

Eisenmangelanämie

Autoren:

Wolfgang Behnisch, Martina Muckenthaler und Andreas Kulozik

1. Definition

Die Eisenmangelanämie ist eine hyporegeneratorische, mikrozytäre und hypochrome Anämie mit erheblicher Anisozytose infolge einer Verminderung der Verfügbarkeit von Eisen für die Erythropoese. Die Anämie selbst ist definiert durch die Verminderung der Hämoglobinkonzentration im Blut unterhalb der Altersnorm (siehe Tabelle 1).

2. Basisinformation zum Eisenmetabolismus

Täglich werden im *steady state* von den 15-20 mg in der Nahrung enthaltenen Eisens 1-2 mg aufgenommen. In etwa gleicher Menge geht Eisen über abgeschilferte Epithelien oder kleinere Blutverluste etc. verloren. Während des Wachstums und in Kompensationsphasen einer Mangelsituation kann die Eisenaufnahme gesteigert werden. Der menschliche Körper eines Erwachsenen enthält Eisen (♂ 50 mg/kg, ♀ 38 mg/kg) hauptsächlich in Form von Hämoglobin (60 – 75 %), Myoglobin (30 %) und einer Reihe von Enzymen, die Eisen als Kofaktor benötigen (2 %) sowie an Ferritin gebundenes Depoteisen (10 – 25 %). Darüber hinaus hat der Organismus des Heranwachsenden einen höheren, alimentär zu befriedigenden Eisenbedarf.

Eisen ist in allen Nahrungsmitteln enthalten. Allerdings ist im Häm (z.B. in Fleisch) oder im Laktoferrin (in der Muttermilch) enthaltenes Eisen ca. 4-fach besser bioverfügbar als nicht in dieser Form gebundenes Eisen (Björn-Rasmussen E et al. 1974). Ein funktioneller Eisenmangel entwickelt sich beim sonst gesunden, zum Termin geborenen Säugling in der Regel erst im zweiten Lebenshalbjahr.

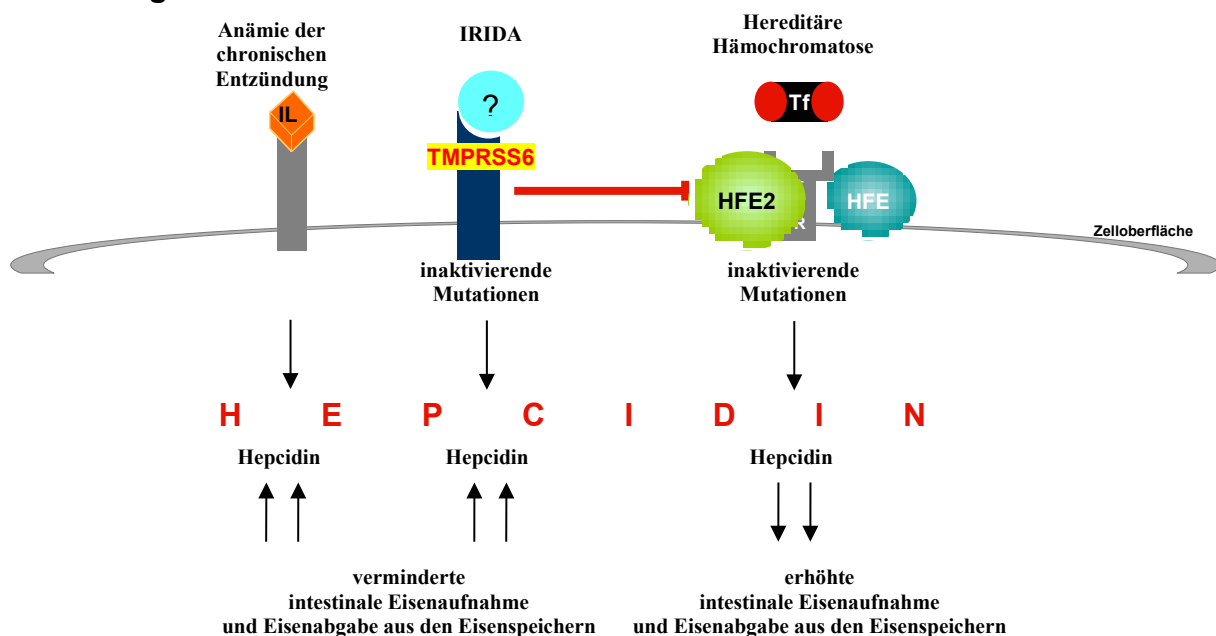
Die **Resorption von Eisen** erfolgt als zweiwertiges Eisen im Duodenum und im oberen Jejunum. Nur kleine Mengen werden in Magen, Ileum oder Colon resorbiert. Dabei werden dreiwertige Eisenionen zunächst über das in der apikalen Zellmembran lokalisierte duodenale Cytochrom B in zweiwertige Ionen reduziert und dann *via* DMT1 (*divalent metal transporter-1*) aufgenommen. Das Eisen im Häm aus tierischen Quellen ist liegt bereits als zweiwertiges Fe^{2+} vor und muss daher nicht reduziert werden. An der basalen Membran der Darmepithelzelle übernimmt das Membranprotein Ferroportin die Eisenionen und überträgt diese nach Oxidation von Fe^{2+} in Fe^{3+} durch Hephaestin auf das Plasmaprotein Transferrin. Eisenbeladene Transferrin wird über den Transferrinrezeptor-1 (TfR1) in Verbraucherzellen wie den erythroiden Vorläufern im Knochenmark aufgenommen. Dort erfolgt unter den sauren Bedingungen in den Endosomen zunächst eine Abspaltung des Eisens vom TfR1 und dann die Freisetzung in das Zytoplasma bzw. der Transport in die Mitochondrien zur Hämsynthese und auch zur Synthese von sogenannten Eisen – Schwefel - Clustern als Kofaktoren von Enzymen. Überschüssige Eisenionen werden an Ferritin gebunden

