

Měření frakční průtokové rezervy

Daniel Chalupa¹, Pavel Chutný¹, Petr Kala², Jan Kaňovský², Lumír Koc², Tomáš Ondůš², Tereza Nováková²

¹Biomedicínská technika a bioinformatika, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně

²Interní kardiologická klinika FN a LF MU, Brno

Práce popisuje obecné principy výpočtu frakční průtokové rezervy. Zabývá se také přístroji, které nám umožňují invazivní měření krevního tlaku. Rozebírány jsou obecné aspekty digitalizace a přenos signálu mezi senzorem a počítačem. Dále se zaměřuje na tři komerčně vyráběné přístroje. Nakonec je zmíněna stručná historie této diagnostické metody.

Klíčová slova: frakční průtoková rezerva (FFR), krevní tlak, diagnostická metoda, digitální přístroj.

Measurement of fractional flow reserve

This article describes the basic principles of fractional flow reserve. It covers systems to measure the blood pressure inside vessels. It analyses the basic aspects of digitalization and the transfer of signal between sensor and computer. Three commercially produced systems are described.

Key words: fractional flow reserve (FFR), blood pressure, diagnostic method, digital system.

Interv Akut Kardiolog 2015; 14(3): 129–131

Úvod

Frakční průtoková rezerva (FFR – Fractional Flow Reserve) je invazivní diagnostická metoda, prováděná při koronárním angiogramu pomocí katetrizace koronárního řečiště a použití koronárního vodiče s mikromanometrem. Lze jí přesně změřit tlak proximálně a distálně od stenózy. Poměr získaných hodnot pak aproximuje funkci cévy a pomáhá lékaři rozhodnout o provedení angioplastiky.

Tato práce si klade za cíl seznámit čtenáře s obecnými principy FFR a s technickými aspekty přístroje pro její měření. V první kapitole čtenář nalezne matematicko-fyzikální základ pro měření. Kapitola „Transformace dat“ osvětluje jak některé obecné parametry měřících přístrojů a jejich vliv na naměřená data, tak obecnou konstrukci přístroje pro měření FFR. Třetí kapitola „Dostupné přístroje“ popisuje vybrané přístroje a snaží se nastínit rozdíly mezi nimi. Poslední kapitola se zaměřuje na vývoj metody v čase.

Princip

FFR je definována jako poměr průtoků krve myokardem při hyperemii se stenotickou koronární cévou a Q_n je průtok myokardem s normální cévou.

$$FFR = \frac{Q_s}{Q_n}$$

Rovnice 1 – FFR, kde Q_s je průtok myokardem se stenotickou cévou a Q_n je průtok myokardem s normální cévou.

Měření průtoků krve cévou přímou cestou by nicméně bylo komplikované. Vychází se proto ze vztahu:

$$Q_n = \frac{P_a - P_v}{R}$$

Rovnice 2 – maximální průtok myokardem za normálních okolností, kde Q_n je maximální průtok myokardem, R je rezistence myokardu proti proudění krve při maximální vazodilataci, P_a je střední systémový arteriální tlak a P_v je centrální střední žilní tlak. Všimněme si, že tato rovnice platí pouze při maximálním průtoku. Je proto nutné ho při měření FFR dosáhnout léčivem (adenosin, papaverin). Analogicky pak:

$$Q_s = \frac{P_d - P_v}{R}$$

Rovnice 3 – maximální průtok myokardem se stenotickou koronární cévou, kde Q_s je maximální průtok myokardem za přítomnosti stenózy a P_d střední tlak v koronární tepně distálně od stenózy. Centrální žilní tlak je v normálních případech blízký nule (4,5 mmHg (2)). Dále předpokládáme, že rezistence myokardu je v rovnicích 2 a 3 stejná a že závislost P_a na P_d je v průběhu srdečního cyklu konstantní (tyto poslední dva předpoklady však nemusí být pravdivé, částečné řešení představuje metoda iFR, diskutovaná v kapitole „Dostupné přístroje“). Výsledkem je rovnice:

$$FFR_{myo} = \frac{P_d}{P_a}$$

Rovnice 4 – FFR užívaná v praxi (8).

