

EKG-Interpretation bei Kindern

Ein Leitfaden für die Evaluation altersspezifischer Befunde

Die Auswertung des EKG im Kindesalter entspricht im Wesentlichen der Auswertung eines EKG im Erwachsenenalter. Bei Kindern weist das EKG jedoch einige Besonderheiten auf, die für das Kindesalter völlig normal sind, während sie im Erwachsenenalter eine hochgradige Pathologie darstellen könnten. Um bei der Auswertung eines EKG keine wichtigen Befunde zu verpassen, empfiehlt sich ein systematisches Vorgehen, welches in diesem Beitrag vorgestellt wird.

Von Daniela Wütz, Barbara Schätzle und Christian Balmer

So ist zum Beispiel eine negative T-Welle in der Brustwandableitung V1 in der Kindheit bis ins Jugendalter normal, während es bei Erwachsenen als Hinweis auf eine Ischämie gewertet werden kann. Durch das unterschiedliche Krankheitsspektrum im Kindesalter ändert sich auch der Fokus bei der EKG-Interpretation. So hat zum Beispiel die Erkennung einer rechtsventrikulären Hypertrophie im Kindesalter im Rahmen der Diagnostik von angeborenen Herzfehlern einen hohen Stellenwert, während die Ischämiediagnostik eine seltenere Fragestellung ist. Im folgenden Text möchten wir systematisch eine EKG-Beurteilung diskutieren, wie sie im klinischen Alltag in einer kinder- oder allgemeinärztlichen Praxis durchgeführt werden könnte, und dabei auf die typischen altersspezifischen Veränderungen hinweisen.

Um bei der Auswertung eines EKG keine wichtigen Befunde zu verpassen, empfiehlt sich ein systematisches Vorgehen. Hierbei kann folgendes Raster herangezogen werden:

1. Rhythmus
2. Herzfrequenz
3. Lagetyp
4. Zeitintervalle (PQ, QRS, QT)
5. Hypertrophiezeichen
6. Repolarisation (ST, T, U).

Rhythmus

Folgende Fragen müssen beantwortet werden: Ist der Rhythmus regelmässig? Wo wird der vorliegende Rhythmus gebildet?

Wie im Erwachsenenalter erkennt man den Sinusrhythmus auch bei Kindern daran, dass jedem QRS-Komplex eine P-Welle vorausgeht und dass die frontale Achse der P-Welle zwischen 0 und 90 Grad liegt. P ist demnach positiv in I, II und aVF. Im Kindes- und Jugendalter liegt häufig eine respiratorische Sinusar-

rhythmie vor. Eine Sinusarrhythmie imponiert im EKG als ein unregelmässiger Sinusrhythmus mit phasenweise schnellerer und phasenweise langsamerer Frequenz. Diese Pulsschwankungen sind atemabhängig. Bei der Inspiration kommt es zu einer stärkeren Füllung des Herzens. Diese bewirkt einen reflektorischen Anstieg der Herzfrequenz. Bei der Expiration gilt das Gegenteil. Was man bei einem Erwachsenen-EKG als pathologische Arrhythmie werten würde, ist im Kindes- und Jugendalter ein normales Phänomen.

Im Kindesalter kann es zu einem kurzzeitigen Wechsel des Schrittmachers kommen. Man spricht dann von einem «wandernden Schrittmacher». Dies bedeutet, dass die Erregungsleitung nicht immer vom Sinusrhythmus ausgeht, sondern wechselweise von anderen, sogenannten ektopten Fokussen. Konkret zeigt sich im EKG dann ein Wechsel der Achse der P-Welle, das heisst, diese kann einmal positiv, einmal negativ sein. Dies ist im Kindesalter normal und kann häufig im Langzeit-EKG beobachtet werden.

Intermittierend kann es sein, dass die Erregungsleitung für kurze Zeit, manchmal nur einige wenige Schläge, vom AV-Knoten ausgeht. Man spricht dann von einem junktionalen Rhythmus, welcher bei Kindern gelegentlich als Normalbefund, vor allem im Schlaf, vorkommen kann. Im EKG geht dann dem QRS-Komplex keine P-Welle voran.