und so die Bildung von toxischen freien Radikalen und dadurch entstehender zellulärer oxidativer Stress limitiert.

Die **zelluläre Eisenhomöostase** (Aufnahme durch TfR1, Speicherung durch Ferritin und Utilisation durch das Schlüsselenzym der Häm biosynthese eALAS) wird abhängig vom Eisenstatus der Zelle auf der Ebene der mRNA Stabilität und der mRNA Translation durch das *iron-regulatory-protein* (IRP) und seine spezifische mRNA Bindungsstelle, das *iron-regulatory element* (IRE), reguliert (Muckenthaler et al. 2017).

Die **systemische Eisenhomöostase** wird auf der Ebene der intestinalen Resorption gewährleistet, wobei das in der Leber gebildete Peptidhormon Hepcidin die Schlüsselrolle spielt. Hepcidin ist ein inhibitorisches Protein der Eisenaufnahme und des Recyclings aus dem RES, indem es das Ferroportin abbaut und so den Eisentransport an der basalen Membran der intestinalen Zellen und an der Membran von Speicherzellen des RES hemmt. Konsekutiv wird die Beladung des Transferrins im Plasma bzw. die Verfügbarkeit von Eisen für die Verbraucherzellen limitiert. Die Expression von Hepcidin selbst wird eisenabhängig unter Mitwirkung der Proteine HFE, Transferrinrezeptor-2, Hemojuvelin und Tmprss6 gesteuert. Außerdem wird die Hepcidinsynthese durch IL-1 und IL-6 vermittelte inflammatorische Stimuli gesteigert, was dazu führt, dass sowohl die intestinale Eisenaufnahme als auch die Eisenabgabe aus den Eisenspeichergeweben vermindert wird. Dies ist für die Pathogenese der Anämie der chronischen Erkrankung (syn. Anämie der chronischen Entzündung) wesentlich (Hentze et al. 2010). Inaktivierende Mutationen in Tmprss6 verursachen die eisenrefraktäre Eisenmangelanämie (engl. IRIDA), die mit erhöhter Hepcidinsynthese und verminderter intestinaler Eisenaufnahme und Eisenabgabe aus den Eisenspeichergeweben einhergeht.

