

Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern

Werner Pajk

Universitätsklinik für Anästhesie und
Intensivmedizin Innsbruck

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik
und perioperative Flüssigkeitstherapie bei
Kindern.

fetale Zirkulation

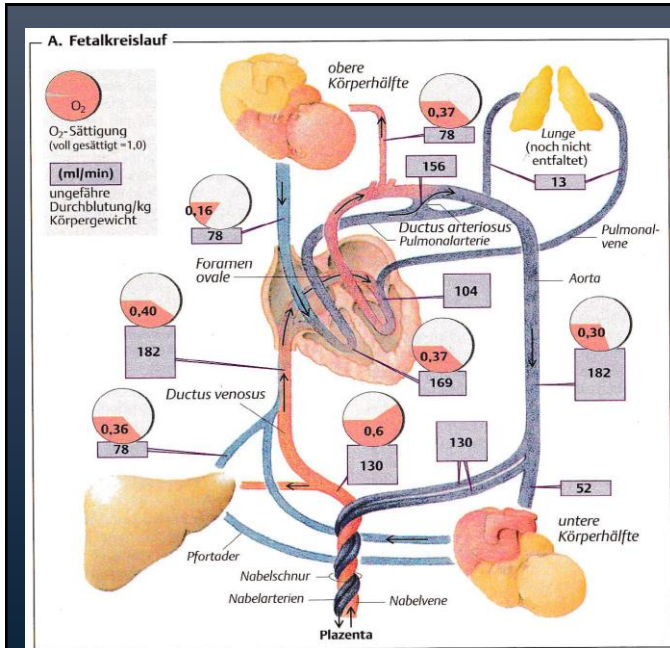
postnatale Transition zur
Neugeborenenzirkulation

physiologische Besonderheiten des
kindlichen Blutkreislaufs

klinische Implikationen und
Monitoringsmöglichkeiten

perioperative Flüssigkeitstherapie -
Empfehlungen

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik
und perioperative Flüssigkeitstherapie bei
Kindern.



IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Fetale Zirkulation

Paralleschaltung des Kreislaufs

kombiniertes HZV (K-HZV, RV-HZV + LV-HZV)

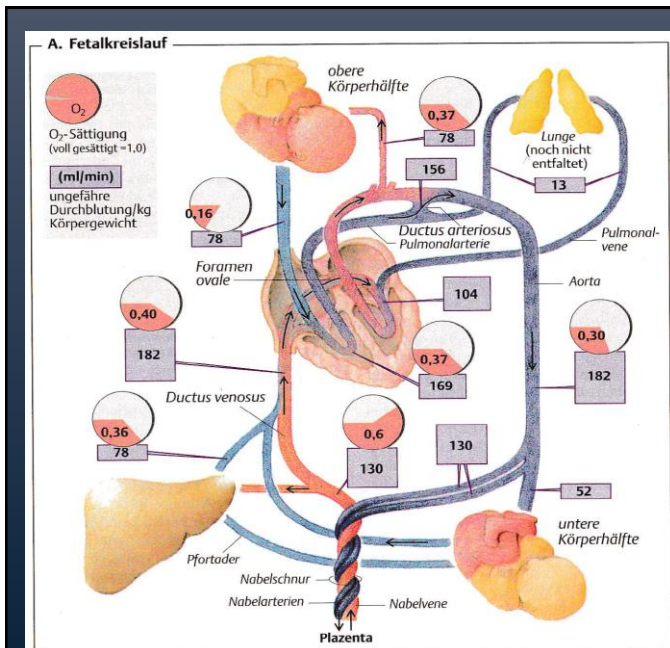
physiologische Shunts
 Foramen ovale (FO), Ductus arteriosus (DA)

RV-HZV > LV-HZV (Faktor ca. 1,5)