Extrasystolen sind vorzeitig einfallende Herzaktionen. Sie sind ein häufiger Grund für einen unregelmässigen Rhythmus bei Kindern. Supraventrikuläre Extrasystolen treten häufig bei Neugeborenen auf und können spontan verschwinden. Bei supraventrikulären Extrasystolen ist der QRS-Komplex schmal, und häufig ist das vorangehende P erkennbar, während bei ventrikulären Extrasystolen typischerweise der QRS-Komplex verbreitert ist und ein vorangehendes P fehlt.

Es gibt Besonderheiten, die bei Erwachsenen pathologisch wären, für Kinder aber völlig normal sind.

Herzfrequenz

Die Herzfrequenz ist altersabhängig. Je älter die Kinder werden, umso langsamer wird die Herzfrequenz. Nach korrekter Ermittlung der Herzfrequenz müssen daher die altersentsprechenden Normwerte konsultiert werden.

Vereinfacht ausgedrückt, liegt die normale Herzfrequenz beim wachen ruhigen Kind im Alter von 0 bis 3 Monaten bei 140, mit 3 Monaten bis 2 Jahren bei 130, mit 2 bis 10 Jahren bei 80 und über 10 Jahre bei 75 Schlägen pro Minute (Abbildung 1).

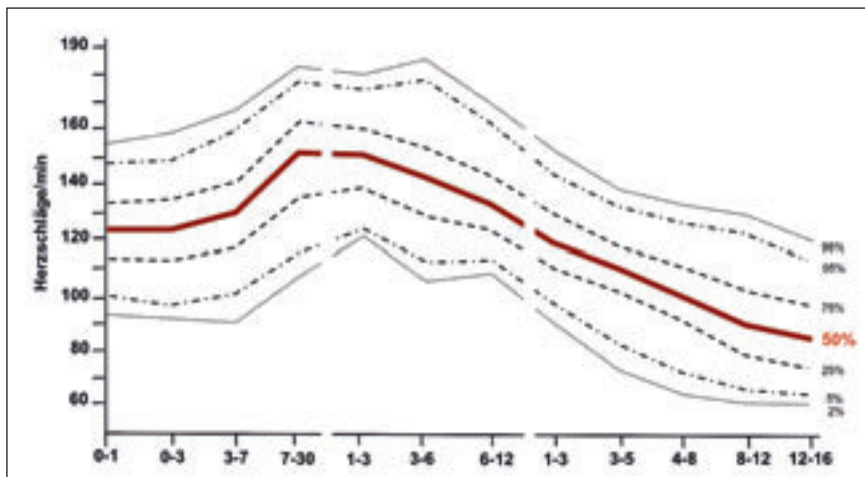


Abbildung 1: Normwerte der Herzfrequenz im Ruhe-EKG.

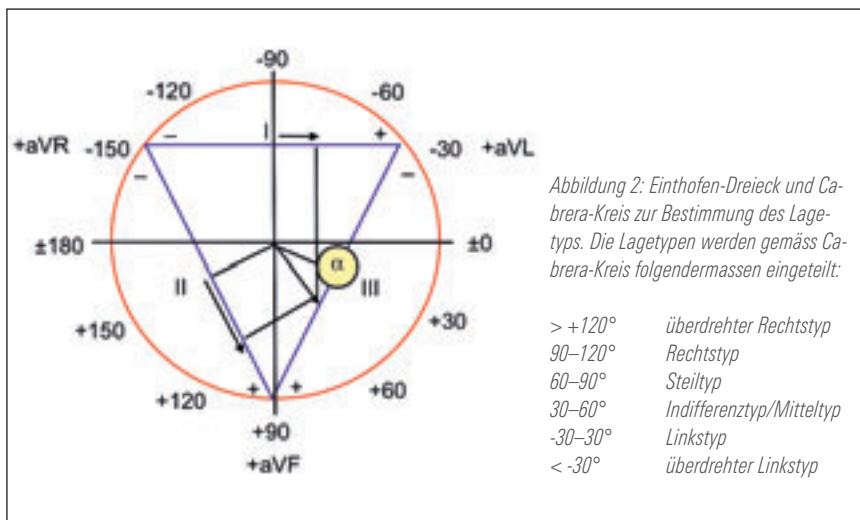


Abbildung 2: Einthoven-Dreieck und Cabrera-Kreis zur Bestimmung des Lagetyps. Die Lagetypen werden gemäss Cabrera-Kreis folgendermassen eingeteilt:

