

METROLOGICKÉ VLASTNOSTI PROFILOMETRICKÝCH KATÉTRŮ V EXPERIMENTU

F. Zátūra

Urologická klinika FN Olomouc

Souhrn

Na experimentálním fantomu uretry býka byly simulovány kompresní tlaky působící z jedné strany i tlak cirkulární. Ukázalo se, že jak měření perfuzní metodou katétrů s jedním či více otvory, tak měření katétrů s měřicí komůrkou poskytují dobrou reproduktibilitu, ale je zde výrazná závislost signálu na pozici katétru v uretře. Totéž se týká i katétru s vestavěným senzorem (MikroTip). Sumární informaci o tlaku z celého obvodu uretry poskytoval pouze katétr s miniaturním balonkem se vzduchovou náplní (TDOC air charged). Zde byla i nejlepší citlivost měření, i nejnižší rozptýlenost.

Klíčová slova: Urethra pressure profile, UPP, profilometrie.

METROLOGICAL PROPERTIES OF PROFILOMETRY CATHETERS IN AN EXPERIMENT

Summary

Using an experimental phantom of the urethra made from the urethra of the bull, compression pressures acting from one side as well as circular pressure were simulated. Both the measurement with the perfusion method using catheters with one or more openings and the measurement with catheters with a measuring chamber have been shown to provide good reproducibility, however, the signal is strongly dependent on the position of the catheter in the urethra. The same applies to the catheter with an incorporated sensor (MikroTip). Overall information on the pressure from the whole circumference of the urethra was obtained only from an air-charged balloon catheter (T-DCC). This device also yielded the best sensitivity rates as well as the lowest diffusion rates.

Key words: Urethral pressure profile, UPP, profilometry.

Česká urologie 2006; 3: 24–29

Úvod

Tlakový profil uretry je diskutovanou metodou, zejména s ohledem na klinické využití. Autor se soustředil na metrologické otázky a studoval v experimentu schopnost zachytit simulované tlakové změny pomocí různých měřicích katétrů, které jsou pro toto vyšetření nejčastěji užívány.

Korektně definovat a hodnotit uzávěrový mechanismus uretry pomocí jednoduše změřitelné biofyzikální veličiny je poměrně obtížné a je otázkou, zda to je vůbec možné. Jednou z možností je uretrální tlakový profil, klasická urodynamická metoda, která využívá pro hodnocení uzávěru uretry měření tlaku v celé délce uretry (uretrální tlakový profil), v klidu (statická profilometrie) a při zvýšeném abdominálním tlaku (dynamická profilometrie).

Její výsledky však nejsou jednoznačně přijímány a je otázkou, zda je to nedostatečným vyjádřením vlastností uzávěru uretry pomocí měření tlaku, nebo zda jde o problém nesprávného měřicího postupu této veličiny, když dosud chybí jednoznačná definice provedení profilometrie, a to zejména ve smyslu přesné definice tvaru měřicího katétru.

Cílem této práce je posoudit variabilitu výsledků měření uretrálního tlakového profilu v experimentu při využití různých, relativně často využívaných variant měře-

ní. Můžeme se tak setkat s měřením perfuzní metodou, kde na vlastnosti uretrálního uzavíracího mechanismu usuzujeme dle tlaku, který působí stěna uretry odporem proti vytékání kapaliny tenkým otvorem z měřicího katétru. Další možností je měření tlaku v uretře pomocí tlakového senzoru na stěně měřicího katétru (MicroTip), či podle tlaku, který stěna uretry působí na miniaturní balonek na měrném katétru. Při zřejmě nejčastěji užívané perfuzní metodě profilometrie lze využít perfuzního katétru s jedním bočním otvorem, se dvěma či více otvory, s cirkulárním ohraničením úseku s měřicím otvorem pomocí nálitku na katétru.

Otázkou je, zda je měření těmito katétrů reprodukovatelné, zda je závislé na typu katétru a jeho orientaci v uretře, i zda je měření schopno dobře zachytit změny tam, kde tlak nepůsobí rovnoměrně v celém obvodu uretry.

