

Physiologie

Besonderheiten des Wasser-, Elektrolyt- und Nährstoffbedarfes pädiatrischer Patienten

F. Jochum

- 2.1 Körperwassergehalt – 14
- 2.2 Flüssigkeitsumsatz – 14
- 2.3 Verteilungsräume der Körperflüssigkeit – 15
- 2.4 Regulationsmechanismen – 17
- 2.5 Besonderheiten des Energie- und Nährstoffbedarfs – 17
- 2.6 Elektrolytfunktionen in Körperkompartimenten – 18
- Literatur – 18

Kontrolle und Regulation der Körperwasserspeicher bei Kindern sind im Vergleich zu Erwachsenen erschwert, weil ein höherer Wasseranteil pro kg Körpergewicht (kgKG) und Tag reguliert werden muss. Zusätzlich ist der Wasserumsatz/kgKG bis zu 5-mal höher als bei Erwachsenen. Unter anderem wegen des Körperwachstums ist auch der Nährstoffbedarf/kgKG bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen erhöht. Die Regulation des Elektrolyt- und weiteren Nährstoffhaushalts ist durch altersabhängige Besonderheiten limitiert. Aus diesem Grunde ist es notwendig, die Flüssigkeits-, Elektrolyt- und weitere Nährstoffzufuhr eng an den mit zunehmendem Lebensalter sinkenden Bedarf anzupassen. Bei gesunden älteren Kindern haben die beschriebenen physiologischen Besonderheiten eine geringere Bedeutung. Belastung des Wasser-, Elektrolyt- oder sonstigen Stoffwechsels führt aber auch bei ihnen schneller an Grenzen als bei Erwachsenen (mit reifen Regulationsmechanismen) und großen Körperspeichern. Darum sind auch die im Vergleich zu Erwachsenen nicht so offensichtlichen Besonderheiten älterer pädiatrischer Patienten für den klinischen Alltag wichtig und keinesfalls zu vernachlässigen.

Die Strategien für die (parenterale) Ernährung von pädiatrischen Patienten unterscheiden sich signifikant vom Vorgehen bei Erwachsenen. Das besondere Vorgehen bei Kindern und Jugendlichen ergibt sich aus den physiologischen Besonderheiten dieses Lebensabschnitts. Wissen über altersabhängige Veränderungen der Ernährungsphysiologie bei Kindern ist darum notwendig, um die bedarfsgerechte und sichere Nährstoffzufuhr bei pädiatrischen Patienten zu gewährleisten. Zum besseren Verständnis der Ernährungsstrategien für Kinder und Jugendliche erscheint es sinnvoll, die physiologischen Besonderheiten in den folgenden Kapiteln voranzustellen.

2.1 Körperwassergehalt

Der Wassergehalt des Körpers ist altersabhängig und nimmt von ca. 90% bei einem Frühgeborenen mit 24 Schwangerschaftswochen im Verlauf des Kleinkind- und Jugendalters bis auf unter 60% beim Erwachsenen mit zunehmendem Lebensalter ab (Friis-Hansen 1961; Widdowson 1981; ■ Abb. 2.1). Während des Wachstums kommt die Abnahme des Körperwassergehalts maßgeblich durch den Aufbau von Körpergewebe zustande (Strukturproteine, Vergrößerung der Muskel-/Organmasse und des Fettanteils). Hierdurch kommt es zu einer relativen Verminderung der Wasseranteile an der Körpermasse.

Nach der Pubertät lassen sich **geschlechtsspezifische Unterschiede** der Körperzusammensetzung und des Körperwassergehaltes messen. Hierbei fällt bei Mädchen/Frauen im Vergleich zu Jungen/Männern ein höherer Körperfettanteil auf, der zu einem im Vergleich geringeren Körperwassergehalt führt (► Abschn. 2.3).

2.2 Flüssigkeitsumsatz

Auch der **Flüssigkeitsumsatz/kgKG** ist beim Frühgeborenen, Säugling, Kleinkind und Jugendlichen höher als beim Erwachsenen (Fusch et al. 1993; ■ Abb. 2.2).

Hierzu tragen die **Unreife der Epidermis** (■ Abb. 2.3), die **große Körperoberfläche** im Vergleich zum Körpervolumen mit daraus resultierender **hoher Perspiratio insensibilis** (Costarino u. Baumgart 1998), die **Unreife der Niere** [verminderte Konzentrationsfähigkeit (Spitzer 1978), dadurch größeres Urinvolumen; ■ Abb. 2.4] und der **höhere Energieumsatz/kgKG** bei (bis zu 3-mal so hoch wie beim Erwachsenen: Metabolisierung von 100 kcal benötigt ca. 100 ml Wasser).