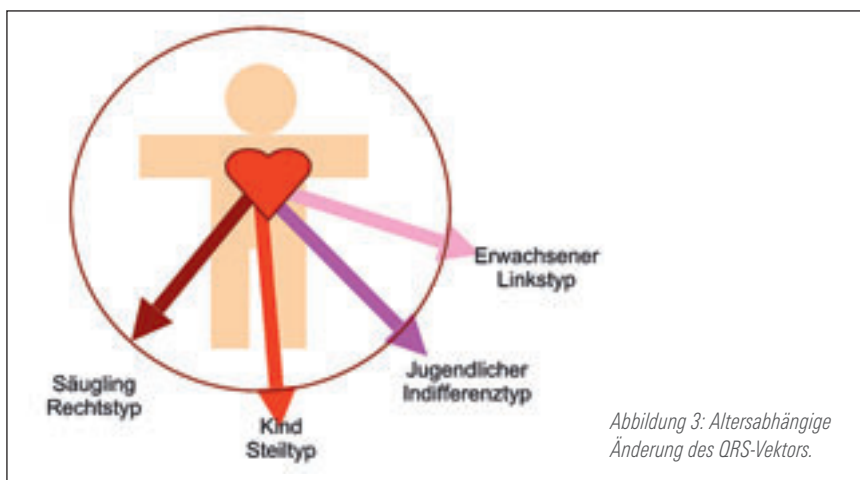


Abbildung 3: Altersabhängige Änderung des QRS-Vektors.

Die Herzfrequenz kann mithilfe eines EKG-Lineals bestimmt werden. Für eine ungefähre Schätzung genügt es auch, die Anzahl der grossen Kästchen (5 mm) zwischen zwei aufeinanderfolgenden QRS-Komplexen zu zählen. Bei einer Papierlaufgeschwindigkeit von 25 mm/s errechnet sich die Herzfrequenz aus 300 geteilt durch die Anzahl Kästchen.

Lagetyp

Der Lagetyp entspricht dem elektrischen Hauptvektor der Ventrikel und kann anhand der QRS-Komplexe der Extremitätenableitungen mithilfe des Cabrera-Kreises abgeschätzt werden. Hierfür wird zunächst die Nettoamplitude der QRS-Komplexe ermittelt, das heisst, die negativen Amplitudenanteile werden von den positiven abgezogen. Die beiden grössten Nettoamplituden werden im Einthoven-Dreieck eingetragen. Von der Spitze dieser Amplituden wird das Lot gefällt. Die Kreuzung dieser Lotlinien entspricht der Spitze des Hauptvektors, der seinen Ursprung in der Kreismitte hat (Abbildung 2).

Zudem gibt es den Sagittaltyp, bei dem die Herzachse senkrecht zur Frontalebene zeigt, das heisst, die Herzspitze zeigt nach anterior beziehungsweise posterior. Er wird auch als SI-SII-SIII- beziehungsweise QI-QII-QIII-Typ bezeichnet, da er in allen Extremitätenableitungen einen niedrigamplitudigen QRS-Komplex mit erst positiven, dann negativen Ausschlägen aufweist. Er kann vorkommen bei Thoraxdeformität oder Rechtsherzbelastung.

Der normale Lagetyp bleibt während des Kindesalters nicht konstant, sondern wandert von rechts nach links, je älter die Kinder werden. Dies widerspiegelt die Entwicklung der rechts- und linksventrikulären Muskelmasse mit dem Wachstum: Bei Geburt besteht aufgrund der intrauterinen Druckverhältnisse eine physiologische rechtsventrikuläre Hypertrophie. Durch Rückgang der physiologischen pulmonalen Hypertonie wird der rechte Ventrikel postnatal entlastet, und die relative Muskelmasse des rechten Ventrikels geht zurück. Am Ende des ersten Lebensmonats ist die linke Kammer bereits grösser als die rechte. Das Verhältnis von linker zu rechter Kammer liegt im Alter von 6 Monaten bei zirka 2:1. Danach steigt dieses Verhältnis bis zum Jugendalter nur noch langsam an, bis 2,5:1. Im EKG sind diese anatomischen Veränderungen sichtbar. Beim Neugeborenen ist deshalb als Zeichen der rechtsventrikulären Dominanz ein Rechtstyp normal. Bei Kindern über 3 Jahren entspricht der Lagetyp in der Regel dem der Erwachsenen (Abbildung 3).