Abbildung 1



3. Ursachen des Eisenmangels

Bereits eine geringe Störung der Balance zwischen Absorption und Verlust kann zur Eisenmangelsituation führen. Global ist die Hauptursache des Eisenmangels die **Mangelernährung**. Aber auch unter guten wirtschaftlichen Bedingungen wie in Europa ist der Eisenmangel meist alimentär durch eine **Fehlernährung** mit eisenarmer Diät verursacht, so dass die Häufigkeit des Eisenmangels bei Kindern in Europa auf ca. 10-15% geschätzt wird (Aggett et al. 2002). Bei ausreichendem alimentären Eisenangebot kann einem Eisenmangel eine **verminderte duodenale Resorption** (z.B. bei Zöliakie), **chronischer Blutverlust** (z.B. bei Menorrhagie), eine **chronische entzündliche Erkrankung** (z.B. rheumatoide Arthritis, chronisch entzündliche Darmerkrankung) oder selten auch eine **genetische Ursache** einer eisenrefraktären Eisenmangelanämie (IRIDA für *iron-resistant iron deficiency anemia*) zu Grunde liegen (Ioalascon et al. 2009). Bei den Patienten mit eisenrefraktärer Eisenmangelanämie ist die Konzentration von Hepsidin im Urin normal bis deutlich erhöht – im Gegensatz dazu bei Patienten mit alimentär bedingtem Eisenmangel stark erniedrigt bzw. fehlend.

Im Einzelfall muss auch die sehr seltene idiopathische pulmonale Hämosiderose differentialdiagnostisch in Erwägung gezogen werden.

4. Leitsymptome

Kernsymptom der Anämie ist die **Blässe**. Außerdem können **Müdigkeit, Lern- und Konzentrationsschwächen** bestehen. Weitere anamnestische Hinweise für einen Eisenmangel können sein: **Frühgeburtlichkeit, Mangelernährung, Fehlernährung, chronische Blutverluste** (z.B. über Menstruation, Epistaxis, Gingivablutungen) oder bekannte **chronische Krankheiten** (Kulozik 2005). Bei den seltenen genetisch determinierten Formen kann auch die Familienanamnese positiv sein.

Bei der körperlichen Untersuchung können auffallen: **Mundwinkelrhagaden** (Perleché), **Haarausfall, Koilonychie** (beim Kind seltene löffelförmige Deformität von Finger- und Zehnnägeln bei schwerem chronischem Eisenmangel), **glatte atrophische Zunge**. Im Extremfall kann es auch zur Pica, einer Essstörung, bei der widerliche oder ungenießbare Substanzen gegessen werden, kommen.

Es gibt auch (kontroverse) Daten zum Auftreten **kognitiver Defizite** im Falle eines schweren Eisenmangels in der Fetalzeit oder in der frühen Säuglingsperiode (Aukett et al. 1986; Idjradinata et al. 1993, Aggett et al. 2002).

Eine alimentäre Eisenmangelanämie entwickelt sich bei Reifgeborenen meist jenseits des 6. – 12. Lebensmonats, bei Frühgeborenen auch eher (Aggett et al. 2002).

5. Labordiagnostik

Blutbild: Hb, MCH und MCV unter die Altersnorm vermindert; Retikulozytenzahl für das Ausmaß der Anämie inadäquat niedrig (siehe Tabelle 1); verbreiterte Verteilungskurve des Erythrozytenvolumens (Erythrozytenverteilungsbreite (EVb, syn. engl. RDW) über den im jeweiligen Labor ermittelten oberen Normalwert erhöht).

In vielen Fällen mit typischer und plausibler Anamnese für einen alimentären Eisenmangel und dazu passender Pathologie des Blutbildes bedarf es keiner weiteren Diagnostik.

