

EKG V KLINICKÉ PRAXI

Editor rubriky: Jozef Jakabčín

Jak poznat, že EKG je abnormální a co nám zobrazuje standardní EKG záznam

Jakabčín J.

Kardiologická klinika, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Masarykova nemocnice v Ústí nad Labem

Anest. intenziv. Med., 27, 2016, č. 2, s. 116–120

ÚVOD

Elektrokardiografie (EKG) je v dnešní klinické praxi široce rozšířenou metodou. Vyšetření EKG je lehce dostupná, rychlá, neinvazivní, bezpečná a bezbolestná metoda, proveditelná i mimo zdravotnické zařízení. Způsobů výuky EKG je řada, za nejméně vhodný a účinný považuji systém podobný „Atlasu hub“ – otevřená knížka s publikovaným EKG, vedle položené právě získané EKG a porovnávání dvou EKG. Je to nejen časově náročná, komplikovaná metoda, ale hlavně nesprávná. Křivky EKG jsou lépe pochopeny propojením znalostí 3D anatomie srdce ve vztahu k uloženým elektrodám, patofyziologii a klinickým projevům daného stavu či nozologické jednotky.

Cílem úvodního článku je formulovat základní principy pro rozpoznání abnormální křivky. Správná analýza EKG křivky je možná jen pomocí pochopení základních elektrofyziologických procesů probíhajících v srdečním svalu. Pro získání klinického závěru je zapotřebí pečlivá syntéza nálezu na křivce a údajů o pacientovi (kompletní anamnéza včetně farmakologické a souvislosti vzniku obtíží, tj. klinický kontext).

AKČNÍ POTENCIÁL, SIGNÁL POMYSLNÉ SRDEČNÍ REVOLUCE

Základem pro elektrickou aktivitu srdce je vznik a šíření akčního potenciálu neboli signálu. Za správnou elektrickou činnost srdce je zodpovědný endokardiálně uložený převodní systém srdce. Základní anatomickou a fyziologickou strukturou je shluk buněk v pravé síni nazývaný sinoatriální (SA uzel). Je zodpovědný za tvorbu vzruchu. Buňky SA uzlu se automaticky v elektricky klidové fázi opětovně pomalu spontánně depolarizují, až dosáhnou prahových hodnot depolarizace pro ostatní buňky vodících drah. Nejdůležitější vodící dráha na síňové úrovni je Bachmanův svazek. Propojuje levou síň od relativně vzdáleného SA uzlu. Od buněk převodního systému v síních jsou násled-

ně aktivovány myocyty zodpovědné za kontrakci síní. Frekvence obnovování signálu SA uzlu je fyziologicky řízená autonomním vegetativním nervovým systémem, nadřazenou mozkovou aktivitou a funkcí prodloužené míchy. Významný vliv na frekvenci dosahuje zejména koncentrace katecholaminů, hormonů, stav vnitřního prostředí i teplota těla. Po aktivaci pravé a levé síně dosahuje signál úrovně atrioventrikulárního (AV) uzlu. Přesněji se jedná o AV junkci, neboť v jediném místě propojuje elektrickou aktivitu síní a komor. Je uložený na anteroseptálním okraji trikuspidálního prstence s přesahující dráhou ze síně. Do pravé komory pokračuje na septum vyústujícím Hisovým svazkem. AV junkce, má při předání signálů ze síní na komory dvě důležité funkce. Pozdržet rychle se šířící signál. Cílem je dostatečně prodloužit diastolický tok krve po proběhlé síňové kontrakci. Druhou, bezpečnostně důležitější funkcí je filtrace signálu. Zamezení převodu vysokých frekvencí ze síní. Horní mez filtrace frekvence není přesná fixovaná hodnota, je variabilní. V praxi ji odhadujeme podle kalendářního věku přepočtem $(220 - \text{věk})$. Fyziologicky je proměnlivě závislá na podobných mechanismech jako automacie SA uzlu a dá se exaktně změřit při elektrofyziologickém vyšetření srdce. Důležitá je taky automatická aktivita a zachování minimální frekvence. Tato automatická tvorba vzruchu je sekundární k SA uzlu a tím se považuje za „záložní“. Uvolnění signálů z AV junkce dále na komory prochází Hisovým svazkem. Jeho aktivita není patrná na EKG vyšetření, ale dokumentovatelná při elektrofyziologickém vyšetření. Doba od vzniku signálu SA uzlu do převedení signálu k Hisovému svazku nazýváme „suprahisální“. Vedení signálů oběma komorami je zajištěno rychlými dráhami (Tawarova raménka) dělící se na jedno raménko pro pravou komoru a dvě – přední a zadní – pro levou komoru. Přenos signálů je rychlý a zakončení převodních drah (Purkyňova vlákna) jsou aktivována homogenně v obou komorách ve velmi krátké

