

Jan Janoušek a kolektiv

EKG a dysrytmie v dětském věku

3., zcela přepracované a doplněné vydání



I. Andršová, M. Bébarová, R. A. Gebauer, J. Janoušek, P. Kubuš,
T. Novotný, M. Procházka, J. Radvanský, K. Slabý, V. Tomek, P. Vít

EKG a dysrytmie v dětském věku

3., zcela přepracované a doplněné vydání

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována ani šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.

EKG A DYSRYTMIE V DĚTSKÉM VĚKU

3., zcela přepracované a doplněné vydání

TIRÁŽ TIŠTĚNÉ PUBLIKACE:

Hlavní autor a editor:

prof. MUDr. Jan Janoušek, Ph.D.

Autorský kolektiv:

MUDr. Irena Andršová, Ph.D.; doc. MUDr. Markéta Bébarová, Ph.D.;
MUDr. Roman A. Gebauer; prof. MUDr. Jan Janoušek, Ph.D.; MUDr. Peter Kubuš;
MUDr. Tomáš Novotný, Ph.D.; MUDr. Michal Procházka;
doc. MUDr. Jiří Radvanský, CSc.; MUDr. Kryštof Slabý; MUDr. Viktor Tomek;
MUDr. Pavel Vít

Recenze:

MUDr. Viera Illíková

prof. MUDr. Josef Kautzner, CSc., FESC

Vydání odborné knihy schválila Vědecká redakce nakladatelství Grada Publishing, a.s.

Autoři i nakladatelství děkují společností CARDION s.r.o. a EP SERVICES s.r.o. za finanční podporu, která umožnila vydání publikace.



Podpořeno MZ ČR – RVO, FN v Motole 00064203.

© Grada Publishing, a.s., 2014

Obrázky, není-li uvedeno jinak, z archivu autorů.

Cover Design © Grada Publishing, a.s., 2014

Cover Photo © fotobanka allphoto, 2014

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 5722. publikaci

Odpovědný redaktor Mgr. Luděk Neužil

Sazba a zlom Antonín Plicka

Počet stran 272 + 2 strany barevné přílohy

Třetí vydání, v Grada Publishing první, Praha 2014

Vytiskly Tiskárny Havlíčkův Brod, a. s.

Názvy produktů, firem apod. použité v této knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění ale nevyplývají pro autory ani pro nakladatelství žádné právní důsledky.

ISBN 978-80-247-5006-4

ELEKTRONICKÉ PUBLIKACE:

ISBN 978-80-247-9602-4 (ve formátu PDF)

ISBN 978-80-247-9603-1 (ve formátu EPUB)

Obsah

Seznam použitých zkratk	9
Seznam autorů	11
Poděkování	12
Úvod	13
1. Vznik a snímání elektrokardiogramu	15
2. Popis elektrokardiogramu	19
2.1 Terminologie popisu EKG křivky	19
2.2 Postup při popisu EKG křivky	20
2.2.1 Charakter srdečního rytmu, lokalizace síní	21
2.2.2 Frekvence síní a komor	21
2.2.3 Délka jednotlivých intervalů	21
2.2.4 Určování osy	23
2.2.5 Morfologie vlny P, zvětšení síní	24
2.2.6 Morfologie komplexu QRS, lokalizace komor, vývoj EKG křivky v dětském věku, hypertrofie komor	24
2.2.7 Morfologie repolarizační fáze	31
2.3 Hodnocení EKG v rámci preventivních sportovních prohlídek	34
3. Příčiny arytmií	41
4. Diagnostika arytmií	43
4.1 Běžný EKG záznam	43
4.2 Zátěžové vyšetření	44
4.2.1 Kontraindikace zátěžového vyšetření	45
4.2.2 Základní pojmy pro zátěžové vyšetření	45
4.3 Test na nakloněné rovině	51
4.4 Signálově průměrované EKG	52
4.5 24hodinová monitorace srdečního rytmu (Holter)	53
4.6 Epizodní záznamníky (event. rekordéry)	55
4.7 Elektrofyzilogické vyšetření	58
5. Léčba arytmií	63
5.1 Vagové manévry	63
5.2 Antiarytmika	63

5.3	Elektrická stimulace srdce	66
5.3.1	Dočasná kardiostimulace při bradykardii	66
5.3.2	Antitachykardická stimulace	67
5.3.3	Resynchronizační stimulace v léčbě akutního srdečního selhání	67
5.3.4	Kardioverze výbojem, defibrilace	68
5.3.5	Trvalá kardiostimulace	69
5.3.6	Implantabilní kardioverter-defibrilátor	81
5.3.7	Srdeční resynchronizační léčba	83
5.4	Katetrizační ablace	84
5.4.1	Indikace ke katetrizační ablaci u dětí	84
5.5	Chirurgická léčba arytmií	86
6.	Normální srdeční rytmus u dětí	91
6.1	Sinusový rytmus, sinusová arytmie, stěhování místa vzniku rytmu	91
6.2	Ostatní fyziologické arytmie u dětí	91
7.	Dysfunkce sinusového uzlu	93
7.1	Elektrokardiogram	93
7.2	Příčiny	93
7.3	Další vyšetření	94
7.4	Terapie	96
8.	Atrioventrikulární blokáda	99
8.1	Atrioventrikulární blokáda I. stupně	99
8.2	Atrioventrikulární blokáda II. stupně	99
8.2.1	Elektrokardiogram	99
8.2.2	Příčiny	101
8.2.3	Další vyšetření a terapie	101
8.3	Atrioventrikulární blokáda III. stupně	101
8.3.1	Elektrokardiogram	101
8.3.2	Příčiny	101
8.3.3	Další vyšetření a léčba	104
9.	Raménkové blokády	107
9.1	Elektrokardiogram	107
9.2	Příčiny	107
9.3	Další vyšetření a léčba	110
10.	Síňové extrasystoly	113
10.1	Elektrokardiogram	113

10.2	Příčiny	113
10.3	Další vyšetření a léčba	114
11.	Supraventrikulární tachykardie	117
11.1	Úvod	117
11.2	Elektrokardiogram	118
11.2.1	Supraventrikulární tachykardie na podkladě mechanismu reentry	118
11.2.2	Supraventrikulární tachykardie na podkladě abnormální automacie	135
11.3	Další vyšetření u supraventrikulárních tachykardií	141
11.4	Akutní léčba supraventrikulárních tachykardií	142
11.5	Chronická léčba supraventrikulárních tachykardií	145
11.5.1	Farmakoterapie	145
11.5.2	Katetrizační ablace	146
12.	Flutter síní, intraatriální (incizionální) reentry tachykardie	149
12.1	Úvod	149
12.2	Elektrokardiogram	151
12.3	Další vyšetření	152
12.4	Akutní terapie	153
12.5	Další terapie	154
13.	Fibrilace síní	159
13.1	Úvod	159
13.2	Elektrokardiogram	159
13.3	Terapie	160
14.	Komorové tachyarytmie	163
14.1	Úvod	163
14.2	Elektrokardiogram	163
14.3	Akutní terapie	167
14.4	Jednotlivé typy komorových arytmii	170
14.4.1	Idiopatické komorové arytmie u strukturálně zdravého srdce	170
14.4.2	Komorové arytmie po operaci vrozených srdečních vad	173
14.4.3	Komorové tachykardie u kardiomyopatií a tumorů	175
14.4.4	Hereditární arytmiické syndromy	181
14.4.5	Syndrom časně repolarizace	202
15.	Fetální arytmie	209
15.1	Úvod	209
15.2	Fetální echokardiogram	209