Wenn eine Verlaufskontrolle des Blutbildes nach begonnener oraler Substitutionsbehandlung (siehe unten) die typische Dynamik (Retikulozytenkrise nach einer Woche, Hb – Anstieg) zeigt, ist die Diagnose eines alimentären Eisenmangels ohne größeren Zeitverzug belegt. Andernfalls muss insbesondere bei ausreichender Therapiecompliance eine weitergehende Diagnostik erfolgen (siehe unten).

Ferritin: Die Serumferritinkonzentration reflektiert semiquantitativ die intrazelluläre Ferritinkonzentration und somit die Füllung der Eisenspeicher. Beim Eisenmangel ist das Serumferritin unter die Altersnorm vermindert (Tabelle 1). Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass das Serumferritin bei chronischen Leberkrankheiten oder systemischen Entzündungsreaktionen erhöht sein kann und somit in diesen Situationen kein zuverlässiger Parameter für die Diagnostik eines Eisenmangels ist. In unklaren Situationen kann auch die Messung der Transferrinsättigung und des Zn-Protoporphyrins hilfreich sein.

Löslicher Transferrinrezeptor (sTfR): Die TfR-Expression wird abhängig vom zellulären Eisenstatus reguliert. Die Konzentration des löslichen Transferrinrezeptors reflektiert zusammen mit der Serumferritinkonzentration, unabhängig von Begleiterkrankungen wie z. B. Infekten, den Eisenstatus und ist beim Eisenmangel aber auch bei Erkrankungen mit gesteigerter Hämatopoese (z. B. auch bei hämolytischen Anämien) erhöht. Bei Patienten mit chronischen Leberkrankheiten oder systemischen Entzündungsreaktionen kann der lösliche Transferrinrezeptor daher ein wertvoller Parameter für die Diagnostik eines Eisenmangels sein. Die Normalwerte sind testabhängig.

Retikulozytenhämoglobin (Ret-Hb, CHr; Content Hemoglobin of reticulocytes): Dieser von modernen Zellzählautomaten direkt bestimmte Parameter reflektiert die Effizienz der Hämoglobinisierung von Erythrozyten und eine Verminderung <28 pg kann unabhängig von Begleiterkrankungen als früher Marker eines funktionellen Eisenmangels dienen.

Diagnostik nicht alimentärer Ursachen eines Eisenmangels: Die Feststellung einer Eisenmangelanämie ist *per se* noch keine ausreichende Diagnose. Bei fehlendem Beweis einer alimentären Ursache muss mit geeigneten Methoden nach Resorptionsstörungen (z. B. glutensensitive Enteropathie, chronisch entzündliche Darmerkrankungen und andere Malabsorptionssyndrome, auch *Helicobacter pylori* – Besiedelung des Magens), die Kompensationsfähigkeit übersteigenden Verluste (offene und okkulte chronische Blutverluste), chronischen entzündlichen Erkrankungen (mit einer Eisenverschiebung in das RHS) oder seltenen genetischen Ursachen gesucht werden.

6. Klassifikation

Latenter Eisenmangel: Speichereisen vermindert, aber noch ohne funktionelle Auswirkungen (Ferritin vermindert; Hb, MCV und MCH normal).

Klinisch manifester Eisenmangel mit vermindertem Gesamtkörpereisen: Keine ausreichenden Eisenspeicher für eine normale Erythropoese (Hb, MCV, Retikulozyten - Hb, Ferritin vermindert, sTfR erhöht)

Klinisch manifester Eisenmangel mit normalem oder erhöhtem Gesamtkörpereisen: Gefüllte Eisenspeicher, die wegen eines gestörten Recycling aus dem RHS für die Erythropoese jedoch nicht verfügbar sind (Hb, MCV und Retikulozyten - Hb erniedrigt, Ferritin normal oder erhöht, sTfR nicht erhöht, CRP erhöht)