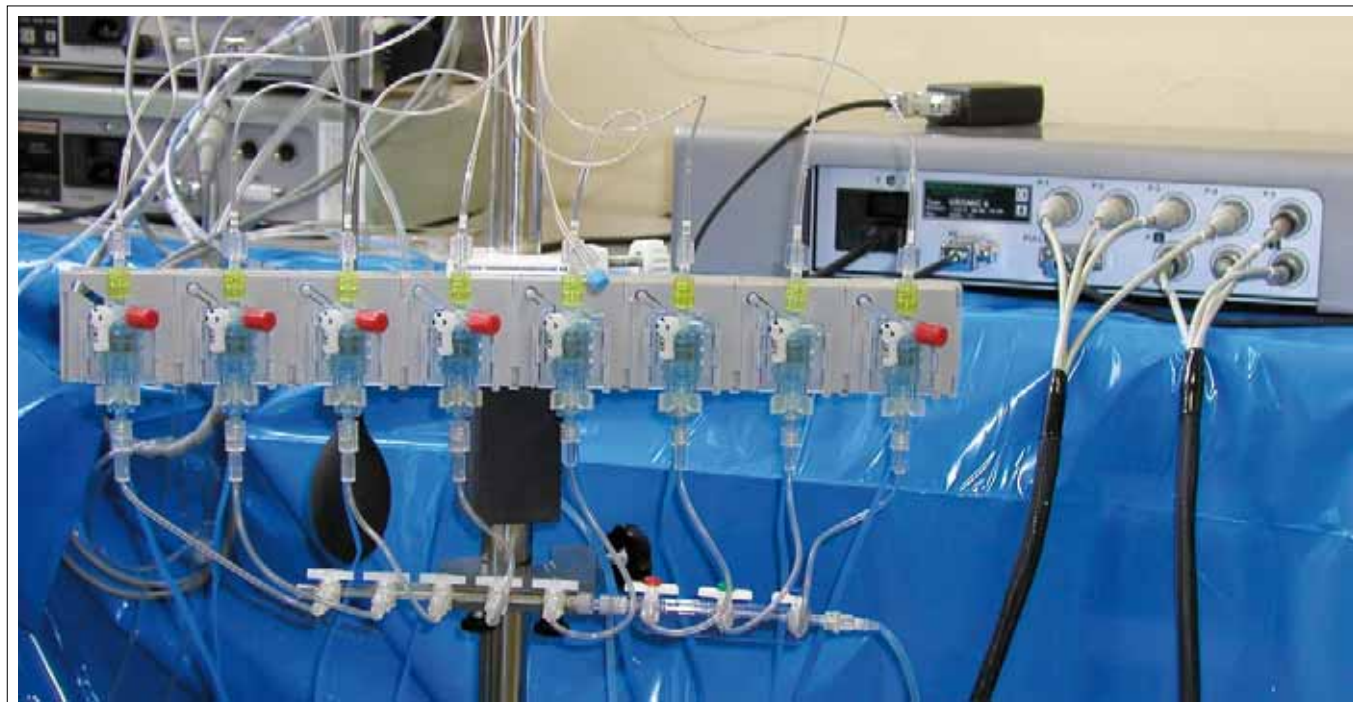
Materiál a metody

Na experimentálním preparátu z uretry býka, který byl nejprve podrobně ověřen (1), bylo pomocí závaží a koncentrické imprese simulováno působení tlaku z jediné strany uretry i změny koncentrické. Tlak na uretru byl vyvozen v poloze 0° hmotnostmi v 7 bodech: 123 g, 123 g, 87 g, 87 g, kolmo na uretru, cirkulární tlak a dále kolmo na uretru hmotnost 87 g a 87 g (obrázek 1).

Obrázek 1.



Obrázek 2.