15.3	Atrioventrikulární blokáda	209
15.4	Supraventrikulární tachykardie	212
15.5	Ostatní fetální arytmie	214
16.	Arytmie při iontových poruchách a intoxikacích	219
16.1	Hypokalémie	219
16.2	Hyperkalémie	219
16.3	Hypomagneziémie	220
16.4	Otrava digitalisem	220
16.5	Otrava tricycklickými antidepresivy	221
17.	Synkopa u dětí a mladistvých	223
17.1	Úvod	223
17.2	Klinický obraz synkop	224
17.3	Rozdělení synkop u dětí podle příčiny	224
17.4	Synkopa zprostředkovaná autonomním nervstvem	226
17.4.1	Vazovagální synkopa	226
17.4.2	Situační synkopa	227
17.4.3	Synkopy v důsledku chronické autonomní insuficience	230
17.5	Vyšetření	230
17.6	Terapie synkopy zprostředkované autonomním nervstvem	232
18.	Příloha	235
18.1	Antiarytmika a léky prodlužující interval QT	235
18.2	Návod ke kardioverzi výbojem	246
18.3	Návod k overdrivu supraventrikulární tachykardie a flutteru síní jícnovou stimulací	247
18.4	Návod k nastavení dočasného externího kardiostimulátoru	248
18.4.1	Jednodutinová stimulace on demand (AAI, VVI)	248
18.4.2	Dvoudutinová stimulace (DDD) u síňokomorové blokády	248
18.4.3	Komorami řízená síňová stimulace (AVT) u pooperační junkční ektopické tachykardie	249
18.5	Tabulky normálních elektrokardiografických hodnot	250
	Rejstřík	264
	Souhrn / Summary	272

Seznam použitých zkratek

AET	– atrial ectopic tachycardia, síňová ektopická tachykardie
AFib	– atrial fibrillation, fibrilace síní
AFI	– atrial flutter, flutter síní
ARVC	– arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy, arytmogenní kardiomyopatie pravé komory
ATP	– anti-tachycardia pacing, antitachykardická stimulace
AV	– atrioventrikulární
AVB	– atrioventrikulární blokáda
AVNRT	– atrioventrikulární nodální reentry tachykardie
AVRT	– atrioventrikulární reentry tachykardie
BB	– betablokátory
BrS	– Brugadaův syndrom
CAST	– Cardiac Arrhythmia Suppression Trial
CPVT	– catecholaminergic (catecholaminsensitive) polymorphic ventricular tachycardia, katecholaminergní (katecholamisesenzitivní) polymorfní komorová tachykardie
DAD	– delayed afterdepolarization, pozdní následná depolarizace
DCMP	– dilated cardiomyopathy, dilatační kardiomyopatie
EFV	– elektrofyziologické vyšetření
EKG	– elektrokardiogram
FAT	– focal atrial tachycardia, fokální síňová tachykardie
HCMP	– hypertrophic cardiomyopathy, hypertrofická kardiomyopatie
HUTT	– head-up tilt table test, test na nakloněné rovině
CHAT	– chaotic atrial tachycardia, chaotická síňová tachykardie
IART	– intraatriální reentry tachykardie
ICD	– implantace cardioverter-defibrillator, implantabilní kardioverter-defibrilátor
JET	– junctional ectopic tachycardia, junkční ektopická tachykardie
JLNS	– Jervell-Lange-Nielsen syndrome
KT	– komorová tachykardie
LQTS	– long QT syndrome, syndrom dlouhého intervalu QT
MET	– metabolický ekvivalent

NYHA	– New York Heart Association
PJRT	– permanent junctional reciprocating tachycardia, permanentní junkční reciproční tachykardie
POTS	– postural orthostatic tachycardia syndrome, syndrom posturální ortostatické tachykardie
PSVC	– premature supraventricular contractions, předčasné síňové stahy
RER	– respirační výměnný poměr
RPE	– rating of perceived exertion
RQ	– respirační koeficient
RWS	– Romano-Ward syndrome
SLE	– symptoms limited exercise, symptomy limitovaná zátěž
SQTS	– short QT syndrome, syndrom krátkého intervalu QT
SR	– sarkoplazmatické retikulum
SRL	– srdeční resynchronizační léčba
SVT	– supraventrikulární tachykardie
SZAN	– synkopa zprostředkovaná autonomním nervstvem
TdP	– torsades de pointes
TF	– tepová frekvence
WPW	– Wolff-Parkinson-White

Seznam autorů

MUDr. Irena Andršová, Ph.D., Interní kardiologická klinika FN Brno a LF MU, Brno

Doc. MUDr. Markéta Bébarová, Ph.D., Fyziologický ústav, LF MU, Brno

MUDr. Roman A. Gebauer, Klinik für Kinderkardiologie, Herzzentrum Leipzig, Universität Leipzig, Německo

Prof. MUDr. Jan Janoušek, Ph.D., Dětské kardiocentrum, FN v Motole, Praha

MUDr. Peter Kubuš, Dětské kardiocentrum, FN v Motole, Praha

MUDr. Tomáš Novotný, Ph.D., Interní kardiologická klinika FN Brno a LF MU, Brno

MUDr. Michal Procházka, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství 2. LF UK a FN Motol, Praha

Doc. MUDr. Jiří Radvanský, CSc., Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství 2. LF UK a FN Motol, Praha

MUDr. Kryštof Slabý, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství 2. LF UK a FN Motol, Praha

MUDr. Viktor Tomek, Dětské kardiocentrum, FN v Motole, Praha

MUDr. Pavel Vít, oddělení dětské kardiologie, Pediatrická klinika, FN Brno a LF MU, Brno

Poděkování

Rád bych poděkoval všem spoluautorům za příjemnou a konstruktivní spolupráci; oběma recenzentům, MUDr. Věře Illíkove a prof. MUDr. Josefu Kautznerovi, CSc., za inspirativní poznámky, které pomohly text výrazně zlepšit jak po obsahové, tak i formální stránce. Všem spolupracovníkům na Dětském kardiocentru FN v Motole za možnost dlouhodobě shromažďovat data pro tuto knihu. A také všem rodinám a blízkým autorů za podporu, bez níž by tato publikace nevznikla.