7. Differentialdiagnose mikrozytärer Anämien:

- Heterozygote β -Thalassaemia minor (HbA₂ erhöht; RDW normal)
- α -Thalassaemia minor (RDW normal; molekulargenetischer Nachweis)
- weitere seltene Hämoglobinopathien (z. B. HbSC, HbCC, HbS- β -Thalassämie, thalassämische Hämoglobinopathie)
- Bleiintoxikation (in Deutschland selten; basophile Tüpfelung)
- Sideroblastische Anämien und hereditäre Störungen des Eisenmetabolismus (selten; differenzierte hämatologische Spezialdiagnostik inklusive Hepcidinmessung im Urin und molekulargenetischer Nachweis)
- Pyropoikilozytose

8. Therapie

Bei alimentärem Eisenmangel:

- **Ernährungsberatung**
- **Eisensubstitution medikamentös:** Präparate der Wahl sind Eisen (II) – Sulfat oder Eisen (II) - Fumarat. Wenn Eisen (II) – Präparate nicht vertragen werden, kann alternativ auch Eisen (III) – hydroxid - Polymaltose verwendet werden. Die Resorption kann von Eisenabsorption inhibierenden Substanzen im Chylus wie Phytate (Getreide, Nüsse, Hülsenfrüchte), Polyphenole (Gemüse, Tee, Hülsenfrüchte), Galactane und Calcium (Milch, Käse) gehemmt werden. Konventionell werden Dosierungen in einer Dosis von 2 – 6 mg/kg und d in 1 – (2) ED nüchtern, nicht in Milch, Tee oder Kaffee empfohlen. Allerdings führt die Eisengabe über einen Zeitraum von ca. 24 h zu einer Erhöhung der Hepcidin-Serumkonzentration und somit bei täglicher Gabe zu einer Reduktion der Resorption nachfolgender Dosen. Daher ist bei leichtem oder mäßigem Eisenmangel eine Dosierung an alternierenden Tagen empfohlen (Pasricha et al. 2020, Moretti et al. 2015, Stoffel et al. 2017). Bei schwerem Eisenmangel kann eine tägliche Gabe dennoch sinnvoll sein.
- **Überprüfung des therapeutischen Effektes:** Objektivierung der Retikulozytenkrise (nur bei schwerem Eisenmangel zu erwarten) 5 – 7 d nach Substitutionsbeginn sowie des erwarteten Hb-Anstieges von 1 – 2 g/dl pro Woche; Kontrolle des Serumferritins nach 3 Monaten.

- **Dauer der Eisensubstitution:** bei manifestem Eisenmangel für mindestens 3 Monate mit dem Ziel der Normalisierung von Hb und MCV sowie des Serumferritins als Maß für die Füllung der Eisenspeicher.

Die **parenterale Eisensubstitution** ist lediglich bei schweren und nicht behandelbaren Resorptionsstörungen indiziert, zum Beispiel mit

Eisencarboxymaltose. Auf Basis des ermittelten Eisenbedarfs wird Eisencarboxymaltose in geeigneten Dosen verabreicht. Eine Einzeldosis sollte folgende Werte nicht überschreiten

- 15 mg Eisen/kg und max. 1000 mg (Verabreichung als intravenöse Injektion) oder
- 20 mg Eisen/kg und max. 1000 mg (Verabreichung als intravenöse Infusion)

Bei symptomatischem Eisenmangel

- Behandlung der Grundkrankheit
- In Abhängigkeit von der Grundkrankheit ggf. zusätzliche orale oder parenterale Eisensubstitution.

9. Prophylaxe

- **Frühgeborene** (insbesondere mit Geburtsgewicht < 2500 g): 2 – 2,5 mg/kg und ab der 8. Lebenswoche bis zum 12. – 15. Lebensmonat. Eine frühere Eisensubstitution wird wegen der noch nicht ausgereiften intestinalen Regulation der Eisenaufnahme nicht empfohlen (Committee on Nutrition of the Preterm Infant, European Society of Paediatric Gastroenterology and Nutrition 1987; Collard 2009).

- **Schwangere:** Gewährleistung eines ausreichenden Eisenstatus bei Schwangeren mit Eisenmangel zur Vermeidung des Eisenmangels des Kindes (Bergmann et al. 2002; Murray-Kolb and Beard 2009).

