UNIVERZITA KARLOVA
1. lékařská fakulta

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví

Studijní obor: Intenzivní péče

Bc. Martina Hašková

# Vznik a vývoj intervenční kardiologie a role sestry v tomto oboru

# The Origin and Development of Interventional Cardiology and the Role of Nurses in the Field

Diplomová práce

Vedoucí práce: PhDr. Jana Hocková, Ph.D.

Konzultant: MUDr. Pavol Tomašov, Ph.D.

Praha, 2021

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval/a samostatně a že jsem řádně uvedl/a a citoval/a všechny použité prameny a literatury. Současně prohlašuji, že práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Souhlasím~~/Nesouhlasím~~ s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému meziuniverzitního projektu Theses.cz za účelem soustavné kontroly podobnosti kvalifikačních prací.

V Praze, 06. 12. 2021

Bc. MARTINA HAŠKOVÁ

……

Podpis

**Identifikační záznam**

HAŠKOVÁ, Martina. Vznik a vývoj intervenční kardiologie a role sestry v tomto oboru. [The Origin and Development of Interventional Cardiology and the Role of Nurses in the Field]. Praha, 2021. 67 s., 18 příl. Diplomová práce (Mgr.). Univerzita Karlova, 1. lékařská fakulta, Ústav teorie a praxe ošetřovatelství. Vedoucí práce Hocková, Jana.

# ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá historickým vývojem oboru intervenční kardiologie. Intervenční kardiologie má v medicíně významné postavení, neboť zásadně zlepšuje prognózu i kvalitu života pacientům s kardiovaskulárními onemocněními.

Cílem práce je přehled historického vývoje intervenční kardiologie, od počátku vzniku oboru až po současnost, se zaměřením na důležité momenty a události, které znamenaly průlom v kardiologii, a poukázat také na roli zdravotní sestry, která je nezastupitelnou součástí katetrizačního týmu.

Pro vytvoření práce, která je teoretického charakteru, bylo čerpáno z historické i současné literatury, hlavně z odborných článků a monografií. Přehled je doplněný o informace získané z rozhovorů s pamětníky české intervenční kardiologie.

Výsledkem práce je přehled vývoje intervenční kardiologie od těžkých a náročných začátků, provedení první angioplastiky, až po současnost, kdy intervenční kardiologie představuje široké spektrum diagnostických a terapeutických postupů a nahrazuje i některé kardiochirurgické výkony.



**klíčová slova:** intervenční kardiologie, srdeční katetrizace, perkutánní koronární intervence, intenzivní péče

# ABSTRACT

The diploma thesis addresses the historical development of interventional cardiology, an important field of medicine, which improves the prognosis and quality of life of patients with cardiovascular diseases.

The goal of the work is to describe the evolution of interventional cardiology from humble beginnings to present day and to point out important events and historical moments which led to breakthroughs in cardiology and to demonstrate the role of nurses, important members of catheterization laboratory teams.

Several sources were analyzed in this theoretical work, mainly articles from scientific journals and textbooks, the gathered information was complemented by interviews with medical professionals witnessing the origins of interventional cardiology in Czech Republic.

The result of the thesis is an overview of the development of interventional cardiology since the demanding first steps, through the performance of the first coronary angioplasty to the wide array of diagnostic and therapeutic procedures replacing some of the cardiac surgery procedures of the present day.



**keywords:** interventional cardiology, heart catheterization, percutaneous coronary intervention, intensive care

**Poděkování**

Děkuji PhDr. Janě Hockové. Ph.D. za vedení diplomové práce, laskavost a trpělivost.

Děkuji Doc. MUDr. Petrovi Hájkovi, Ph.D. za poskytnutí důležitých informačních pramenů a cenných rad.

Děkuji MUDr. Pavlovi Tomašovovi, Ph.D. za konzultaci diplomové práce.