Prof. MUDr. Jan Janoušek, Ph.D.

Úvod

Jan Janoušek

Arytmologie a klinická elektrofyziologie prodělala v posledních 30 letech mohutný rozmach založený na prozkoumání mechanismů naprosté většiny poruch srdečního rytmu, zavedení kauzální léčby pomocí katetrizační ablace, účinné prevenci náhlé srdeční smrti implantabilními defibrilátory a odhalení genetického pozadí dědičných poruch srdečního rytmu. Tento vývoj se v plné šíři přenesl i do dětské kardiologie. Možnost rutinní kurativní léčby většiny supraventrikulárních tachykardií, vývoj v oblasti implantátů a zcela nové chápání rizikové stratifikace náhlé srdeční smrti jsou jenom těmi nejvýznamnějšími příklady.

Současně s tímto medicínským a technickým pokrokem se zvyšuje význam ale spoň orientačních znalostí o povaze, přirozeném vývoji, rizicích, projevech a léčbě častých nebo život ohrožujících poruch srdečního rytmu v dětském věku. Schopnost základní interpretace EKG křivky by měla patřit k výbavě nejen kardiologa, ale i každého pediatra. Tato kniha si ve třetím, přepracovaném a aktualizovaném vydání klade za cíl poskytnout pokud možno v co nejstručnější formě maximum praktických znalostí pro interpretaci EKG křivky a diagnostiku a léčbu dysrytmií v dětském věku. Zájemce o bližší studium lze odkázat na historické i současné české a zahraniční monografie.

Použitá a doporučená literatura:

- BRUGADA, J., BLOM, N., SARQUELLA-BRUGADA, G., BLOMSTROM-LUNDQVIST, C., DEANFIELD, J., JANOUSEK, J., ABRAMS, D., BAUERSFELD, U., BRUGADA, R., DRAGO, F., DE GROOT, N., HAPPONEN, J.M., HEBE, J., YEN HO, S., MARIJON, E., PAUL, T., PFAMMATTER, J.P., ROSENTHAL, E. Pharmacological and non-pharmacological therapy for arrhythmias in the pediatric population: EHRA and AEPC-Arrhythmia Working Group joint consensus statement. *Europace*, 2013, 15(9), p. 1337–1382.
- BYTEŠNÍK, J., ČIHÁK, R. *Arytmie v medicínské praxi*. Praha : Triton s.r.o., 1999, 179 s.
- ČIŽMÁROVÁ, E. *Arytmie v detstom veku*. Martin : Osveta, 1990, 350 s.
- DEAL, B.J., JOHNSRUDE, CL., BUCK, SH. *Pediatric ECG Interpretation: An Illustrative Guide*. New York : Blackwell Publishing – Futura, 2004, 272 p.
- DEAL, B.J., WOLFE, GS., GELBAND, H. *Current concepts in diagnosis and management of arrhythmias in infants and children*. Armonk, New York : Futura Publishing Company, Inc, 1998, 438 p.

- GILLETTE, PC., GARSON, A. Jr. *Clinical pediatric arrhythmias*. Philadelphia : W. B. Saunders Company, 1999.
- GILLETTE, PC., ZEIGLER, RN. *Pediatric Cardiac Pacing*. Armonk, New York : Futura Publishing Company, Inc., 1995, 254 p.
- HUČÍN, B., ŽÁČEK, P. *Dětská kardiochirurgie*. 2. vyd., Praha : Grada Publishing, 2012, 320 s.
- CHALOUPECKÝ, V. *Dětská kardiologie*. Praha : Galén, 2006, 444 s.
- JANOUSEK, J. *EKG a dysrytmie v dětském věku*. 2. vyd., Jinočany : Nakladatelství H&H Vyšehradská, s.r.o., 2004, 164 s.
- LUKL, J. *Srdeční arytmie*. Praha : Grada Publishing, 1996, 232 s.
- PARK, MK., GUNTEROTH, WG. *How to read pediatric ECG's*. 3rd ed., St. Louis : Mosby, Inc., 1992, 248 p. (kap. 1, 2, 9 a tab. 18.5).
- RINGEL, J. *Diagnostický přínos EKG pro pediatrickou praxi*. Praha : Avicenum, 1979, 192 s.
- TÁBORSKÝ, M., BRADA, J., BULKOVÁ, V., ČERNÝ, Š., ČIHÁK, R., FIALA, M., GANDALOVÍČOVÁ, J., HAMAN, L., HUTYRA, M., KAUTZNER, J., KRÁLOVEC, Š., LEFFLEROVÁ, K., MAREK, D., NEUŽIL, P., PETŘKOVÁ, J., SKÁLA, T., ŠEDIVÁ, L., TOMEK, A., WICHTERLE, D., ŽDÁREK, R. *Fibrilace síní*. Praha : Mladá fronta, 2011, 286 s.
- URBANOVÁ, Z., ŠAMÁNEK M. *Dětská kardiologie*. Praha : Mladá fronta, 2013, 142 s.
- VÍTEK, B. *Dětská elektrokardiografie*. 3. vyd., Brno : Universita J. E. Purkyně, 1977.
- VÍTEK, B., POHANKA, I. *Dysrytmie*. Praha : Avicenum, 1982, 191 s.
- WALSH, EP., SAUL, JP., TRIEDMAN, JK. *Cardiac Arrhythmias in Children and Young Adults with Congenital Heart Disease*. Philadelphia : Lippincott Williams & Wilkins, 2001, 516 p.
- WIDIMSKÝ, J., LEFFLEROVÁ K. *Zátěžové EKG testy v kardiologii*. Praha : Triton, s.r.o., 2000, 167 s.
- WREN, C., CAMPBELL, RWF. *Paediatric cardiac arrhythmias*. Oxford : Oxford University Press, 1996, 368 p.