Tab. 1. Přehled míst tvorby vzruchu v srdci

Struktura převodního systému	Rytmus	Klidová tvorba vzruchu (počet/min)	Stav oběhu/dopad na oběh
Sinoatriální (SA) uzel	sinusový	90–50	normální
Síňová oblast AV junkce	junkční horní	50–40	normální
Hisův svazek	junkční dolní	40–30	pokles minutového výdeje srdce
Purkyňova vlákna	idioventrikulární	30–10	vede ke snížení srdečního minutového výdeje a k poklesu krevního tlaku

době. Dokončením komorové aktivace je výrazně pomalejší přenos na myocyty. Svalová depolarizace pokračuje od endokardiálních vrstev až k epikardiálním. Místa tvorby vzruchu ukazuje tabulka 1.

myokardu. Zobrazena voltáž EKG křivky je závislá na mase myokardu směru šíření a na tkáňovém a kožním elektrickém odporu. Nastavení EKG vertikální osy je standardně 10 mm = 1 mV.

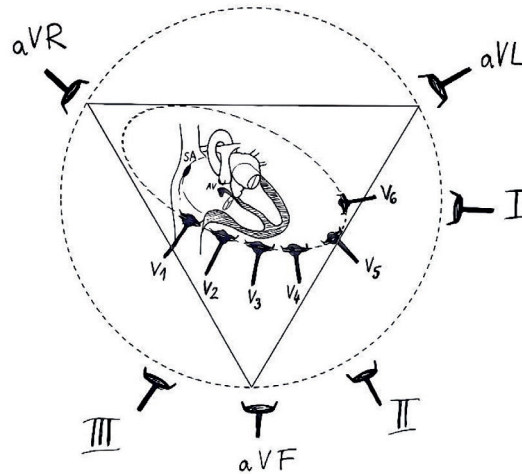
ZÁZNAM A SLEDOVÁNÍ ŠÍŘENÍ SIGNÁLŮ V MYOKARDU

Sledování šíření akčního potenciálu celým srdcem již více než 100 let nepřímě zobrazuje vyšetření elektrokardiografie (EKG) z povrchu těla. Elektrická činnost srdce i přes to, že nedosahuje vysokých napěťových amplitud, je detekovatelná z každého místa na povrchu těla. EKG pomocí cíleně umístěných elektrod zachycuje celkovou sumaci akčních potenciálů z myokardu v celé jeho struktuře, jeho směrové šíření a amplitudy zachyceného napětí.

Pro zjednodušení záznamu a reprodukovatelnost je pozice umístění elektrod standardizována na 12svodový zápis EKG. K tomu potřebujeme tři končetinové elektrody, šest hrudních elektrod a jednu končetinovou elektrodu pro uzemnění napětí. Elektrody přiložené na povrch těla zachycují elektrický signál a zapisují ho vertikálně v amplitudové křivce (mV) a horizontálně v nastaveném časovém posunu (nejčastěji 25 mm/s). Vytváří se horizontální zápis. Vychýlení křivky EKG ve vertikální ose nahoru znamená zachycení signálu směřující k umístěné elektrodě. A obráceně, posun křivky dolů znamená zachycení elektrického signálu směřujícího od elektrody. Vzhledem k postupu signálů komplexní anatomii srdce se směřování zachyceného elektrického signálu bude měnit. Rychlé změny a rychlé šíření signálu se v standardně posouvajícím zápisu jeví jako ostré kmity. Časově pomalejší změny nebo pomalé šíření signálu se zobrazí jako vlny. Izoelektrická linie představuje z pohledu umístěné elektrody žádný zachycený signál směřující k elektrodě nebo od ní. Většinou se jedná o diastolickou fázi po ukončení repolarizace srdce až po opětovnou aktivaci síní. Buňky srdeční svaloviny jsou v repolarizovaném stavu schopny po aktivaci signálem spustit vlastní depolarizaci. Další důležitá izoelektrická fáze je v období plató přetrvávající depolarizace a představuje homogenní depolarizaci buněk pracovního

STANDARDNÍ EKG ZÁZNAM

Na svody EKG se dá dívat zjednodušeně jako na „kamerový systém“, který sleduje elektrickou aktivitu, intenzitu a směřování v čase. Postupnost elektrické aktivace směrem k elektrodě se zobrazuje pozitivní výchylkou a od elektrody negativ-



Obr. 1 Schéma uložení a elektrod a získání signálů pro zápis EKG křivky

Pozice tří unipolárních končetinových elektrod je rozpoznatelná podle uložení v úhlech trojúhelníku.