K měření jsme použili urodynamickou aparaturu Uromic 6 (obrázek 2) se speciálními softwarovými úpravami, jako srovnávací aparatura sloužil Medtronic Encompass. Jednotlivé tlakové kanály byly kalibrovány po 60 minutách zahřátí přístroje a kontrola byla prověřena na konci měření digitálním tlakoměrem Greisinger GMH 3160–07B, který byl úředně kalibrován v akreditované laboratoři firmy Meros.

Na obvodu katétrů byl označen *orientační bod* a poté byl katétr postupně upevněn do držáku profilometrického vytahovače a 10× změřen tlakový profil v pozicích tohoto bodu na č. 0°; 90°; 180° a 270°. Pro perfuzní profilometrii byla zvolena rychlost perfuze 1 ml/min, u které jsme předběžným měřením zjistili, že je zatížena sice menší senzitivitou, ale výrazně menší chybou (1).

K vyhodnocení byly převzaty charakteristické záznamy (odchylky tlaku v bodech simulace tlakových změn

mezi jednotlivými křivkami opakovaného měření nepřesáhly 3%). Odchylky v pozici v délce uretry byly akceptovány v rozsahu 10 mm a vyhodnocení tlaku v místech komprese bylo provedeno manuálně jako nejvyšší tlak v dané oblasti. Jednotlivé křivky pak byly porovnány graficky sumací 4 křivek v jednotlivých pozicích katétru s ohledem na pozici v uretře, respektive orientaci v příčném průřezu uretry v pozicích č. 0°; 90°; 180° a 270°. Tyto pozice lze popsat i dle ciferníku hodin 0 resp. 12, 3; 6 a 9 hodin.

Pro měření byly využity standardní měřicí katétry, které jsou na českém trhu relativně často využívány, a jejich tvar je do určité míry typický a zkušenosti lze využít i pro katétry dalších výrobců (Synergia, Laborie):

- 1) katétry pro perfuzní měření, s bočním otvorem či otvory (obrázek 3). D této skupiny patřily katétry uvedené v tabulce 1

Tabulka 1

Kat. číslo	Výrobce	Průměr	Počet kanálů	Počet otvorů profilometru	Průměr otvorů profilometru	Průřez
9021P5891	Medtronic	9F	3	1	0,4	ovál
9021P	Medtronic	7F	2	2	0,4	kruh
AH5108	Porges	8F	2	1	0,8	kruh
AH5110	Porges	10F	2	1	0,8	kruh

Tabulka 2.

Kat. číslo	Výrobce	Průměr	Počet kanálů	Počet otvorů profilometru	Průměr otvorů profilometru	Průřez
Wiruthan ZYS 301395752 094001	W. Rush	9F	3	1 (komůrka)	0,6	kruh
Wiruthan ZYS 301 395752 074001	W. Rush	7F	3	1 (komůrka)	0,6	kruh

Tabulka 3.

Kat. číslo	Výrobce	Průměr	Počet kanálů	Počet otvorů profilometru	Průměr otvorů profilometru	Průřez snímacího prvku
9022K071	Medtronic	6F	Mikro-snímač	–	–	bod

Tabulka 4.

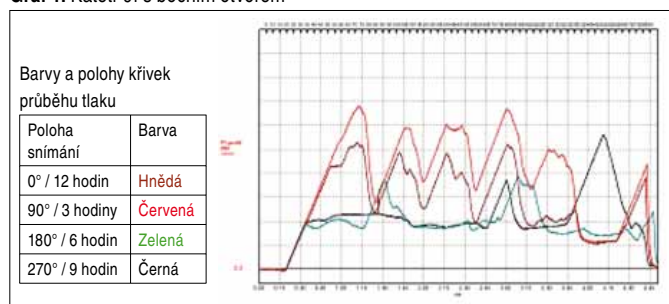
Kat. číslo	Výrobce	Průměr	Počet kanálů	Počet otvorů profilometru	Průměr otvorů profilometru	Průřez snímacího prvku
TDOC	TDOC	10CH	2 (3)	balónek	–	koule

Tabulka 5.