PVR > SVR

90% RV-HZV via DA in Ao. descendens

Gehirn und Herz mit sauerstoffreichem Blut aus der V. cava inferior perfundiert



IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Fetale Zirkulation

Lungen \approx 10% KHZV

Plazenta \approx 40% KHZV

Nabelvene $paO_2 \approx$ 28 mmHg

A. Carotis $paO_2 \approx$ 25 mmHg

Nabelarterie $paO_2 \approx$ 18 mmHg

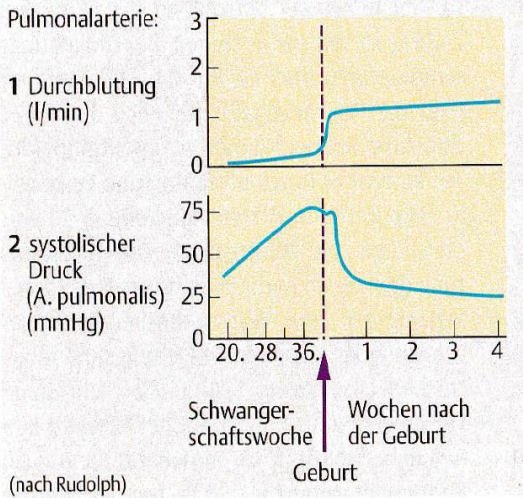
Gasaustausch in der Plazenta

Hb \geq 17 g/dl, davon \geq 70% HbF

p_{50} HbF \approx 19 mmHg

hohe Sauerstoffbindungskapazität des Blutes

B. Lungenkreislauf vor und nach der Geburt



Feto-Neonatale Kreislauftransition

PVR ↓ bei Einsetzen der Lungenatmung (Kälte, Licht, taktile Reize, Hypoxie, Hyperkapnie)

Lungenperfusion ↑, paO_2 ↑, LAP ↑

SVR ↑ durch Kontraktion der Hautgefäße (pos. Temperaturgradient intrauterin, neg. extrauterin) und Kontraktion der Nabelarterie (paO_2 -vermittelt)

Shuntfluss ↓ durch Kontraktion d. DA und Verschluss des FO ($LAP > RAP$)

Übergang zum Seriell-Kreislauf

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Feto-Neonatale Kreislauftransition

Ductus arteriosus

während 1. Lh noch geringer rechts-links-Shunt, später Shuntumkehr

paO_2 ↑ → Kontraktion des DA über Prostaglandinsynthesehemmung

DA-Verschluss (10.-15. Lh funktionell, 6.-8. LW anatomisch)

bei Frühgeborenen noch wenig Gefäßmuskulatur im DAB, deshalb ist persistierender DA (PDA) rel. häufig

PDA bei FG mit <1200 g ca. 80%, bei FG <1750g noch 45%

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Feto-Neonatale Kreislauftransition

Foramen ovale (FO)

Lungenperfusion \uparrow , LAP \uparrow , Umkehr des Vorhofdruckgradienten LAP > RAP

FO verschließt sich funktionell (Septum primum und secundum)
anatomischer Verschluss des FO bis zum 1. LJ, 20% nur funktionell (persistierend, PFO)

Die Transition ist in den ersten Lebenstagen noch nicht definitiv.

Gefahr des PDA: persistierende fetale Circulation bei Shuntumkehr durch PVR-Anstieg (Lungenaffektionen, Hypoxie, Azidose)

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Feto-Neonatale Kreislauftransition

Die Transition ist in den ersten Lebenstagen noch nicht definitiv.

persistierend erhöhter (Lungenunreife) oder Wiederanstieg des PVR (Lungenaffektionen, Hypoxie, Azidose)

→ unvollständige Transition

→ Wiedereröffnung der fetalen Shunts (DA, FO)

Persistierende Pulmonale Hypertension des Neugeborenen PPHN

Persistierende Fetale Circulation PFC

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Pulmonalvaskulärer Widerstand PVR

pathogenetische Faktoren in der Wiedereröffnung der Shuntkreisläufe

Hypoxie, Azidose, Hyperkapnie, Entzündungsmediatoren (Endothelin-1), Temperatur, Lebensalter, Störungen der NO-Synthese (Eisenmangel), gestörte Atemmechanik (PVR am niedrigsten nahe FRC), invasive Beatmung

Table 2 Mediators produced by pulmonary endothelial cells and their mechanism for modulating HPV