- aVR – zprava, na pomyslných hodinách umístěných na hrudník je na 10. hodině. Jako jediná elektroda snímá signály z dutiny obou komor.
- aVL – zleva, vysoko laterálně, na 2. hodině; v sledování dominuje boční stěna levé komory.
- aVF – zespodu inferiorně, na 6. hodině; sleduje spodní, diafragmatickou oblast obou komor.

Další tři elektrody již jsou virtuální, a to matematicky vypočítané z předchozích končetinových.

Výsledkem je doplnění nových pozic pro sledování srdce z povrchu těla.

- I – vlevo laterálně, na 3. hodině
- II – vlevo inferolaterálně, na 5. hodině
- III – vpravo inferiorně, na 7. hodině

Hrudních šest elektrod V1–6 je umístěno od pozice nad pravou komorou přes septum až nad levou komoru laterálně, sledují rovněž směr a intenzitu elektrické aktivity unipolárně.

ní výchylkou. V případě izoelektrického období elektrody nezaznamenají směřování aktivace, ani k elektrodě ani od elektrody (obr. 1).

Analýzu EKG si lze zjednodušit a rozdělit elektrickou aktivitu na dvě části, na aktivitu obou síní a na aktivitu komor. Vliv na hemodynamickou činnost srdce má způsob, kterým je komora aktivována a frekvence komorové akce. Výsledkem fyziologické aktivace přes převodní systém je homogenní aktivace myokardu v celém rozsahu, a to ve velmi krátkém čase. Tím je zaručena optimální kontrakce, zajistí se tím taky synchronie kontrakce obou komor vůči septu. Zamezí se nebezpečným lokálním prodloužením aktivace myokardu a tím se sníží riziko maligních komorových arytmií.

K analýze EKG pomůže znalost faktů, ukrytých za kmity a vlnami EKG křivky:

- **Vlna P** – jedná se o sumaci aktivace a šíření aktivace pracovního myokardu pravé a následně levé síně. Vlna P je správně sumace dvou vln, pravé a levé síně. Vzhledem k anatomickému uložení SA uzlu v pravé síni, blíž k horní duté žíle je aktivace pravé síně rychlejší než levé. Levá síň je pomocí rychlého Bachmannova svazku aktivována tak, aby byla dosažena dostatečná synchronie obou síní. V případě hypertrofie síní se amplituda zvyšuje. Hypertrofií pravé síně se amplituda iniciační vlnky výrazně zvyšuje, vzniká obraz P pulmonale. V případě dilatace levé síně a opoždění převodu aktivace z pravé síně na levou síň vzniká dvouvrcholová vlna P, tzv. P mitrale. Velmi důležité pro rozpoznání sinusového rytmu je osa vlny P. Kvůli anatomii a šíření je osa P vlny intermediální, a tím na končetinových svodech pozitivní. Výjimkou je jen negativní P vlna ve svodu aVR. V případě změny osy vlny P je důležité detailně pátrat po síňové aktivaci, protože se může jednat o síňovou arytmií. Pomocný nám může být svod VI, který u sinusového rytmu svou pozicí logicky zaznamenává negativní vlnu P. Samotná aktivace SA uzlu není na povrchovém EKG patrná. Tvorba vzruchu v SA uzlu fyziologicky varíruje. Variabilita je způsobená vegetativním nervovým systémem. Když je variace vázaná na dechovou aktivitu, nazýváme jí respirační arytmiie.
- **PQ interval** – nejedná se o křivku, ani o kmit, ale o časové období, které je ohraničeno začátkem aktivace síní a ukončeno převedením síňového signálu do převodního systému obou komor. V období intervalu PQ se nachází celá aktivace obou síní (vlna P) a dále pokračující izoelektrická linie. Období izoelektrické aktivity mezi P a Q je způsobené proběhlou a ukončenou depolarizací síní a pozdržením signálů AV junkce. Normálně období PQ netrvá déle než

200 ms a není kratší než fyziologické zdržení potenciálu 120 ms. Interval PQ tedy představuje elektrickou činnost SA uzlu, obou síní a funkci AV junkce.