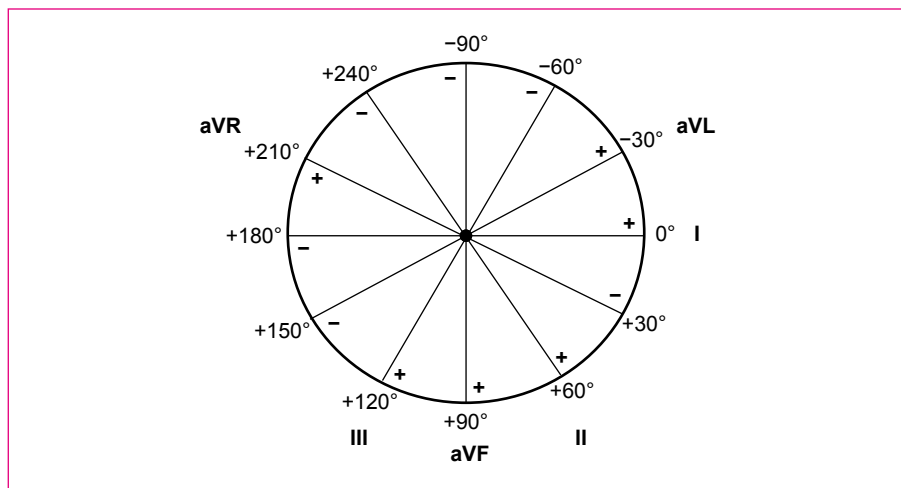
1. Vznik a snímání elektrokardiogramu

Jan Janoušek

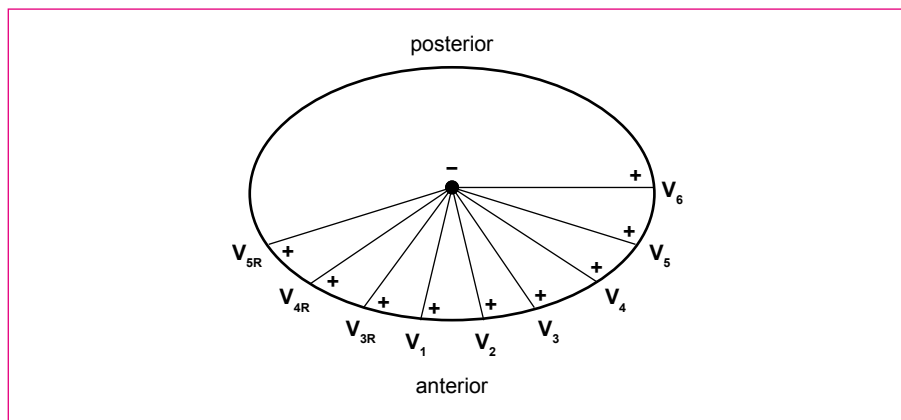
Elektrokardiografická křivka je odrazem sumy elektrických potenciálů vznikajících při depolarizaci a repolarizaci jednotlivých srdečních buněk. Buněčné iontové a s nimi související elektrické děje vytvářející akční potenciál srdeční buňky jsou podrobně popsány v kap. 14.4.4 – Vrozený syndrom dlouhého QT intervalu. Tvar křivky je určován postupem aktivace síňového a komorového myokardu, který je ovlivňován polohou srdce a jeho jednotlivých oddílů, velikostí síní a komor a množstvím jejich svaloviny, poruchami převodního systému a charakterem repolarizace.

Povrchové EKG snímáme pomocí elektrod umístěných na končetinách a na hrudníku. V běžném případě jde o 4 elektrody připevněné na jednotlivých končetinách a 6 až 9 elektrod na povrchu hrudníku. Spojením končetinových elektrod vznikají bipolární a unipolární končetinové svody nacházející se ve frontální rovině pacienta (svod I mezi pravou a levou rukou, svod II mezi pravou rukou a levou nohou, svod III mezi levou rukou a levou nohou, svod aVR mezi pravou rukou a středem svodu III, svod aVL mezi levou rukou a středem svodu II a svod aVF mezi levou nohou a středem svodu I; elektroda na pravé noze slouží jako zemnění). Umístění těchto svodů znázorňuje obr. 1.1. Elektrody umístěné na povrchu hrudníku tvoří propojením s elektrickým středem (vznikne spojením tří aktivních končetinových elektrod) systém unipolárních hrudních svodů lokalizovaných v horizontální rovině pacienta. Jednotlivé hrudní elektrody se nalézají v následujících pozicích: svod V1 – 4. mezižebří těsně vpravo u sternu, svod V2 – 4. mezižebří těsně vlevo u sternu, svod V4 – 5. mezižebří v levé medioklavikulární čáře, svod V3 – mezi svodem V2 a V4, svod V5 – ve výši V4 v přední axilární čáře a svod V6 – ve výši V4 ve střední axilární čáře. Pravostranné hrudní svody V3R, V4R a V5R jsou zrcadlovým obrazem svodu V3, V4 a V5 (obr. 1.2). Jejich užití je nutné při některých patologických polohách srdce (dextrokardie). Často umožňují také lepší rozpoznání hypertrofie pravé komory.

Z uložení jednotlivých svodů je patrné, že svírají různý úhel s elektrickou srdeční osou, určenou průměrným směrem postupu elektrické aktivace srdce.



Obr. 1.1 Rozložení končetinových svodů ve frontální rovině pacienta. Jednotlivé svody dělí kruh po 30 stupních a umožňují tak pohled na elektrické děje v srdci z různých úhlů.



Obr. 1.2 Rozložení hrudních svodů v horizontální rovině pacienta.

Postup elektrické aktivace se do jednotlivých svodů promítá v podobě potenciálových rozdílů registrovaných EKG přístrojem. Rozdíly, a tedy i výchylky na EKG křivce, jsou v daném svodu největší, šíří-li se elektrická aktivace paralelně s ním,

a nejmenší, šíří-li se na něj kolmo. Pozitivní výchylka vzniká v případě unipolárních svodů při šíření depolarizace směrem k explorativní elektrodě. U bipolárních svodů vzniká pozitivní výchylka v případě šíření depolarizace k pozitivní elektrodě, kterou představuje pro svod I levá ruka a pro svody II a III levá noha. Při opačném šíření depolarizace vznikají výchylky negativní. Vzhledem k uložení svodů ve dvou na sebe kolmých rovinách lze z tvaru EKG křivky prostorově určit směr šíření elektrické aktivace v kterékoliv části srdečního cyklu.

Záznam dětského EKG se většinou provádí s rychlostí posunu papíru 50 mm/s. Základní citlivost EKG přístroje se nastavuje na 1 mV = 10 mm. Důležité pro zobrazení detailů křivky je i správné nastavení frekvenčních filtrů, které by měly umožňovat zpracování frekvencí v rozsahu 0,05 až 100 Hz, přičemž dodržení dolního frekvenčního filtru je důležité pro správné zobrazení repolarizační fáze, zatímco horní filtr ovlivňuje zobrazení vysokofrekvenčních detailů. V současnosti používáme až na výjimky digitální záznamy elektrokardiografické křivky. Důležitá je vzorkovací frekvence, s jakou daný přístroj pracuje. Levné přístroje mají nízkou frekvenci a nemusí být schopny zobrazit určité detaily, jako jsou vysokofrekvenční kmity nebo stimulační artefakty. Na takové křivce nemusí být např. rozpoznána stimulace síní nebo komor.