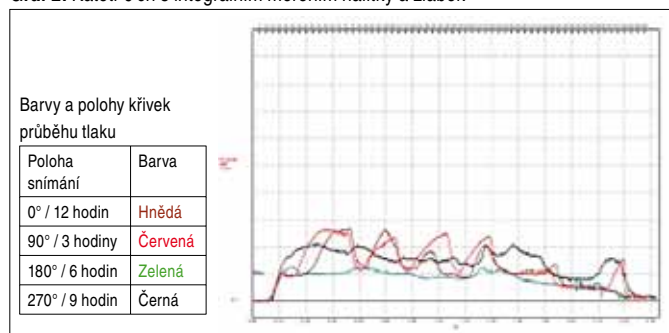
Kat. číslo	Výrobce	Průměr	Počet kanálů	Počet otvorů profilometru	Průměr otvorů profilometru	Průřez snímacího prvku
9012P2371	Zynetics	14F	4	4	0,6 mm	ovál
9012P2361	Zynetics	14F	8	8	0,6 mm	ovál

- katétry s integrálním měřením, s cirkulárním žlábkem ohraničeným nálitky (obrázek 4), (tabulka 2)
- katétry s mikrosnímačem, integrovaným do těla snímače (obrázek 5), (tabulka 3)
- katétry s miniaturním balonkem, naplněným plynem (obrázek 6), (tabulka 4)
- katétry speciální, multikanálové (obrázek 7), (tabulka 5).

Graf 1. Katétr 9f s bočním otvorem



Graf 2. Katétr 9 ch s integrálním měřením nálitky a žlábkem

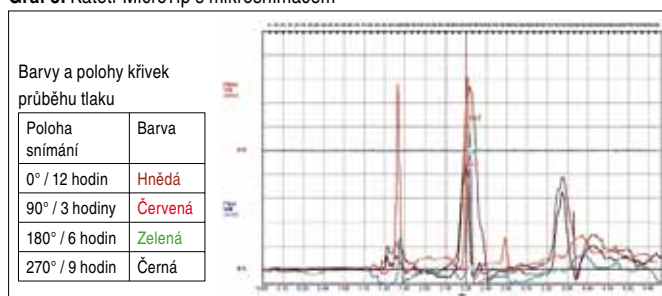


Výsledky

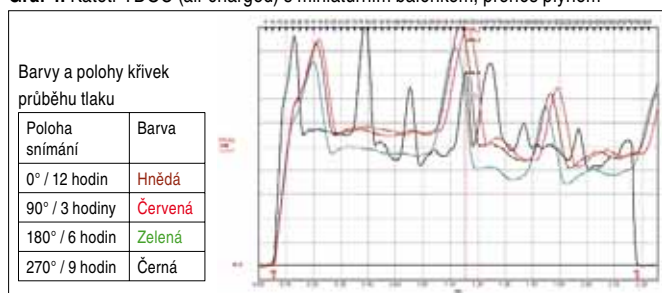
Kalibrace aparatury před a po měření se shodovaly, aparaturu tedy hodnotíme jako přesnou a stabilní.

Při grafickém srovnání jednotlivých křivek jsme využili sumaci 4 křivek získaných v pozicích 0°, 90°, 180° a 270°. Potvrdilo se očekávání, že katétry s větším průměrem lépe a citlivěji zaznamenají změny tlaku způsobené zevní kompresí uretry, i to, že většina tlakových změn je v pozici kolem 0°, naopak minimální změny jsou na straně odvrácené od komprese (vzorové grafy 1–4).