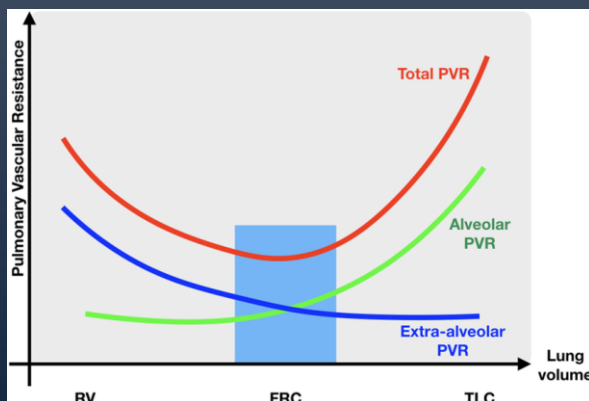
Mediator	Mechanism
Nitric oxide	Although not fully understood, nitric oxide is continuously produced by pulmonary endothelial cells and maintains a constant state of pulmonary dilatation by reducing intracellular calcium, relaxing smooth muscle. Hypoxia reduces basal nitric oxide production and thus HPV is enhanced
Prostacyclin	Prostacyclin is a vasodilator that stimulates cyclic adenylylase and increases cyclic adenylylase production
Endothelin-1	Endothelin-1 is a small peptide paracrine mediator with potent vasoconstrictor properties. It acts via G-protein receptors on PASMCs

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Pulmonalvaskulärer Widerstand PVR

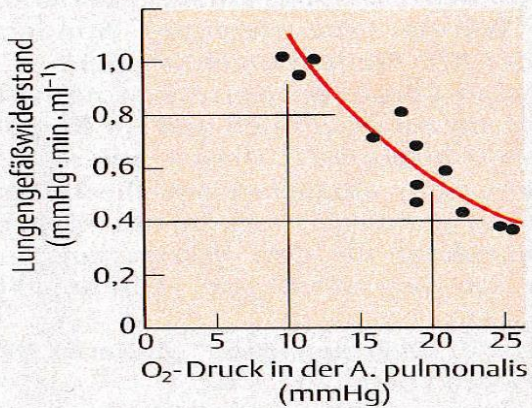
Behandlungsstrategien der PPHN

Behandlung der Ursachen, moderate Beatmungsinvasivität, pulmonale Vasodilatoren (NOi, inhalative Prostglandine, ET-1-Rezeptor-Blocker, PDE-5-Inhibitoren), Kreislaufunterstützung (HZV, SVR), ECMO



IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

C. Hypoxische Vasokonstriktion im Fetus



(nach Levine)

(Messung am Lammfetus)

Pulmonalvaskulärer Widerstand PVR

Einfluss von paO_2

Euler-Liljestrand-Phänomen

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindliche normale Kreislaufphysiologie

Herz-Größe

Zu Geburt beide Ventrikel annähernd gleich in Größe und Wanddicke.

LV: gestiegene Druck- und Volumensarbeit

RV: reduzierte Druckarbeit, leicht erhöhte Volumensarbeit

LV wird durch Hyperplasie und Hypertrophie bis zum 6. LM ca. 2 x so schwer wie der RV

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindliche normale Kreislaufphysiologie

Ultrastrukturelle Unreife des Neugeborenenherzens

Myofibrillen nicht geordnet arrangiert und mit geringerem Anteil an kontraktilen Proteinen (neonatal 30% vs. adult 60%)

peripartale ATP-Produktion noch zu großem Anteil durch Glykolyse, postnatal zunehmende Umstellung auf Fettsäure-Oxidation (metabolisch viel effizienter)

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik
und perioperative Flüssigkeitstherapie bei
Kindern.

Kindliche normale Kreislaufphysiologie

Ultrastrukturelle Unreife des Neugeborenenherzens

Schwache Ausbildung des sarkoplasmatisches Retikulums (SR), im reifen Herz ist das SR die prädominante Quelle der Kalziumionen für die Erregungs-Kontraktions-Kopplung

Mangel an T-Tubuli, diese sorgen im reifen Herzen für die elektrische Kopplung der Zellmembran mit dem sarkoplasmatischen Retikulum

Unfähigkeit zur raschen zytosolischen Freisetzung und Wiederaufnahme des Kalziums über das SR für die myokardiale Kontraktion, in Folge Abhängigkeit vom transmembranösen Kalziumtransport zur Kontraktion

diese Unterschiede im Kalziummetabolismus erklären die klinische Beobachtung des Bedarfs höherer Serumkalziumkonzentrationen für eine optimale myokardiale Kontraktilität bei Neugeborenen

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik
und perioperative Flüssigkeitstherapie bei
Kindern.