Abnorme Lagetypen weisen auf eine Hypertrophie oder Dilatation des entsprechenden Ventrikels hin. Sie können aber auch auf eine anatomische Abnormität hinweisen, wie zum Beispiel der überdrehte Linkstyp oder überdrehte Rechtstyp bei AV-Septumdefekt. Der für den Erwachsenen normale Linkstyp deutet bei Kindern auf eine Linksbelastung hin.

Zeitintervalle

Genau wie bei der Herzfrequenz findet sich auch bei den Zeitintervallen im EKG eine Altersabhängigkeit. Auch hier müssen vor der entsprechenden Diagnose

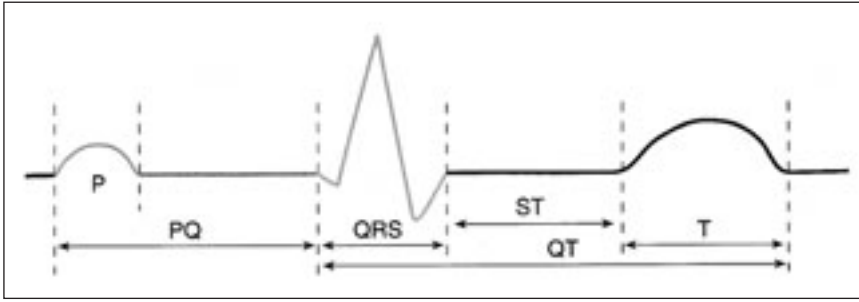


Abbildung 4: Die wichtigsten Zeitintervalle bei der Interpretation pädiatrischer EKG sind die PQ-Dauer, die QRS-Dauer und die QT-Dauer.

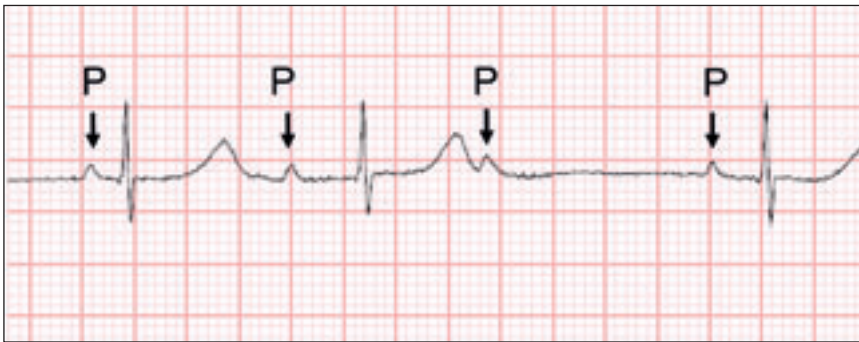


Abbildung 5: AV-Block II Typ Wenckebach: progressive Verlängerung der PQ-Dauer und schliesslich Ausfall eines QRS-Komplexes.



Abbildung 6: Wolff-Parkinson-White-Syndrom (WPW): Nach der P-Welle direkt schräger Anstieg zum QRS-Komplex (Delta-Welle) infolge Präexzitation. Es resultiert eine PQ-Verkürzung.

die Normwerte konsultiert werden. Das Ausmessen der Zeitintervalle wird in Ableitung II vorgenommen (Abbildung 4).

PQ-Dauer

Während der PQ-Dauer breitet sich die Erregung über die Vorhöfe aus, und es findet die Überleitung von den Vorhöfen über den AV-Knoten und das His-Purkinje-System auf die Kammer statt. Die PQ-Zeit endet mit dem Beginn der Erregungsausbreitung in den Kammern. Die PQ-Dauer ist abhängig von der Herzfrequenz und vom Alter: Je höher die Herzfrequenz, desto kürzer die PQ-Dauer, und je älter das Kind, desto länger die PQ-Dauer. Als grobe Richtlinie sollte eine PQ-Dauer bei einem Säugling unter 140, bei einem Schulkind unter 170 und bei einem Jugendlichen unter 190 ms liegen.