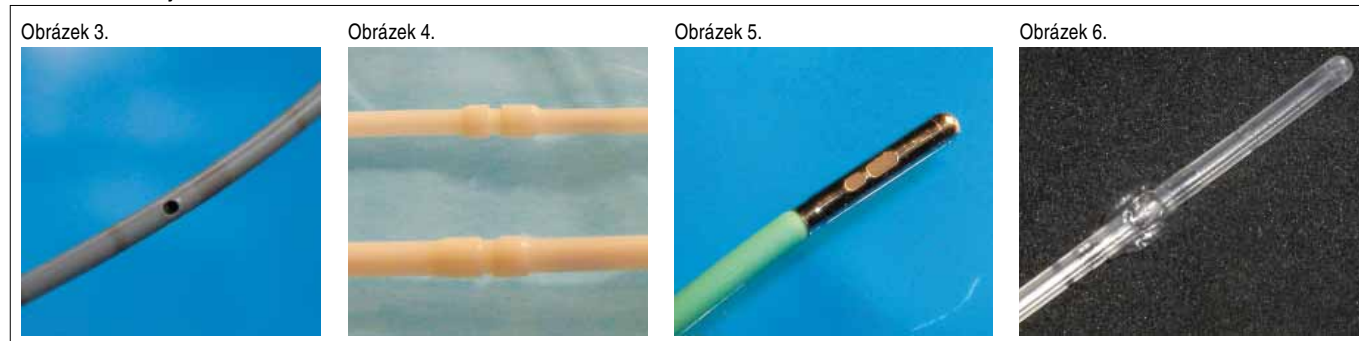
Graf 3. Katétr MicroTip s mikrosnímačem



Graf 4. Katétr TDOC (air charged) s miniaturním balonkem, přenos plynem



Přehled hodnocených katétrů



Tabulka 6. Měření katétrů v experimentu

		173 g	173 g	87 g	87 g	Cirkulár	87 g	87 g
Katétr	Poloha	45 mm	85 mm	95 mm	150 mm	200 mm	240 mm	280 mm
Medtronic 9F	0°	65	59	60	57	49	72	27
Medtronic 9F	90°	136	117	116	133	99	23	86
Medtronic 9F	180°	104	96	96	103	43	22	76
Medtronic 9F	270°	45	45	44	74	36	110	38
Medtronic 7 F	0°	16	16	124	16	17	7	15
Medtronic 7 F	90°	15	15	11	13	18	13	14
Medtronic 7 F	180°	16	15	15	17	14	9	13
Medtronic 7 F	270°	15	22	17	17	22	11	9
Porges 10 F	0°	47	41	53	60	50	50	21
Porges 10 F	90°	72	82	72	61	40	48	28
Porges 10 F	180°	86	38	43	46	43	54	67
Porges 10 F	270°	48	71	57	62	40	50	24
Porges 8 F	0°	30	36	19	27	30	12	12
Porges 8 F	90°	29	33	23	27	32	12	10
Porges 8 F	180°	32	35	22	23	28	9	13
Porges 8 F	270°	49	62	57	56	68	10	33
Wiruthan 9 F	0°	53	49	46	49	45	22	28
Wiruthan 9 F	90°	52	54	52	36	41	27	9
Wiruthan 9 F	180°	33	35	22	34	34	22	27
Wiruthan 9 F	270°	41	29	30	38	35	34	28
Wiruthan 7F	0°	26	25	16	18	32	12	10
Wiruthan 7F	90°	25	24	23	21	33	12	18
Wiruthan 7F	180°	26	24	17	21	35	9	14
Wiruthan 7F	270°	24	22	16	20	34	10	11
TDOC 12 F	0°	170	182	133	143	154	104	98
TDOC 12 F	90°	190	199	150	160	170	117	114
TDOC 12 F	180°	187	202	144	155	168	115	113
TDOC 12 F	270°	191	205	149	161	169	119	114
MicroTip 6F	0°	–	–	25	–	114	11	6
MicroTip 6F	90°	4	–	153	–	158	28	20
MicroTip 6F	180°	22	–	153	–	77	30	17
MicroTip 6F	270°	10	–	89	–	64	21	15

Poté byly jednotlivé křivky podrobně analyzovány a proměřeny pomocí software přístroje Uromic s manuální kontrolou pozice kurzoru, výsledky jsou uvedeny v tabulce 6.

Statistické porovnání výsledků měření

Cílem bylo ověřit **citlivost** měřících katétrů, vyjádřenou střední hodnotou naměřených výsledků a jejich intervalovými odhady, dále ověřit **rozptýlenost** dat, a to

jak směrodatnou odchylkou průměru všech naměřených údajů, tak i nerovnoměrnosti měření v jednotlivých polohách.

