₃⁻ freisetzen.

Am Beispiel von Ringer-Laktat-Lösung soll die Problematik verdeutlicht werden. Die Plasmaosmolalität kann durch Infusion von Ringer-Laktat-Lösung gesenkt werden [9, 11], auch an Versuchspersonen demonstriert, allerdings nach Infusion von 3,75 l Ringer-Laktat-Lösung innerhalb von 1 h [14]. Größere Volumina von Ringer-Laktat-Lösung verursachen eine vorübergehende Zunahme des Wassergehaltes des Gehirns [13] und damit einen Anstieg des ICP [12], allerdings weniger stark als nach Infusion größerer Volumina 5%iger Glucoselösung [1].

Ein in der Literatur geschätzter ICP-Anstieg von 19 mmHg bei Senkung der Plasmaosmolalität um 1 mosmol/kgH₂O [10] soll wie folgt überprüft werden: Die Abnahme der Osmolalität um 3%, also z. B. von 290 auf 280 mosmol/kgH₂O sollte theoretisch zu einer Zunahme des Gehirnvolumens um ebenfalls 3%, also 40 ml führen (Abb. 1). Diese Volumenzunahme und damit Verschiebung von Blut bzw. Liquor aus dem Schädel hinaus, würde nach der erwähnten Elastance (1–2 mmHg/ml) zu einer ICP-Zunahme von wenigstens 40 mmHg führen. Die im Tierversuch demonstrier-

te Zunahme beträgt mit großer Streuung im Mittel allerdings nur 15 mmHg (Abb. 2). Dies ist deutlich weniger, liegt aber immerhin in der gleichen Größenordnung und ist vermutlich auf die unterschiedliche Anatomie zurückzuführen. Offensichtlich ist die Volumenzunahme des Gehirns infolge Osmolalitätsenkung geringer als theoretisch vorhersagbar.

Hypotone Lösungen

Eine Zusammenstellung aktuell eingesetzter Infusionslösungen (Tab. 1) zeigt, dass hypotone Lösungen relativ häufig auf dem Markt vertreten sind. Neben den klassischen kristalloiden Lösungen (Ringer-Laktat- bzw. Ringer-Acetat-Lösung sowie Jonosteril) sind dies auch sog. balancierte HES-Lösungen (6% HES 130) Volulyte® und Vitafusal®, bei deren Weiterentwicklung aus den klassischen HES-Lösungen (6% HES 130) in 0,9%iger NaCl-Lösung (Venofundin®, Voluven®, VitaHes®) mehr oder weniger auf die Isotonie verzichtet wurde. Die beiden bekannten Gelatinelösungen sind beide deutlich hypoton.

Fazit für die Praxis

Die Infusion größerer Volumina hypotoner Lösungen ist zu vermeiden, insbesondere dann, wenn intrakraniell raumfordernde Prozesse (Hirnödem, intrazerebrale Blutung, subdurales Hämatom, Tumor etc.) vorliegen. Isotonen Lösungen mit einer Osmolalität von 280–300 mosmol/kgH₂O ist daher in jedem Fall der Vorzug zu geben. Dies gilt vor allem für Säuglinge und Kleinkinder, weil die noch nicht vollständig verschlossene Schädeldecke und das relativ große Gehirn (ca. 10 statt 2% des Körpergewichts) ein zusätzliches Risiko beinhalten. Zur besseren Information des Arztes sollte eine Infusionslösung mit der vom Hersteller berechneten, realen In-vivo-Osmolalität (mosmol/kgH₂O) gekennzeichnet werden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. R. Zander



Physioklin
Luisenstr. 17, 55124 Mainz
zander@physioklin.de

Infobox

Anmerkungen zur Nomenklatur

Hat eine Lösung den gleichen osmotischen Druck wie das Zellinnere, ist sie *isoomotisch* und erzeugt an der nur für Wasser durchlässigen (näherungsweise semipermeablen) Zellmembran keine hydrostatische Druckdifferenz. Ist sie *hypoosmotisch*, verursacht sie innen eine Druckzunahme, ist sie *hyperosmotisch*, eine Druckabnahme. Da der osmotische Druck nicht als hydrostatische Druckänderung gemessen werden kann, wird zu seiner Charakterisierung die *Osmolalität* verwendet. Ihre Messung erfolgt üblicherweise über die Gefrierpunktsdepression (GPD): Die beiden Bezugspunkte sind Aqua dest. (0 mosmol/kgH₂O) mit einer GPD von 0°C und die einosmolale Mannitlösung (1000 mosmol/kgH₂O) mit einer GPD von -1,86°C.

Mit der Bezeichnung *Tonizität* wird das funktionelle Verhalten beschrieben, d. h. ob eine Zelle in einer Lösung durch Wasseraufnahme anschwillt oder durch Wasserabgabe schrumpft.