- Eine konstante Verlängerung der PQ-Dauer wird als AV-Block Grad I bezeichnet.
- Als AV-Block II Typ Wenckebach wird eine progressive Verlängerung der PQ-Dauer, schliesslich mit Ausfall eines QRS-Komplexes, bezeichnet. Pathophysiologisch handelt es sich um einen Block im AV-Knoten (Abbildung 5).
- AV-Block I und AV-Block II Typ Wenckebach können im Kindesalter normal sein und werden häufig zufällig im Langzeit-EKG bei Überwiegen des Parasympathikus (Schlaf, trainierte Sportler) beobachtet. Angeborene Herzfehler sind die häufigste organische Ursache für AV-Blockierungen im Kindesalter.
- Beim AV-Block II Typ Mobitz kommt es nach konstanten PQ-Intervallen zu einem Ausfall eines QRS-Komplexes. Dies wird als eine höhergradige AV-Blockierung bezeichnet. Der Ort der Blockierung liegt distal des His-Bündels (infratriessär). Der AV-

Block II Typ Mobitz ist pathologisch und kann in einen kompletten AV-Block übergehen.

- Eine zu kurze PQ-Zeit kann auf eine Präexzitation hinweisen (Abbildung 6).

QRS-Dauer

Der QRS-Komplex repräsentiert die Erregungsausbreitung über die Kammern. Der erste negative Ausschlag wird als Q-Zacke bezeichnet, der erste positive Ausschlag als R-Zacke und die darauf folgende negative Zacke als S-Zacke. Die Dauer des QRS-Komplexes ist altersabhängig und steigt mit zunehmendem Alter an. Als vereinfachte Regel gilt: Bei Säuglingen sollte der QRS-Komplex unter 70, bei Schulkindern unter 90 und bei Jugendlichen unter 100 ms liegen.

Die häufigsten Ursachen einer verlängerten QRS-Dauer sind: Präexzitation, Schenkelblockbilder (insbesondere nach Herzoperationen), Ventrikelhypertrophie und ventrikulärer Rhythmus/Extrasystolen. Eine Verlängerung der QRS-Dauer nach Operation einer Fallot-Tetralogie kann ein prognostisch schlechtes Zeichen bezüglich der Entstehung ventrikulärer Arrhythmien sein (5). Unter Therapie mit Propafenon kann der proarrhythmische Effekt an der QRS-Verlängerung erkannt werden.

QT-Intervall

Während des QT-Intervalls findet die ventrikuläre De- (QRS-Komplex) und Repolarisation (T-Welle) statt. Das QT-Intervall ist vor allem von der Herzfrequenz abhängig. Zum Vergleich wird daher nach folgender Formel die frequenzkorrigierte QT-Dauer (QTc) bestimmt:

$$QTc = QT / \sqrt{RR}$$

QTc = frequenzkorrigierte QT-Dauer (s)

QT = QT-Dauer in Ableitung II gemessen (s)

RR = dem QT vorausgehendes RR-Intervall (s).

Als Normwerte im Alter von 1 bis 15 Jahren gelten:

- normal: < 0,44 Sekunden
- grenzwertig: 0,44 bis 0,46 Sekunden
- verlängert: > 0,46 Sekunden.

Bei kleinen Kindern gilt auch eine verlängerte QTc-Zeit noch als normal: in der ersten Lebenswoche bis 0,47 Sekunden, in der frühen Kindheit bis 0,45 Sekunden. Die exakte Messung der QT-Zeit ist wichtig, um das Long-QT-Syndrom und auch das sehr viel seltenere Short-QT-Syndrom zu detektieren. Beide Erkrankungen sind assoziiert mit schweren ventrikulären Arrhythmien und plötzlichem Herztod.

Grenzwertige QTc-Verlängerung ohne weitere EKG-Veränderungen, ohne klinische Symptome und ohne positive Familienanamnese repräsentieren meist den obersten Normbereich der Normalpopulation. Gibt es jedoch eine entsprechende Anamnese mit Synkopen, plötzlichem frühem Herztod in der Familie oder der Einnahme von QTc-verlängernden Medikamenten, sollte eine weitere kardiologische Abklärung erfolgen.

Hypertrophiezeichen

Die Diagnose der Ventrikelhypertrophie anhand des EKG ist von Bedeutung zur Identifizierung angeborener Herzfehler sowie zur Objektivierung von deren Hämodynamik, und sie ist eine wichtige Ergänzung zu den echokardiografischen Befunden. Die EKG-Verän-

derungen der Rechtshypertrophie sind im klinischen Alltag relevanter und auch sensitiver als die der Linkshypertrophie.