Střední hodnoty a směrodatné odchylky a jejich intervalové odhady byly vypočteny ze všech naměřených dat za předpokladu normálního rozdělení a jsou uvedeny pro jednotlivé katetry v tabulce 7 ve sloupcích 1 a 2, přičemž ve sloupci 3 jsou uvedeny relativní směr. odchylky, vztažené na průměry ve sloupci 1, vyjádřené v %.

Tabulka 7. Intervalové odhady statistických veličin

Katétr	1	2	3	4	5
	Střední hodnota v cm	Směrodatná odchylka v cm	Rel. směr. odchylka v %	Sum. odchylka průměrů vert. a horiz. v cm	Sum. odchylka průměrů vert. a horiz. v %
Medtronic 9F	72,6 (58,5; 86,8)	9,9; 33,8	13,6; 46,6	0; 125,2	0; 172,4
Medtronic 7F	14,8 (12,3; 17,3)	1,7; 6,0	11,5; 40,5	0; 7,2	0; 48,6
Porges 10F	51,8 (42,8; 60,8)	6,3; 21,5	12,2; 41,5	0; 42,0	0; 81,1
Porges 8F	29,6 (19,0; 40,2)	7,4; 25,2	25,0; 85,1	0; 35,8	0; 120,9
Wiruthan 9F	35,9 (28,3; 43,5)	5,3; 18,1	14,8; 50,4	2; 32,4	5,6; 90,3
Wiruthan 7F	20,6 (13,5; 27,7)	5,0; 16,9	24,3; 82,0	0,3; 7,2	1,5; 35,0
TDOC 12F	152,8 (122,3; 183,3)	21,3; 72,6	13,9; 47,5	10,5; 18,6	6,9; 12,2
MicroTip 6F	51,4 (-8,4; 111,2)	28,9; 138,4	56,2; 269,3	0; 184,0	0; 358,0

Posouzení rovnoměrnosti **rozložení naměřených hodnot v měřicích polohách** bylo provedeno za předpokladu, že tyto hodnoty odpovídají svým charakterem Rayleighovu rozdělení, přičemž jejich horizontální složky (poloha 90, 270) a vertikální složky (poloha 0, 180) jsou charakterizovány normálním rozdělením. Do výpočtů byly zahrnuty pouze body zatížené úhelníčky. Byly vypočteny průměry horizontálních a vertikálních složek a jejich sumární hodnota vypočtená jako odmocnina ze součtu kvadrátů obou průměrů; intervalový odhad této hodnoty je uveden ve sloupci 4, ve sloupci 5 je tato hodnota vztažena na průměr (sloupec 1) a vyjádřena v %.

Všechny intervalové odhady jsou uvedeny při úrovni konfidence 95 %.

Citlivost je jednoznačně nejlepší u katétru TDOC 12F, posuzováno podle intervalového odhadu ve sloupci 1, který se nepřekrývá s žádným intervalovým odhadem ostatních katétrů.

Rozptýlenost dat posuzována podle sloupce 3 je u katétrů Medtronic 9F, 7F, Porges 10F, Wiruthan 9F a TDOC 12F přibližně srovnatelná – ostatní jsou horší.

Posouzení **rovnoměrnosti rozložení naměřených hodnot v měřicích polohách** bylo provedeno orientačně podle relativních údajů ve sloupci 5 – největší rozsah a tudíž největší rozptýlenost vykazují MicroTip6F a Medtronic 9F, nejnižší rozsah a rozptýlenost pak TDOC 12F, navíc u tohoto typu byl jednoznačně indikován zesílený tlak v poloze 180 (intervalový odhad neobsahuje nulu). U katétru Wiruthan 9F byl naproti tomu indikován zesílený tlak v poloze 0.

Diskuze

Posuzování jakékoliv měřicí metody podle fantomu z neživé tkáně má své limity, nicméně fantom uretry dle našeho návrhu byl ověřen jako stabilní prostředek testování umožňující opakovaná měření s prakticky stejným výsledkem; tedy výsledky měření určitou informační hod-

notu mají (1) a umožňují testování a srovnávání různých způsobů měření. Volbou správné metody a nastavení přístroje lze výrazně snížit chybu měření (2).