Eine Lösung ist *isoton*, wenn in sie eingebrachte Zellen weder schrumpfen noch schwellen, sie ist *hyperton*, wenn sie den Zellen Flüssigkeit entzieht und umgekehrt ist sie *hypoton*, wenn in ihr die Zellen schwellen.

Die in dieser Arbeit verwendete Nomenklatur weicht hiervon etwas ab: Eine isotonische Lösung wird mit der Osmolalität von 290 mosmol/kgH₂O charakterisiert. Das möglicherweise unterschiedliche Verhalten der GPD-Messung im Labor wird mit „in vitro“ und die Wirkung am Patienten mit „in vivo“ beschrieben. Als Beispiel dafür gilt die 5%ige Glucoselösung, die in vitro isoton ist (290 mosmol/kgH₂O), in vivo aber wie Aqua dest. hypoton wirkt. Als weiteres Beispiel kann eine 1,74%ige Harnstofflösung genannt werden, die in vitro über die GPD mit 290 mosmol/kgH₂O als isoton einzustufen ist, in vivo aber wie eine hypotone Lösung wirkt, weil Harnstoff frei permeabel (MG 60) schnell und unter Mitnahme von Wasser in das Zellinnere eintritt.

Interessenkonflikt. Der Autor ist als wissenschaftlicher Berater zum Konzept „balancierte Infusionslösungen“ für B.Braun Melsungen AG tätig. Trotzdem ist der Beitrag unabhängig und produktneutral.

Literatur

1. Bakay L, Crawford JD, White JC (1954) The effects of intravenous fluids on cerebrospinal fluid pressure. *Surg Gynecol Obstet* 99:48–52
2. Fuchs G, Schalk HV (2003) Neurologie. In: List W, Osswald PM, Hornke I (Hrsg) *Komplikationen und Gefahren in der Anästhesie*, 4. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York Tokio

3. Glasser L, Sternglanz PD, Combie J, Robinson A (1973) Serum osmolality and its applicability to drug overdose. *Am J Clin Pathol* 60:695–699
4. Hendry EB (1961) Osmolarity of human serum and of chemical solutions of biological importance. *Clin Chem* 7:156–164
5. Hendry EB (1962) The osmotic pressure and chemical composition of human body fluids. *Clin Chem* 8:246–265
6. Hyodo A, Heros RC, Tu YK et al (1989) Acute effects of isovolemic hemodilution with crystalloids in a canine model of focal cerebral ischemia. *Stroke* 20:534–540
7. Kaieda R, Todd MM, Cook LN, Warner DS (1989) Acute effects of changing plasma osmolality and colloid oncotic pressure on the formation of brain edema after cryogenic injury. *Neurosurgery* 24:671–678
8. Olmstead EG, Roth DA (1957) The relationship of serum sodium to total serum osmolality: a method of distinguishing hyponatremic states. *Am J Med Sci* 233:392–399
9. Reid F, Lobo DN, Williams RN et al (2003) (Ab)normal saline and physiological Hartmann's solution: a randomized double-blind crossover study. *Clin Sci* 104:17–24
10. Schell RM, Applegate RL 2nd, Cole DJ (1996) Salt, starch and water on the brain. *J Neurosurg Anesth* 8:178–182
11. Shackford SR, Zhuang J, Schmoker J (1992) Intravenous fluid tonicity: effect on intracranial pressure, cerebral blood flow and cerebral oxygen delivery in focal brain injury. *J Neurosurg* 76:91–98
12. Tommasino C, Moore S, Todd MM (1988) Cerebral effects of isovolemic hemodilution with crystalloid or colloid solutions. *Crit Care Med* 16:862–868
13. Walsh JC, Zhuang J, Shackford SR (1991) A comparison of hypertonic to isotonic fluid in the resuscitation of brain injury and hemorrhagic shock. *J Surg Res* 50:284–292
14. Williams EL, Hildebrand KL, McCormick SA, Bedel MJ (1999) The effect of intravenous lactated Ringer's solution vs. 0.9% sodium chloride solution on serum osmolality in human volunteers. *Anesth Analg* 88:999–1003
15. Zander R, Adams HA, Boldt J et al (2005) Forderungen und Erwartungen an einen optimalen Volumenersatz. *Anesthesiol Intensivmed Notfall- und Schmerzther* 40:701–719
16. Zornow MH, Scheller MS, Shackford SR (1989) Effect of a hypertonic lactated Ringer's solution on intracranial pressure and cerebral water content in a model of traumatic brain injury. *J Trauma* 29:484–489
17. Zornow MH, Todd MM, Moore SS (1987) The acute cerebral effects of changes in plasma osmolality and oncotic pressure. *Anesthesiology* 67:936–941

Hier steht eine Anzeige.

 Springer