Kindliche normale Kreislaufphysiologie

Neugeborenenherz - autonomes Nervensystem

verringerte sympathische Innervation des Herzens und auch der peripheren Gefäße sowie geringere kardiale Katecholaminspeicher

parasympathische Innervation ist mit der eines erwachsenen Herzens vergleichbar

Unreife des autonomen Nervensystems kann die ausgeprägten vagalen Reaktionen bei Säuglingen erklären

für die Regulation von Gefäßtonus und der myokardialen Kontraktilität spielt Nebennierenfunktion (zirkulierende Katecholamine) große Rolle

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindliche normale Kreislaufphysiologie

Neugeborenenherz - Ventrikelcompliance

durch die ultrastrukturellen Unterschiede und die vermehrte Volumensbelastung mit dem Übergang von der parallelen fetalen zur seriellen Zirkulation ist die myokardiale Compliance reduziert

die Ventrikelfunktionskurve eines Neugeborenenventrikels ist nach rechts und unten verschoben, Füllungsdruck und Schlagvolumen bewegen sich physiologisch in einem schmalen Bereich

RV und LV sind funktionell enger zusammenhängend (interventrikuläre Dependence) als Resultat der verminderten Compliance und der Größenähnlichkeit, Versagen eines Ventrikels führt in Folge rasch zu einer biventrikulären Dysfunktion

die reduzierte Compliance bedeutet klinisch eine erhöhte Empfindlichkeit für Volumsüberladung

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindliche normale Kreislaufphysiologie

Neugeborenenherz - Leistung

durch die schlechte Reagibilität auf Vorlastveränderung und das deshalb relativ fixierte Schlagvolumen herrscht eine hohe Abhängigkeit von Herzfrequenz und Sinusrhythmus vor

sowohl RV als auch LV tolerieren aufgrund der myokardialen Unreife akute Anstiege der Druckerarbeit schlecht

Neugeborene vertragen deshalb schlechter Druck- und Volumsbelastung und schon unter Ruhebedingungen ist ihre Herzfunktion nahe dem Plateau der kardialen Leistungsfähigkeit

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindliche normale Kreislaufphysiologie

Kreislaufparameter- Herzfrequenz

Table 2-9. The Relationship of Age to Heart Rate

Age	Mean Heart Rate (beats/min)
0-24 hours	120
1-7 days	135
8-30 days	160
3-12 months	140
1-3 years	125
3-5 years	100
8-12 years	80
2-16 years	75

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindliche normale Kreislaufphysiologie

Kreislaufparameter- Herzfrequenz

das HZV ist stark von der Herzfrequenz bestimmt, Bradykardie wird schlecht, Tachykardie gut vertragen, Frequenzen bis 200/min werden ohne HZV-Abfall vertragen

Definitionen von Tachykardie und Bradykardie sind bei Kindern uneinheitlich. Sichere Bradykardie < 90/min, Tachykardie >200/min

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindliche normale Kreislaufphysiologie

Kreislaufparameter- Blutdruck

Table 2-10. The Relationship of Age to Blood Pressure

Age	Normal Blood Pressure (mm Hg)	
	Mean Systolic	Mean Diastolic
0-12 hours (preterm)	50	35
0-12 hours (full-term)	65	45
4 days	75	50
6 weeks	95	55
1 year	95	60
2 years	100	65
9 years	105	70
12 years	115	75

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindliche normale Kreislaufphysiologie

Hypotension – Blutdruckuntergrenzen während Anästhesie

Expertenmeinung M. Jöhr (Luzern)

Tab. 2.9 Anzustrebende minimale Blutdruckwerte bei Kindernarkosen (Expertenmeinung)

Alter	Anzustrebender Mitteldruck in mmHg
Frühgeborene	30
Termingeborene und Säuglinge	40 (mindestens 35)
Kleinkinder	50
Schulkinder	60

Hypotension gilt zusammen mit der Unreife der Gehirnstrombahn als auslösender Faktor für die hypotensive/ischämische Enzephalopathie Frühgeborener

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindliche normale Kreislaufphysiologie

Hoher Sauerstoffverbrauch

Sauerstoffverbrauch und CO₂-Produktion Neugeborener sind doppelt so groß wie der von Erwachsenen

großen Anteil daran haben Wärmeproduktion (wenig Fettgewebe, Verhältnis Körperoberfläche zu Gewicht) und Wachstum