Působení hmotnosti závaží a cirkulární komprese na fantom nelze díky nelineární propagaci těchto sil ve tkáni býčího penisu a uretry jednoznačně matematicky definovat, lze však srovnávat jednotlivá opakovaná měření za stejných podmínek, zejména ve stejné poloze měřicího katétru a při shodné perfuzi.

Vlastní definice metody dle ICS (3, 4) se vyhýbá přesnému popisu měření, zejména typu katétru, využívána je celá řada typů, jejichž vlastnosti byly studovány spíše v klinickém materiálu. Základní definice profilometrie a popis hlavních fyzikálních podmínek jako je kolabovatelná uretra byly stanoveny již začátkem 70. let minulého století (5, 6, 7, 8, 9), postupně byl studován vliv perfuze, rozdíl mezi perfuzí plynem a vodou (10, 11), orientace v uretře (12), tuhosti katétru (13, 14, 15). Při srovnání klasické perfuzní profilometrie a měření s mikrosnímačem se ukázala vyšší citlivost klasické metody (16, 17), navíc jsou pak poměrně nákladné. Měření s mikrosnímačem byla porovnávána i s měřením se snímači s vláknovou optikou. V roce 2005 pak byl uveden snímač TDOC s miniaturním plynovým balonkem (19) pod názvem air charged.

V našem souboru jsme porovnali tyto postupy a měřicí katetry na fantomu uretry. Opakovaná měření v definované poloze měrného otvoru katétru, mikrosnímače či komůrky byla dobře reprodukovatelná, křivky získané opakovaným měřením v definované poloze byly prakticky shodné.

Při měření katétry s otvorem klasickou perfuzní metodou v jediné pozici měřicího katétru jsme nezískali dostatečnou informaci o tlakových změnách ve stěně uretry. Při analýze alespoň 4 záznamů, snímaných v pozici 0, 90°, 180° a 270°, se vždy podařilo zachytit tlakové změny alespoň v jednom kanále a získat tak postupně úplnou informaci o tlakových poměrech v celé cirkumferenci

uretry. Znamená to však opakování měření a dodržení přesných poloh katétru.

Určitou možností integrálního měření je využít katétr s jakousi komůrkou, kde je zajištěn přenos tlaku ze stěny uretry z větší plochy. V našem experimentu však i zde byla patrná závislost měřených hodnot na poloze v uretře, ani tento katétr nezachytil změny tlaku sumárně.

Nejlepší citlivost a současně schopnost zachytit při jediném měření i všechny tlakové změny z okolí uretry měl pouze katétr s miniaturním balonkem, kde zřejmě přenos tlaku se nejvíce blížil ideálním podmínkám. Stejně možnosti má i technika simultánní multikanálové profilometrie, která je variantou perfuzní profilometrie, ovšem měříme simultánně ve čtyřech bodech po obvodu uretry (20).

Závěr

Stále platí požadavek dokonalého kontaktu měřicího otvoru či čidla se stěnou uretry, který však nelze vždy dokonale splnit. Výsledky ukázaly, že citlivost zachycení tlakových změn je lepší v případě, kdy se průměr katétru blíží průměru uretry a zřejmě je zachován i dobrý kontakt se stěnou uretry.

V experimentu se rovněž ukázalo, že pokud působí tlak po obvodu uretry nerovnoměrně, jednokanálové měření klasickou perfuzní metodou nemůže zachytit tlakový profil uretry korektně. To se týká rovněž metody s tlakovým čidlem, inkorporovaným na katétru, zde byla citlivost měření nižší.

Pokud jsme použili měření s mikrobalonkem, zachytili jsme při jediném měření uretrálního tlakového profilu tlakové změny dostatečně a s dobrou reprodukovatelností.