Použitá a doporučená literatura:

- KLIGFIED, P., GETTES, LS., BAILEY, JJ., CHILDERS, R., DEAL, BJ., HANCOCK, EW., VAN HERPEN, G., KORS, JA., MACFARLANE, P., MIRVIS, DM., PAHLM, O., RAUTAHARJU, P., WAGNER, GS. American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology, American College of Cardiology Foundation, Heart Rhythm Society, Josephson M, Mason JW, Okin P, Surawicz B, Wellens H. Recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram: part I: The electrocardiogram and its technology: a scientific statement from the American Heart Association Electrocardiography and Arrhythmias Committee, Council on Clinical Cardiology, the American College of Cardiology Foundation, and the Heart Rhythm Society: endorsed by the International Society for Computerized Electrocardiology. *Circulation*, 2007, 115(10), p. 1306–1324.
- PARK, MK., GUNTEROTH WG. *How to read pediatric ECG's*. Chicago-London : Year Book Medical Publishers, 1981.
- SCHWARTZ, PJ., GARSON, A. Jr, PAUL, T., STRAMBA-BADIALE, M., VETTER, VL., WREN, C. European Society of Cardiology. Guidelines for the interpretation of the neonatal electrocardiogram. A task force of the European Society of Cardiology. *Eur. Heart J.*, 2002, 23(17), p. 1329–1344.

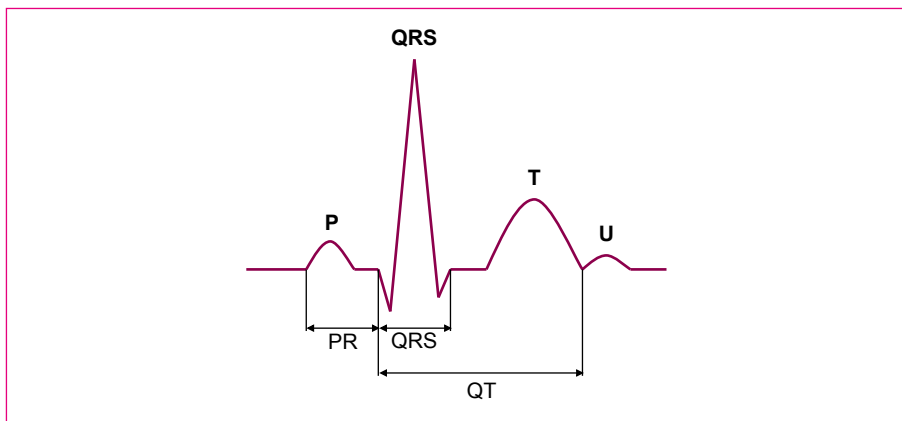
2. Popis elektrokardiogramu

Jan Janoušek, Kryštof Slabý, Michal Procházka

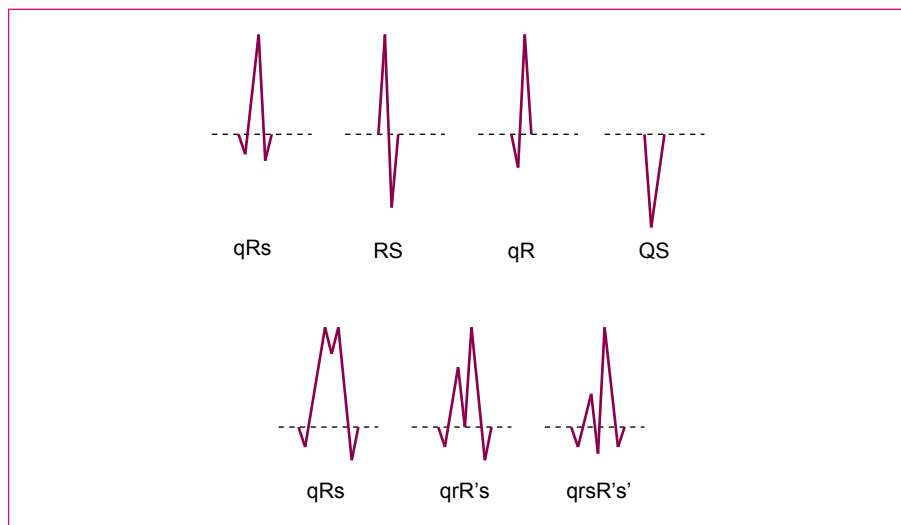
2.1 Terminologie popisu EKG křivky

Vlna P je odrazem depolarizace síní. Komplex QRS odpovídá depolarizaci komor. Vlna T odpovídá repolarizaci komor a vlna U nejspíše repolarizaci Purkyňových vláken (obr. 2.1). Komplex QRS může mít nejrůznější morfologii a jeho jednotlivé kmity jsou definovány následovně: kmit Q je negativní výchylka vyskytující se na začátku komplexu QRS, kmit R je první pozitivní výchylka komplexu QRS, kmit S je negativní výchylka následující za kmitem R. V případě opakování se jednotlivé kmity odlišují čárkovým indexem (R', S', R" apod.). Pokud se na některém kmitu vyskytne zářez, který nedosahuje k izoelektrické čáře, nepopisuje se druhý vrcholek výchylky jako samostatný kmit (obr. 2.2).

Na EKG křivce se mohou vyskytovat artefakty, které mohou imitovat arytmie, např. flutter nebo fibrilaci síní, případně polymorfní komorové arytmie. Záleží na zkušenosti popisujícího, aby takový obraz sám správně vyhodnotil, nebo zkontualoval.



Obr. 2.1 Vlny, komplexy a intervaly EKG křivky.



Obr. 2.2 Různé morfologie komplexu QRS.

Interval PR (PQ) je interval mezi začátkem vlny P a začátkem komplexu QRS. Úsek PR je interval mezi koncem vlny P a začátkem komplexu QRS. Interval QT je interval mezi začátkem komplexu QRS a koncem vlny T. Úsek ST je vzdálenost mezi koncem QRS komplexu a začátkem vlny T (viz obr. 2.1).

2.2 Postup při popisu EKG křivky

EKG křivku popisujeme v pořadí udaném následujícími body:

1. Charakter srdečního rytmu
2. Frekvence síní a komor
3. Délka jednotlivých intervalů
4. Elektrická osa
5. Morfologie vlny P
6. Morfologie komplexu QRS
7. Morfologie úseku ST a vlny T a U
8. Elektrokardiografická diagnóza

2.2.1 Charakter srdečního rytmu, lokalizace síní

Normální srdeční rytmus je sinusový. Depolarizace síní vychází ze sinusového uzlu a pravidelně se převádí atrioventrikulárním uzlem a Hisovým svazkem na komory. Osa vlny P ve frontální rovině je mezi 0° až $+90^\circ$ (viz kap. 2.2.4), za každou vlnou P následuje v pravidelném odstupu komplex QRS. Při inverzi síní se sinusový uzel nachází vlevo. Depolarizace síní probíhá zleva doprava a osa vlny P je při sinusovém rytmu mezi $+90^\circ$ až $+180^\circ$ (obr. 2.3).