Die Regulationsmechanismen des Wasser- und Elektrolythaushalts sind bei der **unreifen Niere** in ihrer Effektivität noch eingeschränkt. Neben der geringeren Konzentrationsfähigkeit (■ Abb. 2.4) sind auch die glomeruläre Filtrationsfähigkeit, die tubuläre Rückresorption und die H^+ -Ionen-Elimination im Vergleich zum Erwachsenen geringer (Aperia et al. 1981; Fawer et al. 1979).

➤ **Bei pädiatrischen Patienten müssen im Vergleich zu Erwachsenen ein größeres Flüssigkeitsvolumen/kgKG und ein höherer Flüssigkeitsumsatz/kgKG mit einem schwächeren Regulationsmechanismus kontrolliert werden (■ Abb. 2.1, ■ Abb. 2.2). Eine bedarfsnahe Zufuhr von Wasser und Elektrolyten ist notwendig, um die Körperhomöostase zu gewährleisten.**

Anpassung nach der Geburt

Mit der Geburt des Feten wird eine Reihe physiologischer Adaptationsmechanismen eingeleitet. Hierbei sind kurzfristige Veränderungen (Unterbrechung der placentaren Filterfunktion und Versorgung, Beginn insensibler Wasserverluste, eigenständige Thermoregulation) von langsamen Anpassungsvorgängen (autonome renale Regulation des Flüssigkeits- und Elektrolythaushalts, Beginn der oralen, selbstgesteuerten Aufnahme von Nahrung) abzugrenzen.

Die langfristigen Adaptationsvorgänge benötigen Zeit, um den schnellen Veränderungen nach Geburt entgegenzu-

Aus rechtlichen Gründen kann die Abbildung
in der elektronischen Version nicht gezeigt werden.

■ **Abb. 2.1 Wassergehalt und Verteilung auf die verschiedenen Körperkompartimente in Abhängigkeit von Lebensalter und Geschlecht.** (Aus Friis-Hansen 1961 mit freundl. Genehmigung)

steuern. Dieser Anpassungszeitraum kann in die 3 im Folgenden beschriebenen Abschnitte gegliedert werden.

Phase I/Anpassung: Die Phase direkt nach der Geburt beginnt mit einer relativen Oligurie (Modi 1988). Es folgt eine diuretische Phase, in der das Volumen der Kompartimente neu justiert wird [isotonische oder hypertonische (hypernatriämisch und hyperchlorämisch) Kontraktion; Dauer: Stunden bis Tage]. Auslöser sind die hohen insensiblen Wasserverluste über die unreife Haut in Verbindung mit der initialen Natriurese (wie in der Fetalperiode; Modi u. Hutton 1990). Das Ende der ersten Phase ist mit dem Erreichen des maximalen Gewichtsverlustes markiert.

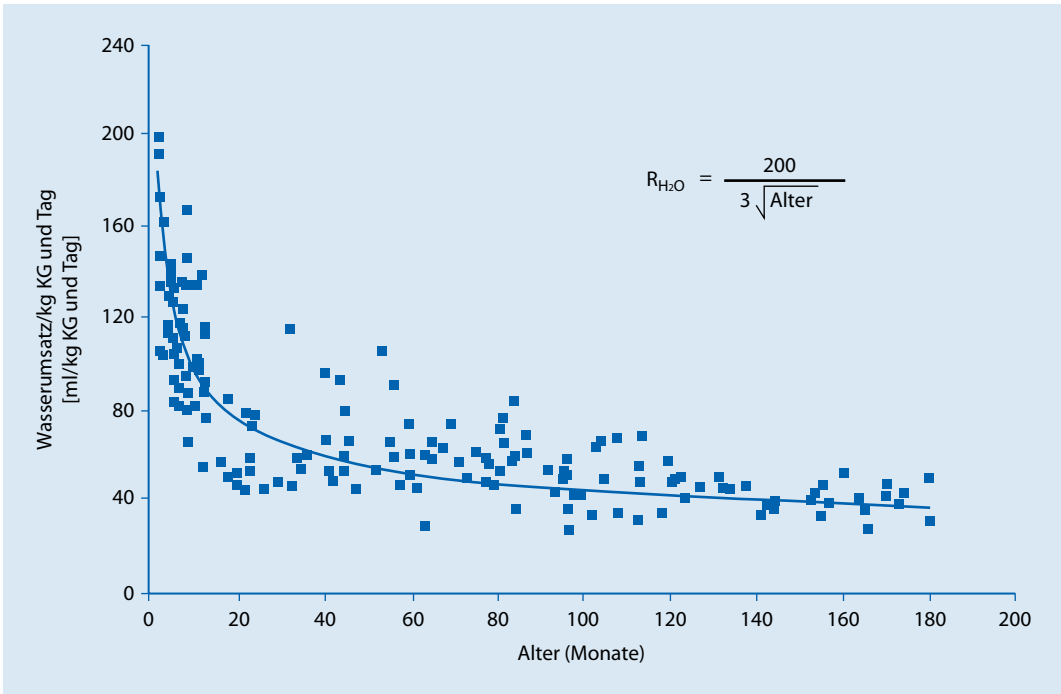
Phase II/Stabilisierung: Die Zwischenphase wird durch abnehmende insensible Wasserverluste (parallel zur zunehmenden Verhornung der Epidermis), eine Verminderung der renalen Ausscheidung auf weniger als 1–2 ml/kgKG und Stunde und eine niedrige Natriumausscheidung charakterisiert.