# Obsah


1. Úvod 8
2. Současný stav poznání 9
   2.1. Katetrizační sál 9
   2.2. Selektivní koronarografie 10
   2.3. Perkutánní koronární intervence 13
   2.4. Intravaskulární zobrazovací a funkční metody 22
   2.5. Hemodynamické vyšetření 24
   2.6. Endomyokardiální biopsie 26
   2.7. Strukturální intervence 26
3. Použité metody 32
4. Historie intervenční kardiologie 33
   4.1. První srdeční katetrizace 33
   4.2. Rozvoj diagnostických metod 34
   4.3. Perkutánní transluminální angioplastika 37
   4.4. Andreas Grüntzig a první perkutánní koronární angioplastika 38
   4.5. Vývoj koronárních stentů 44
   4.6. Historie mechanických podpor oběhu 46
   4.7. Historie strukturálních intervencí 47
5. Sestra v intervenční kardiologii 50
   5.1. Vzdělávání sester v intervenční kardiologii 50
   5.2. Péče o pacienta na katetrizačním sále 52
6. Diskuse 55
7. Závěr 58
8. Seznam použité literatury 59

Seznam zkratek

Seznam příloh

# 1. Úvod

Kardiovaskulární onemocnění se v České republice i celosvětově řadí na první místa v morbiditě a mortalitě (Townsend, 2021). Intervenční kardiologie je podoborem kardiologie, který se pomocí instrumentária zavedeného do srdečních oddílů, velkých cév a koronárních tepen věnuje diagnostice a léčbě mnoha kardiovaskulárních chorob. Moderní intervenční kardiologie zásadním způsobem zlepšuje prognózu i kvalitu života pacientů a výkony prováděné v rámci oboru patří mezi nejčastější lékařské procedury na světě vůbec (Baim, 2020). Ve svých počátcích se srdeční katetrizace věnovala výhradně diagnostice různých onemocnění a při svém přerodu na obor s terapeutickými možnostmi v 80. letech 20. století se potýkala se skepsí lékařské komunity (Gaspard, 2017). Hlavní náplní moderní intervenční kardiologie je zobrazení koronárních tepen a léčba jejich postižení u ischemické choroby srdeční (ICHS) včetně jejich akutních forem. Podílí se ale i na diagnostice a terapii některých chlopenních vad, vrozených srdečních vad, kardiomyopatií a chorob plicního oběhu (Baim, 2020). Tým zdravotníků na katetrizačním sále zahrnuje kromě intervenčního kardiologa často i jiné lékařské odbornosti, jako je intenzivista nebo echokardiografista, a také zdravotní sestru a radiologického asistenta. Sestra je nepostradatelnou součástí katetrizačního týmu, na katetrizačních výkonech se podílí přímou asistencí operatérovi, prací obíhající sestry na sále a často i poskytováním intenzivní péče u akutních pacientů. K udržení schopnosti poskytovat kvalitní zdravotní péči v dynamicky se rozvíjejícím oboru musí být obeznámena s ošetřovatelskými postupy i nejnovějšími terapeutickými metodami intervenční kardiologie i intenzivní péče, včetně praktických zručností při práci s používaným instrumentáriem.

Vzniku a vývoji intervenční kardiologie stejně jako průkopníkům, kteří se významně zapsali do historie oboru, je věnováno mnoho pramenů v odborné literatuře (Baim, 2020, Gaspard, 2017, Ragosta, 2008). V případě zdravotních sester tomu už tak není. V historických pramenech jsou zmiňovány jen okrajově jako součást katetrizačního týmu a spadají do skupiny sester v intenzivní péči.

Diplomová práce je pohledem na historický vývoj intervenční kardiologie až po současnost a poukazuje na důležitost oboru, který velkou mírou zasahuje do diagnostiky, terapie a prognózy kardiovaskulárně nemocných a přináší možnost plnohodnotného života pro tyto nemocné. Práce se rovněž zabývá úlohou sester na katetrizačním sále a jejich aktuálním vzděláváním a tréninkem.

# 2. Současný stav poznání

Úspěchy a pokroky dosažené pionýry intervenční kardiologie v relativně krátkém časovém úseku nejlépe vyniknou v kontextu toho, co je v současnosti tento obor schopen nabídnout pacientům s různými kardiovaskulárními onemocněními.