2.2.2 Frekvence síní a komor

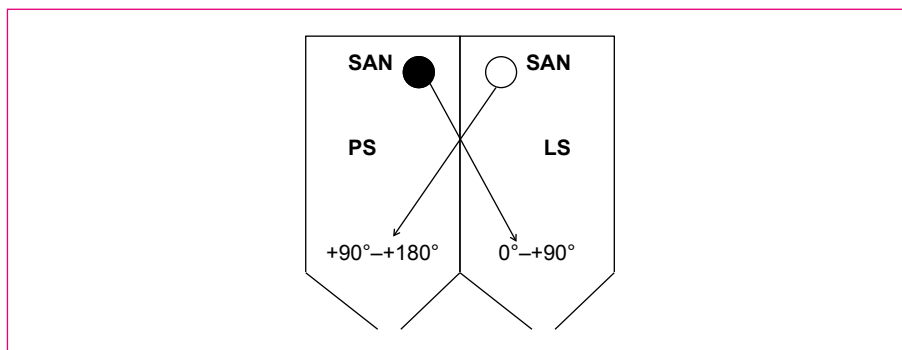
Při rychlosti posunu papíru 50 mm/s lze minutovou frekvenci jednoduše zjistit znásobením počtu komplexů QRS vyskytujících se na 15centimetrovém záznamu číslem 20. Oddělené stanovení frekvence síní a komor je nutné při rozdílných hodnotách vzniklých v důsledku poruchy srdečního rytmu.

2.2.3 Délka jednotlivých intervalů

Hodnoty udáváme v s nebo ms. V běžných případech měříme pouze interval PR, šířku komplexu QRS a interval QT. Z aktuálního intervalu QT vypočteme podle Bazettovy formule korigovaný interval QT (QTc), který se rovná délce intervalu QT přepočtené na srdeční frekvenci 60/min.

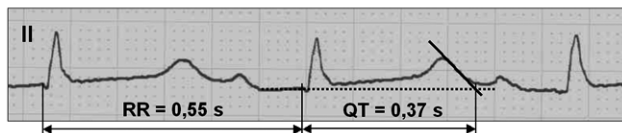
Bazettova formule:

$$QTc [s] = \frac{QT [s]}{\sqrt{RR [s]}}$$



Obr. 2.3 Osa P vlny a postup depolarizace síní při normálním uložení síní a při inverzi síní: LS – levá síň, PS – pravá síň, SAN – sinoatriální uzel.

$$QTc [s] = \frac{QT [s]}{\sqrt{RR [s]}} = \frac{0,37}{\sqrt{0,55}} = 0,499 [s]$$



Obr. 2.4 Metodika měření QT intervalu.

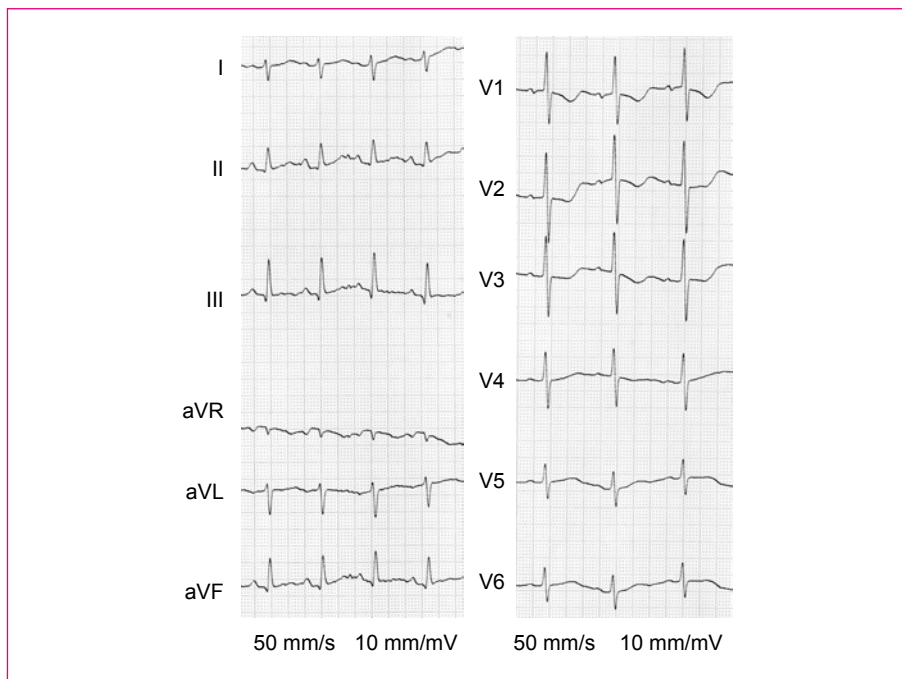
Interval QT měříme typicky ve svodu II nebo V5, a to od začátku vlny Q do konce vlny T. V případě, že nelze jednoznačně určit návrat vlny T k izolinii, což může být způsobené přítomností vlny U nebo superpozicí následující vlny P při vyšší tepové frekvenci, určíme konec vlny T jako průsečík tangenty vedené nejstrmějším úsekem poslední (většinou sestupné) části vlny T a izolinií (obr. 2.4). Odlišení vlny U od vlny T vyžaduje určitou zkušenost. V každém případě vlnu U zahrneme nebo vyloučíme shodně u všech měření. Preferujeme úsek se sinusovým rytmem se stabilními intervaly RR a izolinií bez většího driftu, byť v některých případech není jednoduché takovou část záznamu nalézt. Rozšíření komplexu QRS může falešně prodloužit interval QT (např. při raménkové blokáde nebo komorové preexcitaci). Izoliii vedeme úsekem PQ, v zátěži je někdy přesnější použít spojnicí Q-Q. Provedeme alespoň 3 měření a uvádíme jejich průměr, a to jak pro nekorigovaný interval (QT v ms), tak pro korigovaný interval podle Bazetta (QTc). Jednou z nevýhod této korekce je, že pro klidové měření ji lze použít jen v rozsahu tepové frekvence od 50 do 100/min, při vyšších frekvencích výrazně nadhodnocuje QTc. Měření QT a QTc provádíme na klidové standardní křivce vleže, v maximální zátěži ihned po zastavení (z důvodu kvality záznamu), v zotavení po 1 minutě, po 3 a 5 minutách. Detailní hodnocení intervalu QT a QTc v klidu a při zátěži je uvedeno v kapitole 14.4.4.

QT interval bývá zkrácen při podávání digitalisových preparátů a při hyperkalcémii. Prodloužen je u syndromu dlouhého QT intervalu (viz kap. 14.4.4), při hypokalcémii, myokarditidě, při podávání antiarytmik třídy IA a III (viz kap. 5.2) a při podávání některých léků (viz kap. 14.4.4).