- **QRS kmit a trvání** – rychlý převod signálů pravým a levým Tawarovým raménkem a rozšíření po subendokardiální ploše komor zajišťují krátce trvající aktivaci myokardu komor. Tvar QRS kmitu je „podpisem“ aktivace obou komor. Pokud by nedošlo k správné aktivaci přes převodní systém srdce, křivka by byla pozměněna. Z tvaru křivky pak lze vystopovat postup šíření elektrické aktivace myokardem komor. Fyziologická aktivace a délka trvání QRS je krátká, trvá jen 80–120 ms. Výsledný vektor QRS a ostré zakončení QRS kmitů je důkazem rychlé aktivace. Pokud se myokard není schopen aktivovat přes převodní systém srdce, dochází k prodloužení aktivace, zmírnění sklonu kmitu, až vzniku tupého zakončení kmitu. Prodloužení aktivace komor může být jen lokální nebo komplexní poruchou komorového vedení.
- **ST segment** – představuje pokračující, ještě pořádkem depolarizovanou, fázi akčního potenciálu myocytů. Jedná se o fázi plató akčního potenciálu. Pokračování depolarizace myocytů je důležité pro prodloužení kontrakce myokardu, a tím dosažení optimálního zajištění ejekčního vypuzení krve z obou komor. Fyziologicky je v období plató aktivovaný celý myokard, elektrické napětí nevzniká a EKG je detekována izoelektrická linie. Období plató depolarizace je pro buňky energeticky náročná fáze a citlivá na hypoxii a ischemii. Při nedostatečném udržení plató depolarizace buněk myokardu dochází k nežádoucímu napětí a pomocí EKG je detekovatelná denivelace ST segmentu. ST segment je tak klinicky citlivým markerem ischemické choroby srdce a jiných patologických projevů při tkáňové hypoxii. V kardiologii byly nedávno nově definovány různé patologické procesy s denivelací ST segmentu i bez ischemie nebo hypoxie. Nehomogenní aktivace plató období je u nich způsobená poruchou iontových kanálů, zodpovědných pro udržení plató depolarizace. Klinicky jsou zařazeny mezi kanalopatie.
- **T vlna** – po ukončení období plató dochází k masivní repolarizaci myokardu a tím k přípravě opětovné možnosti být uchváten novým akčním potenciálem. Období repolarizaci myokardu komor je elektricky zranitelná fáze. Vlna T je pozvolná, nemá hroty a tím potvrzuje, že repolarizace neprobíhá tak promptně jako depolarizace. Dokonce fyziologicky dochází k prodloužení depolarizace subendokardiálních vrstev myokardu. Repolarizace pak začíná

v epikardiálních vrstvách a směrem k subendokardiálním vrstvám. To znamená, že nejdelší období energeticky náročné depolarizace odvedou buňky subendokardiálních vrstev, a jsou tak citlivější na ischemii nebo hypoxii. V druhé polovině vlny T je myokard komor elektricky výrazněji nehomogenní. Epikardiální buňky jsou již po ukončené repolarizaci a repolarizace subendokardiálních vrstev ještě probíhá. Toto období je zranitelné a nově vzniklý akční potenciál v komorách v tomto období může vést k maligní komorové arytmií. Vzhledem k obrácené posloupnosti repolarizací, od epikardiálních vrstev k subendokardiálním, kopíruje vlna T největší výchylku QRS komplexu. To vysvětluje stejnou osu T vlny jakou má QRS. Normálně je konkordantní ke QRS komplexu.

- **QT interval** – elektrická depolarizace a následná repolarizace probíhá v období intervalu QT. Jedná se o jednu revoluci komorového myokardu. Začíná aktivací pracovního myokardu Q kmitem nebo R kmitem QRS komplexu a je ukončená začátkem izoelektrické linie po dokončení vlny T. Rozšíření QRS komplexu při patologické aktivaci myokardu nebo prodloužení a nehomogenní repolarizací se QT interval patologicky prodlužuje. Délka trvání QT se fyziologicky prodlužuje při poklesu frekvence a podstatně zkracuje při tachykardii. Trvání QT intervalu proto musí být vždy vztaženo k frekvenci QRS komplexů.