Zur Beurteilung, ob eine Hypertrophie eines Ventrikels vorliegt, eignen sich die Brustwandableitungen. Im Gegensatz zum Erwachsenen-EKG, bei dem man sich nach dem Sokolow-Lyon-Index richten kann, gelten im Kindesalter altersabhängige Normwerte. Obwohl für sämtliche Brustwandableitungen Normwerte existieren, empfiehlt es sich im klinischen Alltag, sich auf die Ableitungen V1 (rechtspräkordial) und V6 (linkspräkordial) zu beschränken. Hier werden die R- und die S-Zacken ausgemessen. Ein zu hoher Wert für R in V1 beziehungsweise S in V6 spricht für eine Rechtshypertrophie. Ein zu hohes R in V6 beziehungsweise zu tiefes S in V1 spricht für eine Linkshypertrophie. Druckbelastung oder Volumenbelastung führen zu unterschiedlichen EKG-Veränderungen:

Rechtshypertrophie

Widerstandshypertrophie: Eine Verdickung des rechtsventrikulären Myokards, wie sie zum Beispiel bei Pulmonalstenosen oder bei der Fallot-Tetralogie gesehen wird, führt im EKG zu einer QRS-Rechtslage, hohen R-Zacken rechtspräkordial (V1, V2) und tiefen S-Zacken linkspräkordial (V5, V6) sowie positiven T-Wellen in V1 (Abbildung 7).

Volumenhypertrophie: Eine Vergrößerung des rechten Ventrikels aufgrund einer Volumenbelastung, wie zum Beispiel bei einem grossen Vorhofseptumdefekt, führt im EKG zu einem inkompletten Rechtsschenkelblock, weniger hohen R-Zacken links präkordial als bei der Widerstandshypertrophie, plumpen, mässigen S-Zacken linkspräkordial und Ausdehnung der negativen T-Wellen nach links präkordial (Abbildung 8).

Linkshypertrophie

Widerstandshypertrophie: Die linksventrikuläre Myokardverdickung, wie sie zum Beispiel bei der Aortenstenose oder bei der hypertrophen Kardiomyopathie gesehen wird, führt im EKG zu hohen schlanken R-Zacken links präkordial (V5, V6) bei tiefen S-Zacken rechts präkordial (V1, V2). Bei ausgeprägter Druckbelastung kommt es zu einem Verzerrungsmuster (strain pattern): konvexbogige ST-Senkung mit T-Inversion inferior und links präkordial, Q-Zacken links präkordial.

Volumenhypertrophie: Die Vergrößerung des linken Ventrikels durch Volumenbelastung, zum Beispiel infolge eines grossen Ventrikelseptumdefekts, führt im EKG zu überhöhten R-Zacken in V6 und tiefen S-Zacken in V1 sowie zu einer verlängerten QR-Zeit linkspräkordial mit Verspätung des oberen Umschlagpunktes. Ausserdem finden sich tiefe, verbreiterte Q-Zacken inferior und linkspräkordial.

Repolarisation

ST-Strecke

Die ST-Strecke repräsentiert die Zeit zwischen der ventrikulären Depolarisation (QRS-Komplex) und der T-Welle. Eine normale ST-Strecke ist horizontal und isoelektrisch. Als Referenzpunkt, ob die ST-Strecke isoelektrisch ist oder nicht, gilt die isoelektrische Linie vor der P-Welle. Kleinere Abweichungen sind häufig