Phase III/stabiles Wachstum: Die Phase des stabilen Wachstums zeichnet sich durch eine kontinuierliche Ge-

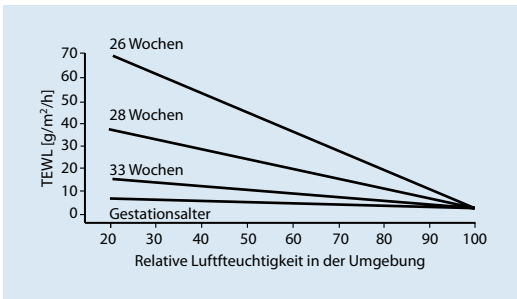
wichtszunahme in Verbindung mit einer positiven Nettobilanz für Stickstoff und Natrium aus.

2.3 Verteilungsräume der Körperflüssigkeit

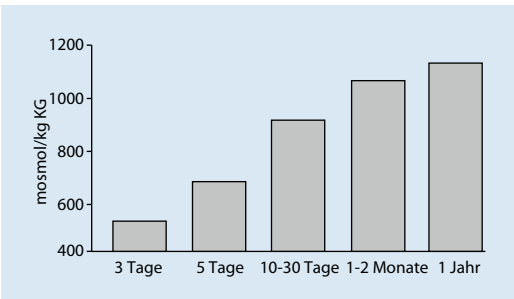
Wegen des unterschiedlichen physiologischen Verhaltens lässt sich der menschliche Körper in Bezug auf die Körperflüssigkeit in 2 virtuelle Kompartimente unterteilen: die **Fettmasse (FM)** und die **fettfreie Körpermasse** (»lean body mass«, **LBM**). Die FM hat wegen ihrer hydrophoben Eigenschaft einen im Vergleich zur LBM geringeren Wasseranteil. Der Hauptanteil der wasser- und energieabhängigen Stoffwechselvorgänge spielt sich in der LBM ab. Bei Frühgeborenen sind die Fettspeicher im Vergleich zu Reifgeborenen



■ Abb. 2.2 Wasserumsatz/kgKG und Tag in verschiedenen Lebensaltern. (Aus Fusch et al. 1993)



■ Abb. 2.3 Transdermaler Wasserverlust (»transepidermal water loss«, TEWL) bei Frühgeborenen verschiedener Reifegrade unter verschiedener Luftfeuchtigkeit. (Mod. nach Hammarlund u. Sedin 1979 mit freundl. Genehmigung)



■ Abb. 2.4 Entwicklung der Konzentrierungsfähigkeit der Neugeborenniere im ersten Lebensjahr. (Aus Polacek et al. 1965 mit freundl. Genehmigung)

klein. Dies führt zu einem höheren Anteil an LBM und Wasser (► Abschn. 2.1).

Unter klinisch-physiologisch praktischen Gesichtspunkten lässt sich der Wassergehalt realen, abgrenzbaren Räumen des menschlichen Körpers zuordnen, die eine besondere Physiologie aufweisen. So lassen sich voneinander abgrenzen:

- Intrazellularraum und
- Extrazellularraum.