Transformace dat

Nejprve se zaměříme na některé obecné vlastnosti digitálních akvizčních přístrojů. V druhé části se pak zaměříme na cestu FFR

dat od konce vodičového drátu až po obrazovku počítače.

Časové rozlišení

Časové rozlišení je počet snímání parametru za sekundu. Udává tedy nejkratší možný okamžik, ve kterém je přístroj schopen sejmout snímání parametru.

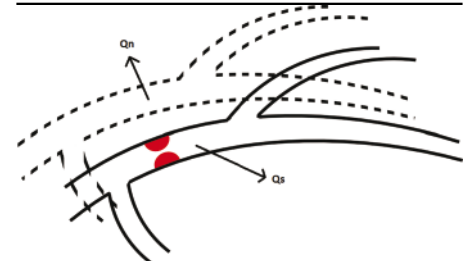
Kvantovací krok

Kvantovací krok oproti tomu je rozlišení na pomyslné ose ypsilon. Udává nejmenší možný detekovatelný rozdíl parametru, v našem případě krevního tlaku.

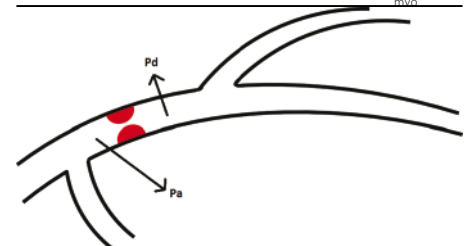
Přesnost

Udávána většinou jako maximální odchylka od skutečné hodnoty v rozmezí měřených

Obrázek 1. Schematická ilustrace teoretické FFR



Obrázek 2. Schematické znázornění FFR_{myo}



hodnot. V dokumentaci PressureWire™ Aeris™ od firmy St. Jude Medical lze nalézt:

- ± 1 mmHg plus $\pm 1\%$ of reading (-30 to 50 mmHg)
- $\pm 3\%$ of reading (50 to 300 mmHg)

Drift

Drift je odklon od nulové izolinie za čas. Přístroj tedy po nějaké době běhu bude měřit například větší tlak, než je tlak reálný. V rámci FFR lze po měření zkontrolovat drift měření tak, že stáhneme vodičí drát zpět na úroveň zaváděcího katétru a ověříme, že FFR je v tomto místě rovno jedné.

Šum

Šum je definován jako neužitečná složka signálu. Vzniká různými způsoby, ať již hovoříme o tepelném, vzniklém nedokonalostí vodiče, nebo kosmickým zářením. Obecně platí, že čím delší je vodič, tím vyšší je šum.

Přístroj

Dva tlakové senzory, jeden na konci vodičího drátu (měří distální tlak), druhý na konci katétru (arteriální tlak), mění tlak na elektrický odpor (jedná se o tzv. tenzometry, díky deformaci tenzometru se mění jeho elektrické vlastnosti). Přímou za senzory by měl následovat zesilovač pro co nejnižší zahuštění. Vodiče uvnitř katétru poté vedou do A/D převodníku, který mění spojitý analogový signál na digitální pro zpracování počítačem. A/D převodník ovlivňuje časové rozlišení i kvantovací krok.

Následné zpracování počítačem obsahuje výpočet aktuálního průměru (průměr se počítá v pohyblivém okně, „klouzajícím“ po signálu) a výpočet samotné FFR (ať už z přímo měřeného signálu, nebo z průměrovaného). Může obsahovat i hledání maxima FFR.

Dostupné přístroje

St. Jude Medical ILUMIEN™ OPTIS™ PCI Optimization™ SYSTEM (3)

Přístroj firmy St. Jude Medical kombinuje bezdrátové měření FFR s optickou koherenční tomografií. Firma dodává rozsáhlý software schopný obě metody zpracovat.

Volcano Corp. FFR/iFR® Modality (4)

Přístroj pro měření iFR (instantaneous wave-free ratio) má stejné součásti jako přístroj FFR, rozdíl je ovšem ve výpočtu. iFR se počítá pouze v určitém úseku diastoly. Díky tomu, že v tomto úseku je rezistence konstantní, není třeba použít léků pro vyvolání hyperemie. Hybridní modalita firmy Volcano Corp. spojuje

obě metody v jednom přístroji. Nejprve se měří iFR a při nerozhodnosti se přivodí hyperemie a měří se FFR.