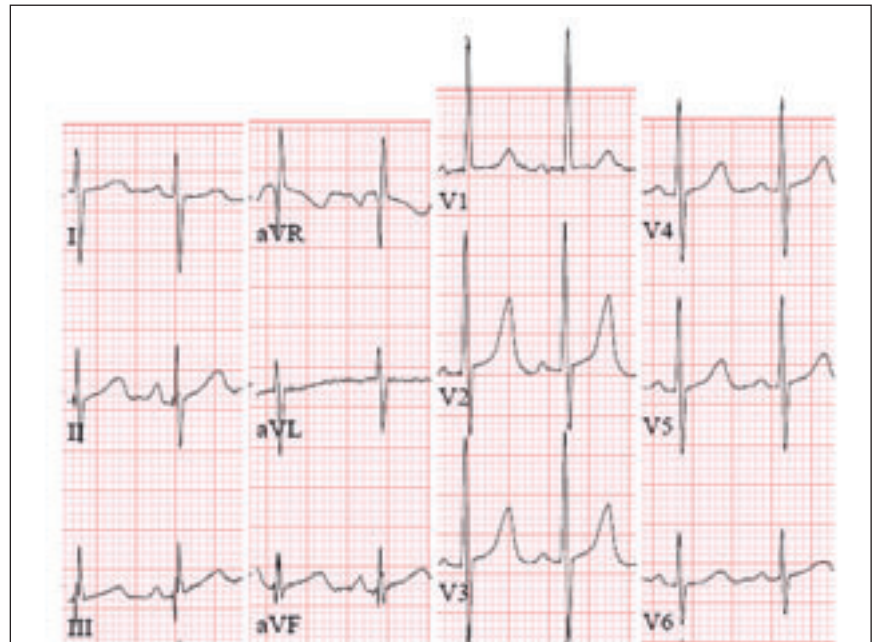


Abbildung 7: 3 Monate alter Patient mit rechtsventrikulärer Widerstandshypertrophie bei Fallot-Tetralogie: QRS-Rechtslage, hohe R-Zacken in V1 bis V3, tiefe S-Zacken in V4 bis V6 und positive T-Wellen in V1.

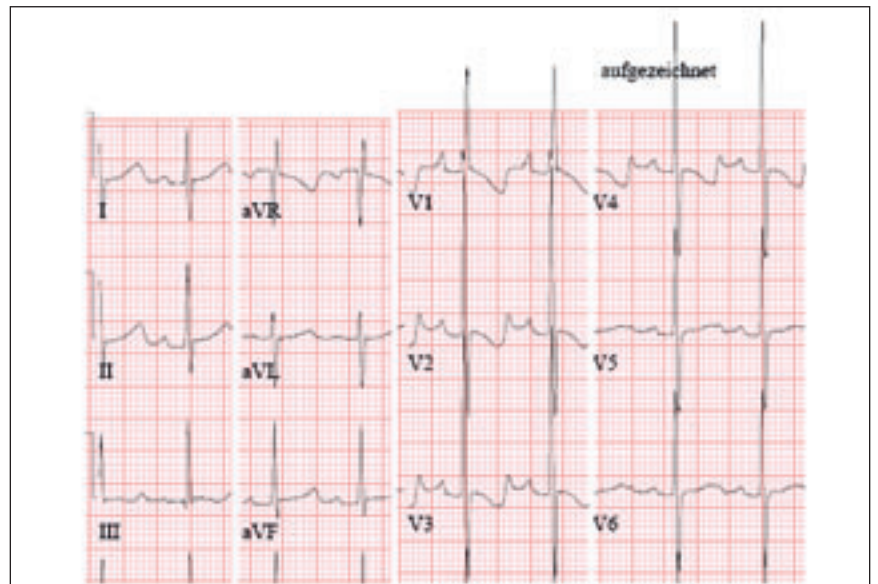


Abbildung 8: 15 Monate alter Patient mit rechtsventrikulärer Volumenhypertrophie bei grossem Vorhofseptumdefekt vom Secundum-Typ: Steiltyp, inkompletter Rechtsschenkelblock, hohe R-Zacken in V1 und V2, tiefe S-Zacken in V5 und V6. Ausdehnung der negativen T-Wellen nach links präkordial (hier bis V4).

bei gesunden Kindern. ST-Hebungen oder ST-Senkungen mit einer Abweichung bis zu 1 mm sind noch normal.

Die Perikarditis und die Myokarditis sind die häufigsten Ursachen für pathologische ST-Veränderungen, während Myokardischämien im Kindesalter selten sind.

Die «frühe Repolarisation» kann als Normalbefund bei Adoleszenten beobachtet werden. Charakteristisch ist eine Anhebung des J-Punkts bis maximal 0,4 mV in den Brustwandableitungen, vor allem V3 und V4 mit ST-Hebung (siehe Pfeil in Abbildung 9). Alle Ableitungen mit einer positiven T-Welle zeigen eine Hebung der ST-Strecke, und alle Ableitungen mit einer negativen T-Welle zeigen eine Senkung der ST-Strecke. Die

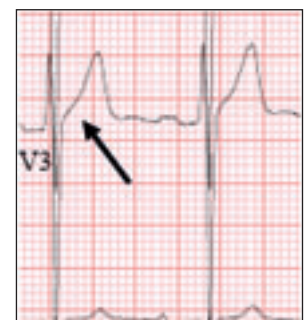


Abbildung 9: 14-jähriger Patient mit früher Repolarisation (siehe Text).