Fieber belastet die Sauerstofftransportbilanz erheblich

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Implikationen

korrigiere rasch Hypoventilation (Hypoxie, Hyperkapnie, Atelektasen), Bradykardie und Hypotension

Bradykardie ist fast immer Hypoxie-assoziiert → zuerst Hypoxie-Ausschluss und deren Behandlung (vor anderen Ursachen)

beachte Zeichen von Hypovolämie und Kreislaufzentralisation (Capillary Refill Time > 3 s, blasse/marmorierte Haut, kühle/zyanotische Akren, reduzierter Hautturgor, reduzierte Harnausscheidung, eingefallene Augen, Fontanelle unter Niveau)

sei reflektiert bei der Volumssubstitution und Kreislauftherapie (geringe therapeutische Breite)

vermeide Hypothermie und Hyperthermie

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik
und perioperative Flüssigkeitstherapie bei
Kindern.

Kindliche Hämodynamik

klinische Beurteilung und Monitoring

Passive Leg Rise Manoeuvre (Volumenreagibilität)

Pulsamplitudenvariation (SpO₂- und invasive Blutdruckkurve)

CRT Capillary Refill Time (Dokumentation der Zeit, Verlaufsbeurteilung)

NIRS (cerebral und somatisch, Trend)

Zentralvenöse Sättigung (SVC nahe RA oder RA, normal >80%)

bei Früh- und Neugeborenen vergleichende Messungen von Sauerstoffsättigung und Blutdruck re. OEx zu anderer Extremität

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik
und perioperative Flüssigkeitstherapie bei
Kindern.

klinische Beurteilung und Monitoring

Passive Leg Rise Manoeuvre (Volumenreagibilität)

Pulsamplitudenvariation (SpO₂- und invasive Blutdruckkurve)

CRT Capillary Refill Time

NIRS (cerebral und somatisch, Trend), cerebrale Doppler-Sonographie

Blutgasanalysen (inkl. Laktat und Säure-Basen-Status)

Zentralvenöse Sättigung (SVC nahe RA oder RA, normal >80%)

Orientierende Echokardiographie

bei Früh- und Neugeborenen vergleichende Messungen von Sauerstoffsättigung und Blutdruck re. OEx zu anderer Extremität

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindliche Hämodynamik – klinische Implikationen

CRT Capillary Refill Time

zur Beurteilung der Mikrozirkulation

moderate Kompression eines Fingers für 5 Sekunden

Messung und Dokumentation der Zeit bis zum Wiedererlangen der ursprünglichen Farbe

Richtwerte:

< 2 s normal, > 3 s verzögert, dazwischen grenzwertig normal

Beachte: Temperatureinfluss, Adaptationszeit bei Veränderung der Umgebungswärme

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Perioperative Flüssigkeitssubstitution bei Kindern allgemein

Empfehlungen konkret (ÖGARI)

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Perioperative Flüssigkeitssubstitution bei Kindern

Präoperatives Defizit (Verluste + verminderte Zufuhr)

Nüchternheit (Erhaltungsbedarf mit 4-2-1-Regel, Perspiatio insensibilis, Diurese)

Fieber (additiv 1 ml/kgKG/h pro 0,1°C Temperatur > 38 °C)

Erbrechen, Diarrhoe, Ileus, Trauma, diabetische Stoffwechsellage

Intraop. Verluste

Sind abhängig vom operativen Eingriff (Verdunstung, Third Space Loss, Blutverlust, Liquor, etc.).

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindern

Paradigmenwechsel in den 1990er Jahren:

Berichte von hyponatriämer Enzephalopathie mit Ateminsuffizienz und letalem Ausgang bei Kindern unter Infusionstherapie.

Als ursächliche Faktoren dabei gelten neben der Infusion hypotoner Lösungen die Wasserretention durch stressbedingte ADH-Ausschüttung der renale Natriumverlust durch katabolismusbedingte Ketonkörperdiurese.

Daraufhin änderten sich die Empfehlungen von pädiatrischen Infusionslösungen mit erniedrigtem Natriumgehalt auf sog. „balancierte Vollelektrolytinfusionslösungen“ (isotone, natriumreiche Lösungen mit serumähnlicher Elektrolytkonzentration und Zusatz von Anionen wie Laktat, Acetat oder Maleat).