Letzterer ist weiter zu unterteilen in:

- Intravasal- und
- Extravasalraum.

Flüssigkeiten in präformierten Höhlen (Pleuraerguss, Aszites, Urin in der Blase) werden als Flüssigkeit im **dritten Raum** bezeichnet.

Wie in ■ Abb. 2.1 zu erkennen, wird die Körperflüssigkeit altersabhängig auf die verschiedenen Kompartimente verteilt. Diese Verteilung ist nach

der Pubertät auch geschlechtsabhängig. Parallel zur Abnahme des Gesamtkörperwassergehaltes kommt es zu einer Flüssigkeitsabnahme im extrazellulären Kompartiment und zur gleichzeitigen Zunahme im intrazellulären Raum. Hieraus lässt sich ableiten, dass Neugeborene (Frühgeborene) über höhere Körperspeicher für Natrium, Chlorid und geringere Speicher für Kalium im Vergleich zu älteren pädiatrischen Patienten oder Erwachsenen verfügen (► Abschn. 2.6).

Während des Kleinkind- und Jugendalters kommt es zum Aufbau von Körpermasse, zu einer Erhöhung der FM und dadurch zu einer Verringerung des relativen Körperwassergehaltes. Mit Beginn der Pubertät sinkt wegen der Zunahme der FM bei Mädchen ihr relativer Wassergehalt/kgKG im Vergleich zu Jungen (■ Abb. 2.1).

2.4 Regulationsmechanismen

Der Wasserhaushalt wird bei Kindern durch eine Vielzahl von Mechanismen reguliert. Von diesen sind einige zunächst unreif, andere weisen spezielle altersassoziierte Einschränkungen ihrer Effektivität auf. Es ist wichtig, auch die Physiologie und die Einschränkungen der verschiedenen Regulationsmechanismen zu kennen, um kritische klinische Situationen einschätzen und beherrschen zu können.

■ Nieren

Die für die Filtration zur Verfügung stehende glomeruläre Oberfläche ist bei Früh- und Reifgeborenen im Vergleich zu älteren pädiatrischen Patienten kleiner (Knutson et al. 1978). Bei Reifgeborenen steigt die glomeruläre Filtrationsrate in der ersten Lebenswoche an (Aperia et al. 1979; Fawer et al. 1979; Guignard et al. 1976; Sertel u. Scopes 1973) und erreicht nach etwa 2 Lebensjahren Erwachsenenwerte (Andersson 1977; Spitzer 1978).

Die Unreife des distalen Nephrons reduziert die Konzentrationsfähigkeit (anatomisch kurze Henle-Schleife; Edelman u. Barnett 1960; Edelman et al. 1959; Speller u. Moffat 1977). Es kann eine maximale Urinkonzentrierung von bis zu 550 mosmol/l bei Früh-, 700 mosmol/l bei Reifgeborenen im Vergleich zu 1.200 mosmol/l bei Erwachsenen erreicht werden (Chevalier 1996; Rees et al. 1984). Wegen der geringeren Konzentrationsfähigkeit der Nieren ist bei Säuglingen und Kleinkindern ein größeres Urinvolumen zur Ausscheidung der harnpflichtigen Substanzen notwendig als bei älteren Kindern oder Erwachsenen. Neugeborene und Kleinkinder haben darum ein **erhöhtes Risiko eines Volumenverlustes mit dem Urin**,

wenn ein Missverhältnis zwischen der **Molenlast** und der Konzentrationsfähigkeit der Niere auftritt. Der distale Tubulus spricht zusätzlich weniger auf »arginine vasopressin« (AVP) an (Edelman u. Barnett 1960; Imbert-Teboul et al. 1984; Robillard u. Weitzman 1980; Robillard et al. 1979).

■ Hormonelle Faktoren

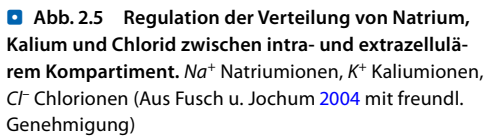
Renin-Angiotensin-Aldosteron-System (RAAS), und **Arginin (AVP)**, **Vasopressin (antidiuretisches Hormon, ADH)** sind bereits im frühen Gestationsalter reif. Über die Reife des Artrialen-natriuretischen-Peptid-(ANP-)Systems nach Frühgeburt ist wenig bekannt. Der limitierende Faktor für alle oben beschriebenen Regulationsmechanismen ist die Unreife der Nieren (Aperia et al. 1979; Haycock u. Aperia 1991).