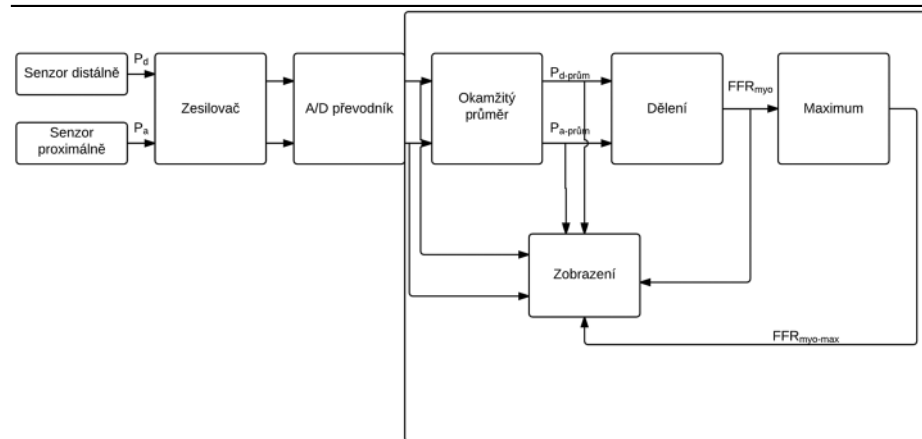
Boston Scientific POLARIS™ Imaging System (5)

Podobně jako přístroj St. Jude Medical kombinuje i modalita Polaris™ FFR se zobrazovací technikou. V tomto případě se však jedná o kombinaci s IVUS (intravaskulární ultrasonografií).

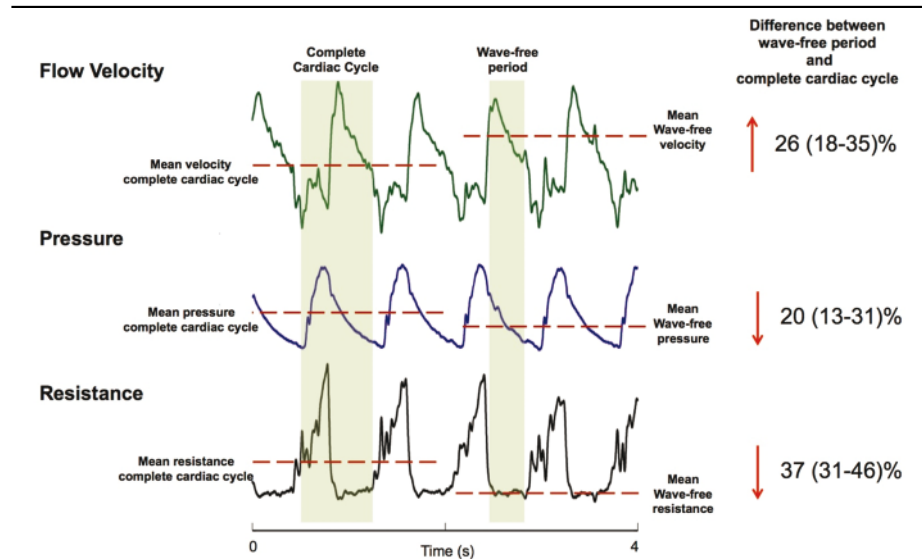
Historie

Již Andreas Grüntzig, který vyvinul balonkovou angioplastiku, užíval balonkových katétrů pro měření krevních tlaků před a za sténózou. Nicméně výsledky jeho měření nebyly uspokojivé. Rozměrný katétr značně ovlivňoval průtok krve a nebylo možné nalézt vztah mezi tlaky. Dále tlaky nebyly měřeny při maximální hyperemii, podmínka pro vztah z rovnice 2 a 3. Dnes již jsou tyto problémy překonány, a to otevřelo možnosti průzkumu měření FFR, například studiím DEFER a FAME.