- **Kinder mit normalem Eisenstatus:** Eine prophylaktische Eisengabe bei nicht frühgeborenen Kindern ist unnötig und sogar kontraindiziert, da dies nachteilige Effekte auf das Wachstum haben kann (Idjradinata et al. 1994).

Referenzen

Aggett PJ, Agostoni C, Axelsson I, Bresson JL, Goulet O, Hernell O, Koletzko B, Lafeber HL, Michaelsen KF, Micheli JL, Rigo J, Szajewska H, Weaver LT. Iron metabolism and requirements in early childhood: do we know enough?: a commentary by the ESPGHAN Committee on Nutrition. **Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition**. 2002; 34(4):337-45.

Bergmann RL, Gravens-Müller L, Hertwig K, Hinkel J, Andres B, Bergmann KE, Dudenhausen JW. Iron deficiency is prevalent in a sample of pregnant women at delivery in Germany. **European Journal of Obstetrics and Gynecology and Reproductive Biology**. 2002; 102(2):155-60.

Björn-Rasmussen E, Hallberg L, Isaksson B, Arvidson B. Food iron absorption in man. Applications of the two-pool extrinsic tag method to measure haem and non-haem iron absorption from the whole diet. **J Clin Invest**. 1974; 53: 247-255

Collard KJ. Iron homeostasis in the neonate. **Pediatrics**. 2009;123(4):1208-16.

Committee on Nutrition of the Preterm Infant, European Society of Paediatric Gastroenterology and Nutrition. Nutrition and feeding of preterm infants. **Acta Paediatrica Scandinavica** Suppl. 1987; 336:1-14

Idjradinata P, Pollitt E. Reversal of developmental delays in iron-deficient anaemic infants treated with iron. **Lancet**. 1993;341(8836):1-4.

Idjradinata P, Watkins WE, Pollitt E. Adverse effect of iron supplementation on weight gain of iron-replete young children. **Lancet**. 1994 May 21;343(8908):1252-4.

Iolascon A, De Falco L, Beaumont C. Molecular basis of inherited microcytic anemia due to defects in iron acquisition or heme synthesis. **Haematologica**. 2009;94(3):395-408.

Kulozik, A.E. Differentialdiagnostik der Anämie im Kindes- und Jugendalter. **Kinder- und Jugendarzt**. 2005; 36: 24-28.

Muckenthaler MU, Rivella S, Hentze MW, Galy B. A Red Carpet for Iron Metabolism. **Cell**. 2017;168(3):344–61.

Moretti D, Goede JS, Zeder C, Jiskra M, Chatzinakou V, Tjalsma H, Melse-Boonstra A, Brittenham G, Swinkels DW, Zimmermann MB. Oral iron

supplements increase hepcidin and decrease iron absorption from daily or twice-daily doses in iron-depleted young women. *Blood*. 2015; 126:1981-9.

Murray-Kolb LE, Beard JL. Iron deficiency and child and maternal health. **American Journal of Clinical Nutrition**. 2009; 89(3):946S-950S

Pasricha SR, Tye-Din J, Muckenthaler MU, Swinkels DW. Iron deficiency. *Lancet*. 2021; 397:233-248.

Stoffel NU, Cercamondi CI, Brittenham G, Zeder C, Geurts-Moespot AJ, Swinkels DW, Moretti D, Zimmermann MB. Iron absorption from oral iron supplements given on consecutive versus alternate days and as single morning doses versus twice-daily split dosing in iron-depleted women: two open-label, randomised controlled trials. *Lancet Haematol*. 2017 1): e524-e533

Thomas, Lothar; Thomas, Christian; Heimpel, Hermann. Neue Parameter zur Diagnostik von Eisenmangelzuständen: Retikulozytenhämoglobin und löslicher Transferrinrezeptor. **Deutsches Ärzteblatt** 2005; 102; A-580 / B-488 / C-455