Normální hodnoty jednotlivých intervalů na EKG křivce jsou uvedeny v tab. 18.6–18.9 Přílohy.

2.2.4 Určování osy

Elektrokardiografická osa je průměrným vektorem postupu depolarizace nebo repolarizace síní či komor promítnutým do frontální nebo horizontální roviny. Při běžném popisu EKG křivky stanovujeme většinou pouze osu komplexu QRS ve frontální rovině. Prakticky určíme osu nejjednodušeji podle končetinového svodu, ve kterém jsou výchylka vlny či součet výchylek komplexu, jehož osu stanovujeme, minimální, respektive nulové. Na tento svod jsou postup elektrické aktivace a tedy i osa kolmá (viz kap. 1). Orientaci osy (vektoru) stanovíme posléze podle polarity těže vlny či komplexu ve svodu kolmém na svod původní (obr. 2.5). V některých případech nelze osu komplexu QRS ve frontální rovině stanovit. Dochází k tomu tehdy, jsou-li průměrný směr depolarizace komor a tedy i osa kolmá na frontální



Obr. 2.5 Stanovení elektrické osy komplexu QRS ve frontální rovině. Součet ploch pod jednotlivými výchylkami komplexu QRS je přibližně nulový ve svodu aVR. Ve svodu aVF je komplex QRS převážně pozitivní. Depolarizace komor, a tudíž i osa komplexu QRS je tedy kolmá na svod aVR, její vektor míří ke svodu aVF. Činí tedy $+120$ stupňů.

rovinu. Součet jednotlivých výchylek komplexu QRS bývá potom ve všech končetinových svodech nulový. Normální hodnoty osy komplexu QRS ve frontální rovině jsou uvedeny v tab. 18.10 Přílohy.

2.2.5 Morfologie vlny P, zvětšení síní

Zbytnění svaloviny a dilatace síní zvyšuje voltáž a prodlužuje délku vlny P. Kritériem zvětšení pravé síně je voltáž vlny P větší než 0,3 mV v kterémkoliv svodu, nejčastěji ve II. standardním, ve V1 nebo V2. Kritériem zvětšení levé síně je šířka vlny P větší než 0,08 s u kojence a 0,10 s u staršího dítěte a terminální negativita vlny P ve V1 delší než 0,04 s. Vlna P bývá dikrotická nebo bifázická (obr. 2.6).

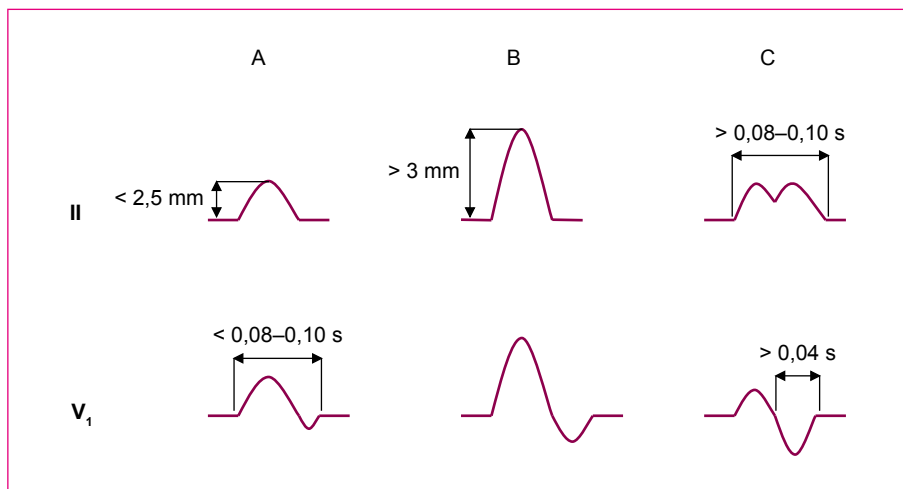
2.2.6 Morfologie komplexu QRS, lokalizace komor, vývoj EKG křivky v dětském věku, hypertrofie komor

Normální morfologie komplexu QRS je dána postupem aktivace komorového myokardu. Aktivace komorového septa zleva doprava z levého Tawarova raménka vyvolává iniciální negativní kmit (vlnu Q) ve svodech I, V5 a V6. Následuje aktivace obou komor vytvářející vzhledem k převaze levé komory (mimo novorozenecký a časný kojenecký věk) vysoký kmit R ve svodech II a aVF a ve svodech z levého prekordia a naopak hluboký kmit S ve svodu aVR a v pravostranných hrudních svodech. Při inverzi komor se komorové septum aktivuje zprava doleva. Kmit Q v levostranných hrudních svodech chybí a objevuje se naopak ve svodech z pravého prekordia (obr. 2.7).

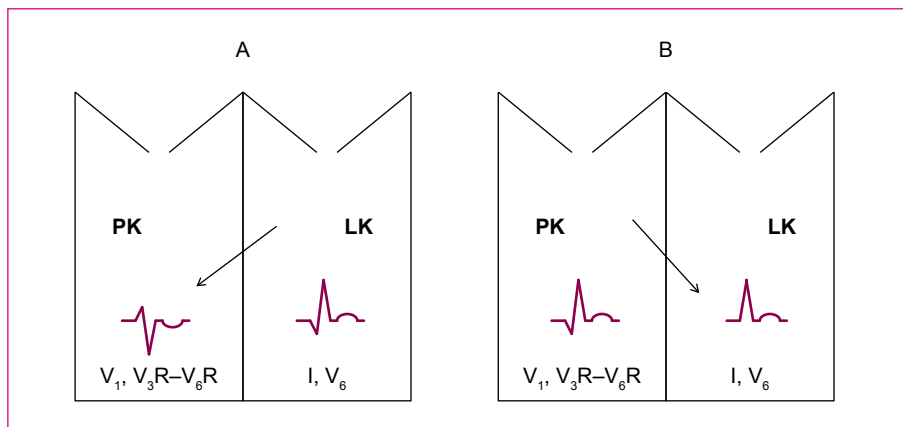
Morfologie komplexu QRS prodělává v průběhu vývoje dítěte výrazné změny. Novorozenecká převaha pravé komory charakterizovaná převahou pozitivních kmitů ve svodech z pravého prekordia a absencí jejich dominance nad levým prekordiem se rychle mění ve fyziologickou převahu levé komory (obr. 2.8). Tomu odpovídá i postupná rotace osy QRS komplexu doleva. Vzhledem k uvedenému vývoji EKG křivky byla pro jednotlivé věkové kategorie vypracována řada norem udávajících fyziologické hodnoty amplitud kmitů QRS komplexu a jejich poměrů (tab. 18.11, 18.12, 18.13 a 18.14 v Příloze), kterých užíváme při hodnocení hypertrofie komor.