ZÁPIS NORMÁLNÍHO EKG

Pro hodnocení EKG je nutná standardizace a obrazová dokumentace křivky EKG. Běžným standardem je zapsat EKG na milimetrový papír v období 10 sekund, rychlostí zápisu 25 mm za sekundu s nastavením vertikální voltáže na 10 mm = 1 mV. Záznam 12svodového EKG je nejčastěji rozdělený na 6 končetinových záznamů a 6 hrudních unipolárních, obě v trvání po 5 sekund. Dále by měl být dokumentován alespoň jeden končetinový svod kontinuálně v 10sekundovém zápisu.

Do klinické praxe – textový formát zápisu EKG nemůže mít takovou informační hodnotu jako obrazová dokumentace, proto – pokud je to klinicky důležité – je nutné obrazovou dokumentaci EKG vždy připojit k textové zdravotnické dokumentaci.

Pro textový zápis EKG se v klinické praxi používají různé formáty. Zápis EKG v textu je vhodné rozdělit na část popisu údajů z EKG a zakončit zápis klinickým zhodnocením.

Rytmus – rytmem je myšlen původ elektrické aktivity komor. Jedná-li se o normální nález, půvo-

dem elektrické aktivace komor je rytmus sinusový. Vždy je důležité analyzovat původ aktivace komor.

Akce – akcí srdce je myšlena pravidelnost a následnost QRS komplexů. Normální nález je pravidelná srdeční akce bez pauz, bez vynechání QRS komplexu. Fyziologicky se můžou objevit i ojedinělé předčasné stahy komor síňového nebo komorového původu, extrasystoly.

Frekvence komor – hodnotíme počet QRS komplexů za jednu minutu. Pochopitelně udává zaznamenanou elektrickou frekvenci a nikoli hemodynamickou aktivitu komor. V případě výraznější nepravidelnosti se udává průměrná frekvence nebo minimální a maximální interval mezi dvěma komplexy. Nesmí být opomenuta také frekvence síní. Normálně je v poměru 1 : 1 k frekvenci komor, ale při různých formách arytmií je důležité dokumentovat i frekvenci a pravidelnost síňové akce.

Do klinické praxe – pro rychlé určení frekvence srdeční akce spočítejte počet QRS komplexů na celém jednom svodu EKG a vynásobte ho 6krát. Předpokladem je standardní EKG zápis 25 mm/s, který trvá na jednom listu papíru 10 sekund. Vynásobením 6krát zjistíme frekvenci srdeční akce v období 60 sekund.

Osa, vektor QRS – vektor QRS komplexu prozrazuje aktivaci obou komor, jejich následnost a potenciální patologii. Osu udáváme ve stupních, kde horizontální osa představuje 0° a vertikální osa 90°. Fyziologicky se pohybuje v rozmezí -30° až +110°. Doplněním slovního zápisu definujeme horizontální (-30° až 30°), intermediární (30° až 60°), vertikální (60° až 110°) patologie. Za patologickou osu srdce považujeme deviaci vlevo (méně než -30°) nebo deviaci vpravo (více než 110°).

P vlna – v EKG zápisu hodnotíme její vztah ke komorové frekvenci. Pokud její tvar a trvání je abnormální, je důležité tento údaj zmínit v dokumentaci.

PQ interval – zápis údajů o trvání PQ intervalu přehledně v milisekundách představuje aktivaci síní a funkci AV junkce, proto je tento údaj důležitý a nesmí chybět. Zápis prodlužování nad normu, nebo dokonce intermitentní disociace od aktivace komor je v zápisu označeno jako AV blokáda.

QRS – tvar a trvání QRS komplexu je popisem aktivace komor, proto délka trvání QRS komplexu se zapisuje pro přehlednost v milisekundách. Tvar QRS, pokud je odlišný od normálního úzkého tvaru QRS, by měl být popsán ve formě typických blokád převodních drah, nebo detailně dokumentovat patologické kmity nebo patologické zpomalení a prodloužení aktivace komor.