## 2.1. Katetrizační sál

Intervenční výkony probíhají na katetrizačním sále, což je prostor vybavený rentgenovým přístrojem na pohyblivé konstrukci ve tvaru písmena C (takzvané C rameno), který je za sterilních podmínek schopen zobrazit v různých projekcích požadované struktury vyšetřovaného pacienta, jenž je uložen v poloze na zádech na stole, kolem kterého se C rameno pohybuje (Baim, 2020). Obraz z rentgenového přístroje je v reálném čase přenášen na monitory umístěné uvnitř sálu naproti pozici operatéra. Získané zobrazení se používá k hodnocení diagnostických výkonů a také k navádění pohybu zavedeného instrumentária u terapeutických výkonů a ke kontrole jejich průběhu a výsledku. Další monitory se používají ke sledování vitálních funkcí pacienta, kontinuálně zobrazují EKG, invazivně monitorovaný krevní tlak a pulzní oxymetrii. Sál je rovněž vybaven k zobrazení doplňkových vyšetřovacích metod jako jsou echokardiografie, intravaskulární zobrazovací metody a metody k funkčnímu vyšetření koronárního průtoku. Uvnitř sálu pak nalezneme rovněž veškeré materiálové a lékové vybavení nejen pro rutinně používané výkony, ale i pro intenzivní a resuscitační péči. Nedílnou součásti katetrizačního sálu je i jeho ovladovna, která obsahuje výpočetní technologii rentgenového přístroje a dalších pomocných zařízení, umožňuje jejich detailní nastavení a ovládání a rovněž se v ní na monitorech zobrazují identické informace jako na monitorech uvnitř sálu (Baim, 2020).

Pacient se na sál dostává z oddělení, případně z vozu záchranné služby přes přípravnu pacienta. Zdravotnický personál na sál vstupuje v sálovém oblečení a po dezinfekci rukou. Vzhledem k tomu, že u katetrizačních výkonů dochází k porušení kůže pacienta pouze jehlou při získání cévního vstupu a vzhledem k nutnosti navezení akutních pacientů posádkami záchranné služby přímo na sál, jsou požadavky na sterilitu nižší, než je tomu na klasických operačních sálech. Laminárním prouděním vzduchu jsou vybaveny pouze sály, na kterých jsou prováděny kombinované katetrizační a kardiochirurgické operační výkony (takzvané hybridní sály).

Většina dospělých pacientů výborně snáší katetrizační výkony v lokální anestezii v místě cévního vpichu s premedikací benzodiazepinem a antihistaminikem. V případě nutnosti zavedení velkého instrumentária, a tedy obtížnějšího získání cévního vstupu (při některých nekoronárních intervencích), jsou pacienti uváděni do analgosedace, vzácně i do celkové anestezie. Některým akutním pacientům jejich klinický stav (zejména v případě plicního edému a kardiogenního šoku) neumožní během výkonu tolerovat horizontální polohu na sálovém stolu a vyžaduje napojení na umělou plicní ventilaci a nutnost analgosedace.

Pacient je po uložení na stůl připojen na EKG monitor, je mu dezinfikováno plánované místo vpichu (v naprosté většině případů zápěstí nebo třísloa) a je kromě krku a hlavy přikrytý sterilní jednorázovou rouškou, která zakrývá celý stůl včetně jeho ovládacích