T-Welle ist meist hoch. Die Höhe des QRS-Komplexes ist altersentsprechend normal. Es gibt keine pathologische Q-Zacke. Bei Sympathikotonus, zum Beispiel unter Belastung, kommt es zur Normalisierung des EKG (Abbildung 9).

T-Welle

Die T-Welle repräsentiert die ventrikuläre Repolarisation. Es gibt zwei Formen von pathologischen T-Wellen-Veränderungen: Veränderung der Amplitude der T-Welle und Veränderung des T-Wellen-Vektors.

Die normale Amplitude der T-Welle beträgt zirka ein Viertel der zugehörigen R-Amplitude in den Extremitätenableitungen. Zu hohe T-Wellen kommen zum Beispiel bei Hyperkaliämie oder bei linksventrikulärer Hypertrophie vor. Ein erhöhter Parasympathikotonus kann auch zu einer hohen T-Welle führen («vagotones T»). Zu flache T-Wellen gibt es zum Beispiel bei Hypokaliämie, Hyper- oder Hypoglykämie, Hypothyreose, Peri-/Myokarditis, Myokardischämie oder Digitalisierung.

Der Vektor der T-Welle ist im Kindesalter anders als im Erwachsenenalter. Eine negative T-Welle in den Brustwandableitungen stellt beim EKG im Kindesalter – ganz im Gegensatz zum Erwachsenen-EKG – keine Pathologie dar. Das Ausmass der T-Negativität in den Brustwandableitungen verändert sich mit dem Alter: Ein Säugling kann von V1 bis V5 ein negatives T ha-

ben, während ein Jugendlicher häufig nur noch in Ableitung V1 eine negative T-Welle aufweist. Pathologische T-Wellen-Vektoren treten bei Kindern vor allem bei Perimyokarditis oder Hypertrophie auf.

U-Welle

Die U-Welle ist häufig bei gesunden Kindern und Jugendlichen zu sehen. Es handelt sich um eine positive Welle nach der T-Welle, welche möglicherweise der Repolarisation des His-Purkinje-Systems entspricht.

Korrespondenzadresse:

PD Dr. med. Christian Balmer
Oberarzt Kinderkardiologie
Universitätskinderklinik Zürich
Steinwiesstr. 75, 8032 Zürich
E-Mail: christian.balmer@kispi.uzh.ch

Weiterführende Literatur:

1. Davignon A. Normal ECG standards for infants and children. *Pediatr Cardiol* 1979/80; 1: 123–131.
2. Gutheil H et al. EKG im Kindes- und Jugendalter, 6. Ausgabe, Thieme-Verlag, 2009.
3. Park MK, Guntheroth WG. How to read pediatric ECG, Fourth Edition, Mosby, 2006.
4. Schuhmacher et al. Klinische Kinderkardiologie, 4. Auflage, Springer, Heidelberg, 2008.
5. Gatzoulis MA, Balaji S, Webber SA et al. Risk factors for arrhythmia and sudden cardiac death late after repair of tetralogy of Fallot: a multicentre study. *Lancet* 2000; 356: 975–981.

VERANSTALTUNGSHINWEIS



Das pädiatrische EKG – 2. Interaktives Seminar

16. bis 17. März 2012, Seminarhotel Unterhof, 8253 Diessenhofen

Kursinhalte:

Was ist normal? Wie sehen die häufigsten erkennbaren Veränderungen im pädiatrischen EKG aus? Welche davon sind Hinweise auf gefährliche Rhythmusstörungen?

Die Teilnehmerzahl ist begrenzt auf 20 Teilnehmer.

Teilnahmegebühr inkl. Übernachtung und Verpflegung, Kurskosten und Zertifikat: Fr. 200.–

Anmeldung:

FentEvent GmbH
Eggwilstr. 16b
9552 Bronschhofen
Tel. 071-911 45 22
E-Mail: mafalda.fent@fent-event.ch

Wissenschaftliche Leitung:

Dr. med. Matthias Gass, PD Dr. med. Christian Balmer und Dr. med. Anna Cavigelli, Kardiologie Universitätskinderklinik Zürich

Das Seminar richtet sich an alle Ärztinnen und Ärzte, die ihr Wissen über das EKG im Kindesalter erweitern wollen und insbesondere an Assistenzärzte mit dem Ziel einer Spezialisierung in Pädiatrie, Kinderkardiologie oder Kardiologie.