2.5 Besonderheiten des Energie- und Nährstoffbedarfs

Der **Energie- und Nährstoffbedarf** von Kindern ist bezogen auf das Körpergewicht **höher als beim Erwachsenen**. Dies resultiert aus der vermehrten (Stoffwechsel-)aktivität und dem Körperwachstum (Bernardi et al. 2003), die auch zu einem höheren Bedarf an bestimmten Nahrungssubstraten führen (American Academy of Pediatrics 1977; Butte et al. 1991; Picaud et al. 1994; Putet et al. 1987). (Stoffwechsel-)aktivität und Wachstumsgeschwindigkeit nehmen vom Frühgeborenen, über das Reifgeborene, das Kleinkind, den Jugendlichen bis zum Erwachsenen ab. Dies entspricht dem Verlauf der Nährstoffbedarfskurve.

Neben den bekannten nutritiven Effekten gibt es zunehmende Evidenz für **langfristige Beeinflussung des Stoffwechsels** durch die Ernährung in der frühen Kindheit (»food programming«, ► Kap. 4; Lucas 1991; Metges 2001). Erste Untersuchungen deuten darauf hin, dass es sich bei der Neonatalperiode um eine Lebensphase mit besonderer Vulnerabilität für ernährungsbedingte Langzeiteffekte handeln könnte, wie sie in anderen Lebensphasen bei älteren Kindern und Erwachsenen nicht vorkommt.

So ist es bei Neonaten wichtiger eine bedarfsnähere Zufuhr von Nährstoffen sicherzustellen als bei älteren pädiatrischen Patienten oder Erwachsenen, da Langzeiteffekte (Programmierung) bei nichtangepasster Zufuhr nicht sicher ausgeschlossen werden können. Dieses betrifft neben der Quantität auch die Qualität der Nährstoffe. Wie beschrieben, ist der Nährstoffbedarf altersabhängig, und es stehen bei Kindern weniger effektive Regulationsmechanismen zur Wahrung der Körperhomöostase im Vergleich zu



2.6 Elektrolytfunktionen in Körperkompartimenten

Flüssigkeit im Vergleich zu Reifgeborenen und Erwachsenen erhöht (Friis-Hansen 1961). Grund dafür ist ein reduzierter intravaskulärer onkotischer Druck in Verbindung mit der erhöhten Permeabilität der Kapillaren. Dadurch ist der Flux von intravasal in das interstitielle Kompartiment und zurück erhöht. Unter pathologischen Bedingungen, wie z. B. einer Sepsis, kommt es zu einer weiteren Zunahme der Durchlässigkeit der Kapillaren (Jobe et al. 1985).

Die Regulation der Homöostase des extrazellulären Kompartiments erfolgt weitgehend über die renale Ausscheidung – und in geringerem Maße über die Anpassung der Aufnahme von Nährstoffen aus dem Gastrointestinaltrakt. Wie bei der Regulation des intrazellulären Kompartiments sind auch bei der Niere viele zentrale Regulationsprozesse autoregulatorisch sowie energie-, sauerstoff- und temperaturabhängig.

American Academy of Pediatrics, Committee on Nutrition (1977) Nutritional needs of low-birth-weight infants. *Pediatrics* 60: 519–530

Andersson B (1977) Regulation of body fluids. *Annu Rev Physiol* 39: 185–200

Aperia A, Broberger O, Herin P, Zetterstrom R (1979) Sodium excretion in relation to sodium intake and aldosterone excretion in newborn pre-term and full-term infants. *Acta Paediatr Scand* 68: 813–817

Aperia A, Broberger O, Elinder G, Herin P, Zetterstrom R (1981) Postnatal development of renal function in pre-term and full-term infants. *Acta Paediatr Scand* 70: 183–187

Bernardi JL, Goulart AL, Amancio OM (2003) Growth and energy and protein intake of preterm newborns in the first year of gestation-corrected age. *Sao Paulo Med J* 121: 5–8

Butte NF, Wong WW, Garza C et al. (1991) Energy requirements of breast-fed infants. *J Am Coll Nutr* 10: 190–195

Chevalier RL (1996) Developmental renal physiology of the low birth weight pre-term newborn. *J Urol* 156: 714–719

Costarino AT, Baumgart S (1998) Neonatal water and electrolyte metabolism. In: Cowett R (ed) *Principles of perinatal-neonatal metabolism*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 1045–1075