Jako nejspolehlivější metoda se ukázala metoda měření pomocí katétru s miniaturním balonkem. Technika přináší velmi dobrou citlivost a je schopna zachytit tlakové změny působící ze všech stran při jediném měření.

Podpořeno grantem IGA NR/7840-3.

doc. MUDr. František Zátura

Urologická klinika FN Olomouc
I. P. Pavlova 6, 776 20 Olomouc
e-mail: frantisek.zatura@fnol.cz

Literatura

1. Zatura F, Rosenberg J. Possibilities of experimental verification of the validity of urethral pressure profilometry. Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub. 2006; 150 (2): 345–351. 345.
2. Gilmour RF, James DF, Toguri AG, Churchill BM. Analysis of the Urethral pressure profile using a mechanical Model. J urol 18, 1, (1980) 54–58.
3. Lose G, Griffiths D, Hosker D, Kulseng-Hanssen S, Perucchini D, Schäfer W, Thind P, Versi E. Standardisation of Urethral Pressure Measurement: Report from the Standardisation Sub-committee of the International Continence Society. Neurourol. Urodyn. 2002; 21 (3): 258–260.
4. Schafer W, Abrams P, Liao L, Mattiasson A, Pesce F, Spangberg A, Sterling AM, Zinner NR, van Kerrebroeck P. Report on Good Urodynamic Practice. Neurourol Urodyn 2002; 21(3): 261–274.
5. Brown M, Wickham JEA. The urethral pressure profile. Br J Urol 1969; 41: 211.
6. Harrison NW, Constable AR. Urethral Pressure Measurement: a modified Technique. BJU 42 (1970), 229–233.
7. The measurement and interpretation of urethral pressures obtained by the method of Brown and Wickham. Br J Urol 1978; 150: 33–38.
8. Abrams P, Feneley R, Torrens. Urethral Pressure measurements. In Urodynamics, 1983, s. 48–61.
9. Griffiths D. The pressure within a collapsed tube, with special reference to urethral pressure. Phys Med Biol 1985; 30: 951–963.
10. Gleason DM, Botacini MR, Reilly RJ. Comparison of cystometrograms and urethral profiles with gas and water media. Urology (1977) 9: 155–160.
11. Shawer M, Brown M, Sutherst JR. Comparative examination of female urethral pressure profiles measured by CO₂ and H₂O infusion techniques. Br J Urol 1983; 55: 326–331.
12. Anderson RS, Shepherd AM, Feneley RCL. Microtransducer urethral profile methodology: variations caused by transducer orientation. J. Urol. 130., 727–728, 1983.
13. Meyer S, DeGrandi P, Schmidt N et al. The effect of catheter diameter on the urethral cough pressure profile of continent and incontinent patients. Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct 1992; 3: 2–7.
14. Schafer W. Directional differences in urethral pressure recordings: Contributions from the stiffness and weight of the recording catheter. Neurourol Urodyn 1986; 5: 119–120.
15. Plevnik S, Janez J, Vrtacnik P, Brown M Directional differences in urethral pressure recordings: contributions from the stiffness and weight of the recording catheter. Neurourol Urodyn 4 (1985) 117–128.
16. Wang AC, Chen MC. A comparison of urethral pressure profilometry using microtip and double-lumen perfusion catheters in women with genuine stress incontinence. Int J Obstet Gynecol 109 3 (2002) 322.
17. Hilton P, Stanton SL. Urethral pressure measurement by microtransducer: results in symptom free women and in those with genuine stress incontinence. Br J Obstet Gynaecol 1983; 90: 919–933.
18. Elser DM, London W, Fantl JA, et al. A comparison of urethral profilometry using microtip and fiberoptic catheters. Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct 1999; 10: 371–374.
19. Pollak JT, Neimark M, Jason C, Connor T, Davila GW. Air-charged and microtransducer urodynamic catheters in the evaluation of urethral function. Int Urogynecol J 2004) 15: 124–128.
20. Zátura F, Vrtal R, Fiala R, Rosenberg J, Křen J. Validita profilometrie a nové možnosti měření. Česká urologie 2003; 1: 42–45.