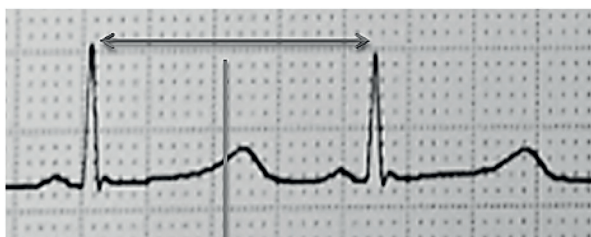
ST segment – izoelektrická linie po dokončení QRS komplexu je normální a fyziologická, ale

POSTGRADUÁLNÍ VZDĚLÁVÁNÍ

velmi citlivá na různé patofyziologické procesy. Potvrdíme proto tvar ST segmentu jako izoelektrický. Je-li zjištěna deprese ST segmentu, je vhodné věnovat analýze ST segmentu více času. Ve všech svodech pak popíšeme ST segment samostatně, jedná-li se o depresi ST segmentu nebo ST elevaci. Depresi ST zapisujeme v milimetrech od izoelektrické linie, která je k porovnání mezi T a P vlnou. Lze se ještě víc detailně zaměřit na první část ST segmentu těsně po QRS komplexu a na konečnou část ST segmentu. Obě mají jinou klinickou výpočetní hodnotu.

T vlna – konkordantní, to znamená kopírující nejvýraznější výchylku QRS komplexu (většinou pozitivní), je normálním nálezem na EKG. Obrácení vln T znamená, že nedochází k pozdržení plató v subendokardiálních vrstvách a repolarizace probíhá od subendokardiálních vrstev k epikardiálním. Není to dostatečně specifický patologický jev, ale je součástí mnoha patofyziologických procesů v myokardu nebo vegetativního nervového systému.

QT interval – období jedné celé elektrické komorové revoluce. Zaznamená se trvání od začátku QRS do ukončení vlny T a opět pro přehlednost v milisekundách. Trvání normálního QT intervalu při klidné pravidelné srdeční akci nepřesahuje 480 ms (obr. 2).



Obr. 2 Prodloužení QT intervalu na 580 ms
Konec vlny ploché T s pozvolným začátkem přesahuje až do druhé poloviny RR intervalu.

Do klinické praxe – rychlou metodou je pohled na délku trvání T vlny a fakt, že QT interval bude normální, pokud T vlna končí v před pomyslnou polovinou RR intervalu.

Na závěr zápisu do dokumentace by se mělo zaznamenat krátké zhodnocení s významem pro aktuální klinický stav. Zejména zvýraznění abnormálního nálezu, pozorované nové změny, a někdy i přímo diagnózu. Příklad zápisu normálního EKG do dokumentace:

EKG: datum; rytmus sinusový, akce pravidelná, osa intermediární, frekvence 70/min, PQ interval 160 ms, QRS 80 ms, QT interval 380 ms, ST izoelektrický bez denivelace, T vlny pozitivní. Závěr: normální nález.

Povrchové EKG má rovněž své limitace. Lze je rozdělit na technické přístrojové limitace a limitace ze strany pacienta. Mezi technické limitace patří zejména artefakty způsobené interferencí snímaných signálů, např. nedostatečný vodivý kontakt mezi elektrodou a kůží pacienta, poškození kabelů přístroje, interference elektromagnetického záření (mobilní telefon, blízké vysoké napětí, nedostatečné uzemnění okolních přístrojů, použití elektrokauterizace). Na straně pacienta to jsou zejména nedostatečná spolupráce a motorický neklid v průběhu záznamu EKG, svalový třes. Zvýšení elektrického odporu mezi srdcem a povrchem těla snižuje amplitudu záznamu a ovlivňuje interpretaci záznamu (perikardiální výpotek, pneumotorax, obezita).

Věděli jste, že...

...křivku EKG s písmeny P-QRS-T publikoval poprvé Einthoven již v roce 1901 a jeho přístroj vlastní výroby vážil asi 270 kg.

...sinusový rytmus není normálně pravidelným rytmem srdce (= Heart Rate Variability).

...zdánlivě pravidelný sinusový rytmus zdravého člověka se po jedné komorové extrasystole přechodně zrychlí a pak zpomalí (= Heart Rate Turbulence).

DOPORUČENÁ LITERATURA

1. Mann, Douglas L. et al. Braunwald's heart disease: a textbook of cardiovascular medicine. Elsevier Health Sciences, 2014.
2. Einthoven, W. Un nouveau galvanometre. Arch. Neerl. Sc. Ex. Nat., 1901, 6, p. 625–633.
3. Burnett, J. The origins of the electrocardiograph as a clinical instrument. Medical History Supplement 5, 1985, p. 53–76.
4. Becker, Daniel E. Fundamentals of electrocardiography interpretation. Anesthesia progress, 2006, 53, 2, p. 53–64.

Adresa pro korespondenci:

MUDr. Jozef Jakabčin, Ph.D.

Oblouková 363

403 40 Ústí nad Labem

e-mail: Jozef.Jakabcin@kzcr.eu