Hypertrofie pravé komory vzniká při tlakové nebo objemové zátěži. Tlaková hypertrofie se projevuje vyšší voltáží kmitů odpovídajících depolarizaci pravé komory (pozitivní kmity v pravostranných a negativní kmity v levostranných hrudních svodech) (obr. 2.9). Objemová hypertrofie způsobuje v důsledku dilatace

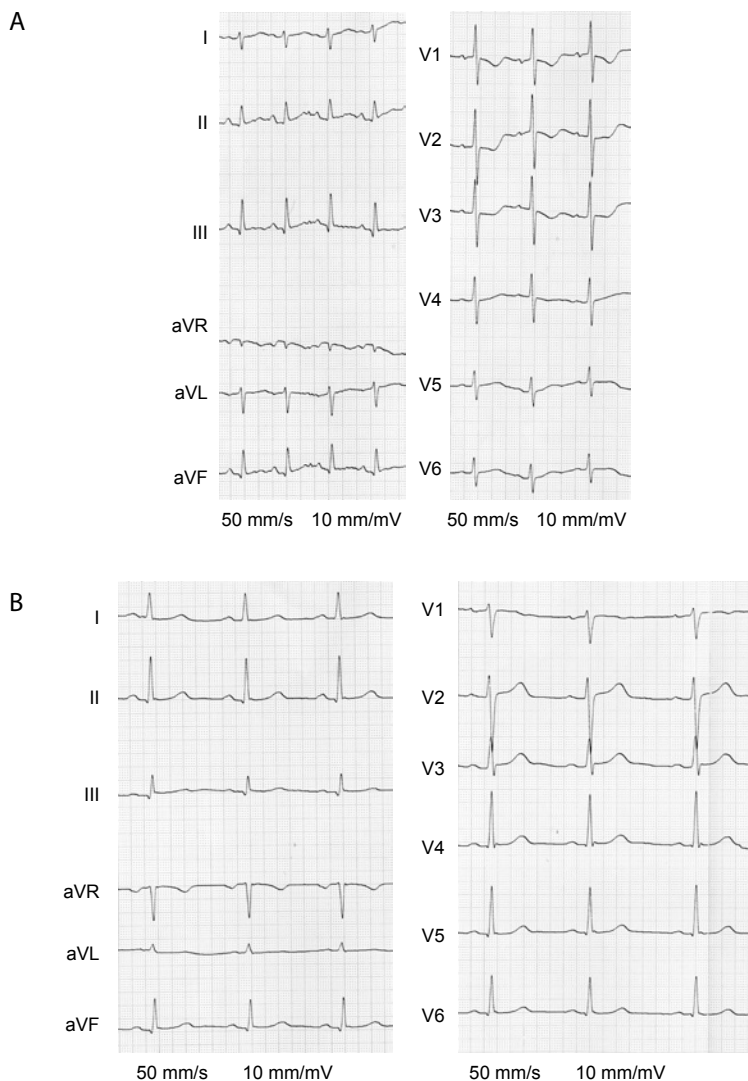
komory zpomalení distálního vedení vzruchu a vznik obrazu inkompletní blokády pravého raménka (obr. 2.10).



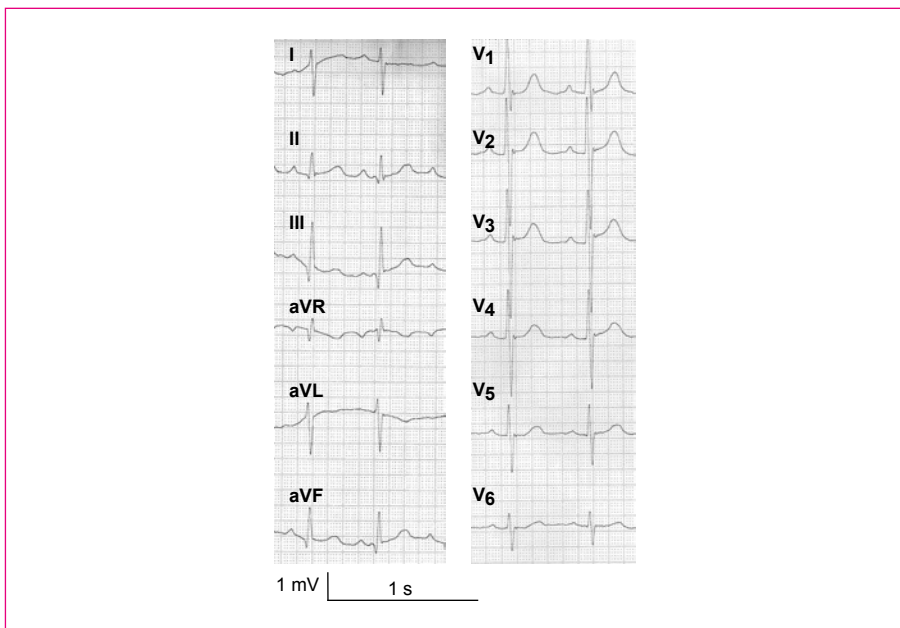
Obr. 2.6 Normální velikost vlny P (A) a kritéria zvětšení pravé (B) a levé (C) síně.



Obr. 2.7 Inverze komor: A – normální postup depolarizace komorového septa, B – postup depolarizace komorového septa při inverzi komor (LK – levá komora, PK – pravá komora).



Obr. 2.8 A – EKG u zdravého novorozence; je patrný sklon elektrické srdeční osy doprava a převaha pravé komory (Rs ve V1); B – EKG u zdravého mladistvého; oproti novorozenecké křívce je patrná jasná převaha levé komory (rS ve V1 a qR ve V6). Osa je +60 stupňů.



Obr. 2.9 Tlaková hypertrofie pravé komory u kojence. Typický je vysoký kmit R ve V1, hluboký kmit S ve V6 a v tomto věku patologické pozitivní T ve V1.

Pro hypertrofii pravé komory svědčí splnění jednoho nebo více z následujících kritérií:

- amplituda R ve V1, příp. V2, event. v aVR a/nebo amplituda S ve V6, příp. v I nad horní hranici normy pro daný věk
- poměr R/S ve V1, příp. V2 přesahující horní hranici normy v příslušné věkové kategorii
- poměr R/S ve V6 méně než 1 po prvním měsíci věku
- obraz qR ve svodu V1 a v pravostranných hrudních svodech
- pozitivní vlna T ve V1 při současném pozitivním T ve V5 a V6 u pacientů mezi třetím dnem a šestým rokem věku
- pro objemovou hypertrofii pravé komory (např. při levoprávném zkratu na úrovni síní) svědčí obraz inkompletní blokády pravého raménka (RSR' ve V1 při normální šířce QRS komplexu)