prvků a umožňuje tak operatérovi a asistentovi sterilním způsobem pohybovat stolem, C-ramenem a měnit nastavení rentgenového přístroje. Během výkonu je tedy pacient většinou při vědomí, kromě vpichu při získání cévního vstupu již obvykle při absenci komplikací necítí výrazný diskomfort (Baim, 2020). Někteří nemocní vnímají podání kontrastní látky do koronárních tepen jako tlak na hrudi, podání většího množství kontrastní látky například při zobrazení levé komory srdeční nebo hrudní aorty poté jako vlnu výrazného tepla šířící se do celého těla. Během intervenčních výkonů na koronárních tepnách dochází opakovaně k omezení průtoku intervenovanou tepnou, což část pacientů pociťuje jako stenokardie. Po skončení výkonu je pacientovi ošetřeno místo vpichu v podobě tlakového náramku na zápěstí nebo některého z cévních uzavíracích systémů či mechanické nebo manuální komprese v případě cévního vstupu v třísle. Následně je pacient odvezen na lůžkové oddělení podle tíže svého klinického stavu, v případě nekomplikovaných plánovaných koronárních výkonů lze pacienta po výkonu observovat na denním stacionáři a týž den propustit domů (Madan, 2019).

## 2.2. Selektivní koronarografie

Dominantní pracovní náplní na katetrizačních sálech je diagnostické vyšetření koronárních tepen a jejich léčba při chronických i akutních formách ICHS. Výkon, při kterém se provádí invazivní rentgenologické zobrazení koronárních tepen, se nazývá selektivní koronarografie (SKG). Během tohoto výkonu se kontrastní látka podává selektivně do ostia levé a poté pravé koronární tepny a rentgenovým přístrojem je posléze v krátkých videosekvencích v několika různých projekcích zaznamenáno jejich zobrazení (Baim, 2020).

K provedení SKG je potřeba získat tepenný cévní přístup. K tomu slouží zavedení plastového zavaděče (pro většinu výkonů v délce kolem 10 cm) pomocí Seldingerovy techniky do radiální nebo femorální tepny vyšetřovaného pacienta (Seldinger, 1953). V dnešní době na většině pracovišť převládá při SKG radiální přístup, kdy se v distální části předloktí punktuje povrchově uložená radiální tepna. Novinkou v radiálním přístupu je punkce tepny ještě distálněji, v oblasti fossa tabatiere nebo mezi první a druhou metakarpální kostí. Výhodou distální punkce je nižší riziko uzavření tepny po výkonu, nevýhodou menší průměr punktované cévy (Prasad, 2021). Před radiální punkcí sestra provede Barbeaův test (modifikovaný Allenův test s pulzním oxymetrem) ke zhodnocení krevního zásobení ruky pro případ uzávěru radiální tepny po výkonu (Golamari, 2021). Radiální přístup díky snadné kompresi povrchově uložené tepny znamená nižší riziko krvácení a větší pohodlí pro pacienta, který po výkonu nemusí dodržovat klid na lůžku vleže na zádech (Bajraktari, 2021, Ng, 2021). Na druhou stranu díky svému menšímu kalibru neumožní zavedení instrumentária s tak velkým průměrem jako tepna femorální. U většiny pacientů je radiální přístup postačující pro většinu výkonů na koronárních tepnách, ale je nepoužitelný pro strukturální intervence.

Femorální přístup obnáší punkci společné femorální tepny v třísle v úrovni hlavice stehenní kosti. Umožňuje tedy zavedení instrumentária většího průměru, ale představuje větší riziko krvácení a nutnost imobilizace pacienta na lůžku po výkonu. Ve velmi vzácných případech, kdy nelze použít radiální ani femorální tepnu se k výkonu používá ulnární nebo brachiální tepna. Při obtížných punkcích se rovněž používá ultrazvuková navigace k

usnadnění úspěšné punkce, v případě femorálního přístupu se na některých pracovištích používá ultrazvuková navigace rutinně.