Tabelle 1: Alterabhängige Normalbereiche (Mittelwert \pm 2SD) des Blutbildes und der Serumferritinkonzentration

Alter	Hb	MCH (hbE)	MCV	MCHC	Reti	Ferritin
	g/dl	pg	fl	g/dl	‰	pg/l
1. LT	15,2-23,5	33-41	108	33-41	30-70	30-276
3. LT	15-24	33-41	99	29-41	10-30	
7. LT	15-24	27-39	98	33-38	0-10	
2. Wo.	12,7-18,7	26-38	96	33	0-10	90-628
4. Wo.	10,3-17,9	29-32,5	91-101,3	28,1-31,8	4-15	144-399
2. Mo.	9,2-15	27-30,4	84-94,8	28,3-31,8	4-15	87-430
4. Mo	10,3-12,2	25-28,6	76-86,7	28,8-32,7	4-15	37-223
6. Mo.	11,1-12,6	24-26,8	68-76,3	32,7-35	4-15	19-142
9. Mo.	11,4-12,7	25-27,3	70-77,7	32,4-34,9	4-15	14-103
1. J.	11,3-12,7	24-26,8	71-77,7	32,1-34,3	4-15	1-99
2.-6- J.	11,5-12,5	24-27	75-81	31-34	4-15	7-142
7.-12. J	11,5-13,5	25-29	77-86	31-34	4-15	7-142

13.-18. J. ♂	13-14,5	25-30	78-88	31-34	4-15	35-217
13.-18- J. ♀	12-14	25-30	78-90	31-34	4-15	23-110

Aus: Nathan and Oski's Hematology of Infancy and Childhood. Saunders. 6th edition 2003 und L. Thomas; Labor und Diagnose. Medizinische Verlagsgesellschaft Marburg. 4. Auflage. 1992

Abkürzungsverzeichnis

CrP	C reaktives Protein
ED	Einzeldosis
DMT 1	divalent metal transporter-1
eALAS	erythroide Form der Aminolävulinsäuresynthetase
HFE	High Iron <i>Fe</i> (Human hemochromatosis protein HFE protein)
IRE	iron regulatory element
IRIDA	iron- resistant iron deficiency anemia
IRP	iron regulatory protein
RDW	red blood cell distribution width
RES	retikuloendotheliales System
sTfR	solubler Transferrinrezeptor
TfR 1	Transferrinrezeptor 1
TMPRSS6	Transmembrane protease serine 6

Verfahren zur Konsensfindung

Informeller Konsensus. Im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Kinderheilkunde und Jugendmedizin erstellt durch die Gesellschaft für Pädiatrische Onkologie und Hämatologie (GPOH) und der Deutschen Gesellschaft für Hämatologie und Onkologie (DGHO).

Federführende Autoren

Wolfgang Behnisch, Martina Muckenthaler und Andreas Kulozik
Klinik für Pädiatrische Onkologie, Hämatologie und Immunologie
Zentrum für Kinder- und Jugendmedizin
Angelika Lautenschläger Klinik
Universität Heidelberg

Mitglieder der Expertengruppe

W. Behnisch (Heidelberg) (GPOH), S. Eber (München)* (GPOH, DGKJ), L. Oevermann (Berlin) (GPOH, DGKJ), O. Andres (Würzburg) (GPOH, DGKJ), H. Cario (Ulm) (GPOH, DGKJ), N. Gattermann (Düsseldorf)** (DGHO), M. Muckenthaler (Heidelberg) (GPOH), A. Kulozik (Heidelberg) (GPOH, DGKJ), A. Pekrun (Bremen) (GPOH, DGKJ), D. Reinhardt (Essen) (GPOH, DGKJ)

*niedergelassener Kinderarzt

** Vertreter der internistischen Hämatologie

Die Vorstände aller beteiligten Fachgesellschaften haben der Leitlinie in der vorliegenden Fassung zugestimmt.

Beratende wissenschaftliche medizinische Fachgesellschaften

DGKJ - Deutsche Gesellschaft für Kinderheilkunde und Jugendmedizin