Edelmann CM, Barnett HL (1960) Role of kidney in water metabolism in young infants. *J Pediatr* 56: 154–179

Edelmann CM, Trompкок V, Barnett HL (1959) Renal concentrating ability in newborn infants. *Fed Proc* 18: 49–54

Fawer CL, Torrado A, Guignard JP (1979) Maturation of renal function in full-term and premature neonates. *Helv Paediatr Acta* 34: 11–21

Friis-Hansen B (1961) Body water compartments in children: changes during growth and related changes in body composition. *Pediatrics* 28: 169–174

- Fusch C, Jochum F (2004) Water, sodium, potassium, and chloride. In: Tsang RC, Lucas A, Uauy R, Zlotkin S (eds) Nutritional needs of the preterm infant. Williams & Wilkins, Baltimore
- Fusch C, Hungerland E, Scharrer B, Moeller H (1993) Water turnover of healthy children measured by deuterated water elimination. *Eur J Pediatr* 152: 110–114
- Guignard JP, Torrado A, Mazouni SM, Gautier E (1976) Renal function in respiratory distress syndrome. *J Pediatr* 88: 845–850
- Hammarlund K, Sedin G (1979) Transepidermal water loss in newborn infants. III. Relation to gestational age. *Acta Paediatr Scand* 68: 795–801
- Haycock GB, Aperia A (1991) Salt and the newborn kidney. *Pediatr Nephrol* 5: 65–70
- Imbert-Teboul M, Chabardes D, Clique A, Montegut M, Morel F (1984) Ontogenesis of hormone-dependent adenylate cyclase in isolated rat nephron segments. *Am J Physiol* 247: F316–325
- Jobe A, Jacobs H, Ikegami M, Berry D (1985) Lung protein leaks in ventilated lambs: effects of gestational age. *J Appl Physiol* 58: 1246–1251
- Knutson DW, Chieu F, Bennett CM, Glasscock RJ (1978) Estimation of relative glomerular capillary surface area in normal and hypertrophic rat kidneys. *Kidney Int* 14: 437–443
- Lucas A (1991) Programming by early nutrition in man. *Ciba Found Symp* 156: 38–50
- Metges CC (2001) Does dietary protein in early life affect the development of adiposity in mammals? *J Nutr* 131: 2062–2066
- Modi N (1988) Development of renal function. *Br Med Bull* 44: 935–956
- Modi N, Hutton JL (1990) The influence of postnatal respiratory adaptation on sodium handling in preterm neonates. *Early Hum Dev* 21: 11–20
- Picaud JC, Putet G, Rigo J, Salle BL, Senterre J (1994) Metabolic and energy balance in small- and appropriate-for-gestational-age, very low-birth-weight infants. *Acta Paediatr Suppl* 405: 54–59
- Polacek E, Vocel J, Neugebauerova L, Sebkova M, Vechetova E (1965) The osmotic concentrating ability in healthy infants and children. *Arch Dis Child* 40: 291–295
- Putet G, Senterre J, Rigo J, Salle B (1987) Energy balance and composition of body weight. *Biol Neonate* 52 [Suppl 1]: 17–24
- Rees L, Brook CG, Shaw JC, Forsling ML (1984) Hyponatraemia in the first week of life in preterm infants. Part I. Arginine vasopressin secretion. *Arch Dis Child* 59: 414–422
- Robillard JE, Weitzman RE (1980) Developmental aspects of the fetal renal response to exogenous arginine vasopressin. *Am J Physiol* 238: F407–414
- Robillard JE, Matson JR, Sessions C, Smith FG (1979) Developmental aspects of renal tubular reabsorption of water in the lamb fetus. *Pediatr Res* 13: 1172–1176
- Sertel H, Scopes J (1973) Rates of creatinine clearance in babies less than one week of age. *Arch Dis Child* 48: 717–720
- Speller AM, Moffat DB (1977) Tubulo-vascular relationships in the developing kidney. *J Anat* 123: 487–500
- Spitzer A (1978) Renal physiology and function development. In: Edelmann CM (ed) The kidney and urinary tract. Little Brown, Boston, pp 25–128
- Widdowson E (1981) Changes of body composition during growth. In: Davis J, Dobbing J (eds) Scientific foundations of paediatrics. Heinemann, London, pp 330–342

Ernährungsmedizin Pädiatrie

Infusionstherapie und Diätetik

Jochum, F. (Hrsg.)

2013, XXIX, 534 S. 62 Abb., 52 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-642-29816-5