Tepenný zavaděč posléze slouží jako vstupní brána do tepenného systému pro všechny další nástroje. Pro SKG je potřeba do kořene aorty, ze kterého odstupují obě koronární tepny, zavést diagnostický katétr, dutou cévku, přes kterou se podává kontrastní látka. Aby bylo zavedení katétru z místa tepenného zavaděče proti směru toku krve atraumatické, zavádí se po kovovém vodiči se špičkou ve tvaru písmene J. Ten se po dosažení kořene aorty vytáhne a katétrem se sonduje ostium koronární tepny pomocí manipulace té části katetru, která je vysunuta z tepenného zavaděče. Po nasondování koronární tepny se přes katétr do tepny opakovaně podává jodová kontrastní látka. Naplněním koronární tepny kontrastní látkou dochází k zobrazení tepny. Více projekcí s vysokou snímkovací frekvencí se k zobrazení koronárních tepen používá ke kvalitnímu zhodnocení všech překrývajících se segmentů a bifurkací. Při používání automatické injekční pumpy k podávání kontrastní látky je katétr rovněž využívaný pro invazivní měření krevního tlaku, při ručním podávání kontrastní látky je třeba pro měření tlaku připojit katétr k tlakové kapsli. Správný tvar tlakové křivky před podáním kontrastní látky pak slouží jako bezpečnostní ověření, že katétr není zaklíněn v malé boční větvičce nebo opřený o stěnu cévy (Baim, 2020, Ragosta, 2008). Při injekci kontrastní látky do zaklíněného katétru by mohlo dojít k disekci koronární tepny, komorové fibrilaci a vzácně i k perforaci tepny.

Při radiálním přístupu lze zobrazení obou koronárních tepen provést u většiny pacientů jedním katétrem, zatímco u femorálního přístupu se používá pro každou tepnu katétr jiného tvaru. Specifickou skupinu pacientů během SKG tvoří nemocní po chirurgické revaskularizaci myokardu, kdy je kromě nativních koronárních tepen potřeba zobrazit i tepenné a žilní štěpy použité k přemostění postižených úseků nativního řečiště (Baim, 2020). Tyto jsou sondovány opět často specifickými katétry jako větve podklíčkových tepen (mammární štěpy) nebo ve svých proximálních anastomózách na ascendentní hrudní aortě (žilní a radiální štěpy).

Získané rentgenové zobrazení je dvourozměrným obrazem lumen (průsvitu) koronárních tepen, které je v době nahrávání vyplněno kontrastní látkou. Samotnou stěnu cévy SKG nezobrazuje, může pouze zobrazit případné kalcifikace ve stěně nebo již implantované koronární stenty (Baim, 2020). Dokáže ale dokumentovat zúžení průsvitu cévy, případně její úplný uzávěr, které jsou ve většině případů způsobené přítomností aterosklerotického plátu ve stěně koronární tepny nebo intrakoronární trombózou v důsledku ruptury takového plátu. Vzácnou etiologií postižení koronárních tepen je pak například embolizace trombu ze vzdáleného místa nebo spontánní disekce koronární tepny (Pristera, 2021). Dynamickou obstrukci lumen pak může způsobit intramyokardiální průběh, kdy je během každé systoly průsvit zmenšen kontrakcí okolního myokardu. SKG je přesnou metodou k zobrazení normálního nálezu na koronárních tepnách a také k průkazu přítomnosti jednoznačně těsných stenóz, případně kompletních uzávěrů. V případě stenóz, které nejsou těsné, ale takzvaně hraniční nebo intermediární, je na základě samotné SKG obtížné stanovit, jestli jsou tyto stenózy zodpovědné za pacientovy obtíže a zda mohou způsobovat ischemii myokardu. Pro určení významnosti takových lézí je potřeba provést další vyšetření, jakými jsou neinvazivní zátěžové testy nebo funkční vyšetření průtoku koronárních tepen, o kterém bude zmínka později. Kromě hodnocení průsvitu koronárních tepen poskytne SKG i informace o případném anomálním odstupu a

průběhu koronárních tepen, které jsou etiologií malé části případů náhlé srdeční smrti (Schiavone, 2021).