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Perioperative Flüssigkeitssubstitution bei Kindern

Aktuelle Empfehlungen:

„Handlungsempfehlungen zum perioperativen Flüssigkeitsmanagement bei Kindern“ der ÖGARI

Autoren: Maria Vittinghoff, Johannes Eger

Überarbeitete Fassung 2021 (Erstpublikation 2018), Einbeziehung der S1 -Leitlinie „Perioperative Infusionstherapie bei Kindern“ vom WAKKA der DGAI 2016 [4] in der Überarbeitung von 2021 sowie der aktuellen Literatur.

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindern

Kernpunkte:

Prä- und postoperative Nüchternheit zu kurz wie möglich halten.

Alter	Klare Flüssigkeit	Muttermilch	Flaschennahrung/Mich Kleine Mahlzeit	Feste Nahrung
0-18 Jahre	1h	3h	4h	6h

Individuelle Einschätzung der Nüchternzeit bei Kindern mit verzögerter Magenentleerung.

Nach dem Eingriff Trinken oder leichte Mahlzeit bei wachem Kind erwünscht, wenn keine chirurgische Kontraindikation vorliegt (abzuklären mit Operateur:in).

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Kindern

Kernpunkte:

Perioperative Infusionstherapie bei Kindern - „10er Regel“		
	Infusionslösung	Anfangs-/ Repetitionsdosis
Grundinfusion	Vollelektrolytlösung mit 1-2,5% Glucose	10ml/kg/h
Flüssigkeitstherapie	Vollelektrolytlösung ohne Glucose	10-20ml/kg/h
Volumentherapie	Kolloide	5-10ml/kg/h
Transfusion	EK,TK,FFP	10ml/kg/h

Für einen Hb-Anstieg von 1 g/dl sind ca. 4 ml/kgKG EK zu verabreichen oder durch Transfusion von 10 ml/kgKG EK wird ein Hb-Anstieg von ca. 3 g/dl erreicht.

EK bei Patienten bis zum 6. LM sind zu bestrahlen (Österr. Ges. f. Blutgruppen-serologie und Transfusionsmedizin, ÖGHT, St. d. Klin. Hämotherapie 2019).

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Perioperative Flüssigkeitssubstitution bei Kindern

→ 3 ml/kgKG/h Glucose 10%
Entsprechen 5 mg/kgKG/min

Tab. 2.19 Dosierung von Glukose

Situation	Dosierung
Neugeborene wach	5 mg/kg/min, zur Verhinderung einer Hypoglykämie
Kinder intraoperativ	1–2 mg/kg/min 2–3 mg/kg/min bei Neugeborenen
Glykogenose Typ I oder Störungen der Fettsäureoxydation	5–8 mg/kg/min
Kinder intraoperativ, wenn sie unter parenteraler Ernährung stehen	Hälfte der vorher verabreichten Glukosezufuhr

3 ml/kgKG/h Glucose 10%
Entsprechen 5 mg/kgKG/min

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

□ ↔ □ / ← ↔ ↑ □ / ↑ □ □ □ ↔ □ □ □

orale Flüssigkeitssubstitution hat einen hohen Stellenwert (Nüchternheit so kurz wie möglich, Wiederbeginn von postoperativem Trinken so rasch wie möglich).

Zur Infusion nur isotone balancierte Infusionslösungen, explizit keine hypotonen Lösungen wegen Gefahr der hyponatriämischen Enzephalopathie

routinemäßige zusätzliche Glucosesubstitution bei Kindern im ersten LJ, engmaschige Blutzuckermessung bei Kindern mit erhöhtem Glucosebedarf (Frühgeborene, Neugeborene, Kinder mit Stoffwechselerkrankungen, Kinder mit parenteraler Ernährung, kritisch kranke Kinder, Kinder mit Leberinsuffizienz, u.a.).

perioperatives Monitoring der klinischen Zeichen eines signifikanten Flüssigkeitsdefizites, bei größeren Eingriffen oder Früh- und Neugeborenen, sowie kardial oder kritisch kranken Kindern auch der Flüssigkeitsbilanz und des Körpergewichtes

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik und perioperative Flüssigkeitstherapie bei Kindern.

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Werner Pajk
Universitätsklinik für Anästhesie und
Intensivmedizin Innsbruck

keine wirtschaftlichen Interessenskonflikte
Literatur beim Verfasser

IFIMP 2024. Pajk W. Fallstrick Hämodynamik
und perioperative Flüssigkeitstherapie bei
Kindern.