Obrázek 3. Blokové schéma měření FFR



Obrázek 4. Srovnání průběhů průtokové rychlosti, tlaku a rezistence během celého srdečního cyklu a v tzv. bezvlnovém úseku.



rozhodnutí bylo řízeno měřením FFR s hranicí významnosti $\leq 0,80$.

Studie FAME II (9)

Studie FAME II pracovala s hypotézou, že PCI prováděná dle FFR významnosti lézí u pacientů se stabilním koronárním postižením bude signifikantně lepší terapií v porovnání s medikamentózní léčbou. Primárním cílem byla kombinace smrti, opakování infarktu myokardu a nutnost urgentní revaskularizace. Studie byla předčasně zastavena po zařazení 1 220 pacientů pro výrazně lepší výsledky větve s PCI.

Závěr

FFR představuje okamžitou a poměrně jednoduchou a spolehlivou cestu měření krevního tlaku, ze kterého lze odvodit funkční významnost postižení cévního systému. Na trhu lze nalézt dostatek přístrojů, které tento typ měření využívají a dokonce vylepšují. Jako nevýhodu lze vnímat fakt, že FFR je ze své podstaty invazivní měření.

*Děkuji MUDr. Petru Kalovi, Ph.D., FESC
a MUDr. Janu Kaňovskému, Ph.D. za cenné
rady a připomínky při tvorbě tohoto článku.
Podpořeno MZ – ČR RVO (FNBr, 65269705).*

Literatura

1. H.J. PIJLS Nico, DE BRUYNE Bernard, Coronary Pressure, Kluwer Academic Publishers, 2000.
2. Švíglerová J. Centrální žilní tlak [online]. Poslední revize 2009–02–18, [cit. 2014–11–10] <http://wiki.lfp-studium.cz/index.php/Centrální_žilní_tlak>.
3. St. Jude Medical, Inc. ILUMIEN™ OPTIS™ PCI Optimization™ System [online] <<http://professional.sjm.com/products/vas/intravascular-diagnostics-imaging/ffr-oct/ilumien-optis-pci-optimization-system>> [cit. 2014–11–10].
4. Volcano Corporation. CORONARY PHYSIOLOGY: The iFR® Modality [online] <http://www.volcanocorp.com/products/ifr.php#.VGnZu_mG90Y> [cit. 2014–11–10].
5. Boston Scientific. Boston Scientific Launches POLARIS™ Imaging System [online] <<http://news.bostonscientific.com/2014-07-22-Boston-Scientific-Launches-POLARIS-Imaging-System>> [cit. 2014–11–10].
6. Pijls NH, van Schaardenburgh P, a kol. Percutaneous coronary intervention of functionally nonsignificant stenosis: 5-year follow-up of the DEFER Study. J Am Coll Cardiol. 2007 May 29;49 (21): 2105–11. Epub 2007 May 17. PubMed PMID: 17531660.

7. Tonino Pim AL, a kol. Fractional Flow Reserve versus Angiography for Guiding Percutaneous Coronary Intervention N Engl J Med 2009; 360:213–224 January 15, 2009 DOI: 10.1056/NEJMoa0807611.

8. Mates M. Frakční průtoková rezerva myokardu. [online] <<http://www.iakardiologie.cz/pdfs/kar/2011/90/06.pdf>> [cit. 2014–11–10].

9. De Bruyne, Bernard Nico HJ. Pijls, Bindu Kalesan, Emanuele Barbato, Pim A. L. Tonino, Zsolt Piroth, Nikola Jagic, et al. "Fractional Flow Reserve-Guided PCI versus Medical Therapy in Stable Coronary Disease." New England Journal of Medicine 367, no. 11 (September 13, 2012): 991–1001. doi: 10.1056/NEJMoa1205361.

*Článek přijat redakcí: 12. 2. 2015
Článek přijat k publikaci: 2. 7. 2015*

Daniel Chalupa

*Biomedicínská technika a bioinformatika,
Fakulta elektrotechniky a komunikačních
technologií, VUT v Brně
Antonínská 548/1, 601 90 Brno
xchalu11@stud.feec.vutbr.cz*