U části pacientů se SKG provádí společně s dalšími diagnostickými metodami, nejčastěji s levostrannou ventrikulografií a aortografií. U obou metod dochází k jednorázovému podání většího množství kontrastní látky k naplnění a zobrazení většího prostoru přes specifický katetr (pro svůj tvar se zatočeným koncem označovaný jako pig-tail). Levostranná ventrikulografie vyžaduje nejdříve zavedení pig-tail katétru přes aortální chlopeň do levé komory srdeční. Slouží k hodnocení systolické funkce levé komory, případných poruchy kinetiky a přítomnosti mitrální regurgitace. S jistou mírou nepřesnosti dokáže změřit i objemy levé komory a tepový objem. Pomocí katétru v levé komoře zaznamenáváme tlakovou křivku a při opětovném vytažení katétru přes aortální chlopeň hodnotíme případný tlakový gradient přítomný mezi levou komorou a aortou (jak je tomu u aortální stenózy nebo hypertrofické obstrukční kardiomyopatie). U aortografie se při naplnění kořene aorty kontrastní látkou hodnotí morfologie a rozměry hrudní aorty, přítomnost aortální regurgitace, případné stenózy větví oblouku aorty a známky disekce hrudní aorty (dvojité lumen aorty, stagnace kontrastní látky ve stěně aorty a patrná vrstva odloučené intimy).

Je zřejmé, že klinickou indikací k provádění SKG je v naprosté většině případů podezření na postižení koronárních tepen ICHS. Chronická ICHS je jednou z nejčastějších civilizačních nemocí, která často vede k limitujícím symptomům v podobě anginy pectoris a námahové dušnosti (Townsend, 2021). Může být rovněž příčinou systolické dysfunkce levé komory, klinicky vyjádřeného srdečního selhání a ohrožuje pacienty také rizikem vzniku akutních forem ICHS. Kombinací anamnézy, fyzikálního vyšetření a pomocných metod, zejména elektrokardiografie (EKG), echokardiografie a zátěžových testů lze stanovit pravděpodobnost koronárního postižení u daného pacienta a indikovat invazivní SKG (Knuuti, 2020). Typickými vyšetřovanými pacienty jsou symptomatičtí nemocní ve středním nebo vysokém riziku ICHS a nemocní s EKG a echokardiografickým nálezem svědčícím pro koronární postižení nebo pacienti s pozitivním výsledkem zátěžového testu (Knuuti, 2020). SKG se také provádí u pacientů před kardiochirurgickými zákroky z jiné indikace než ICHS, tedy zejména s chlopenními vadami, aby se v případě přítomnosti koronárního postižení indikoval kombinovaný kardiochirurgický výkon, a také u pacientů s vysokou pravděpodobností ICHS před rizikovými nekardiálními operacemi k rozhodnutí o nutnosti případné revaskularizace před chirurgickým výkonem. Vzácnější indikací k SKG jsou pacienti před zařazením na čekací listinu transplantace ledviny a dárci srdce.

Akutní formy ICHS představují situace s náhle vzniklou, klidovou ischemií myokardu a představují pro nemocné přímé ohrožení na životě (Collet, 2020). Vznikají většinou na podkladě stejného aterosklerotického procesu jako chronická ICHS, který je ale komplikován intrakoronární trombózou v důsledku ruptury nestabilního plátu a odhalení subintimálních vrstev cévní stěny krevnímu proudu, což vede k silné aktivaci a agregaci trombocytů a koagulačních faktorů (Collet, 2020). K akutní ischemii myokardu dochází rovněž při chronickém koronárním postižení a náhle vzniklém stavu, který posune rovnováhu dodávky a spotřeby kyslíku myokardu ve prospěch ischemie, jak tomu bývá u tachykardií, srdečního selhání nebo anémie (Collet, 2020). Již zmíněné neaterosklerotické etiologie zahrnují embolizace do koronárních tepen a spontánní disekce koronárních tepen. Akutní formy ICHS se projevují ve formě nestabilní anginy pectoris, infarktu myokardu bez elevací ST úseku (na EKG), infarktu myokardu s elevací ST úseku, nebo

náhlou srdeční smrtí. Právě pro nemocné s akutními formami ICHS je v nemocnicích s kardiocentrem SKG dostupná 24 hodin denně.

## 2.3. Perkutánní koronární intervence

Léčebný zákrok ve věnčitých tepnách byl ve svých počátcích označován jako perkutánní transluminální koronární angioplastika (Gaspard, 2017). V dnešní době, vzhledem k používání širšího spektra výkonů v koronárních tepnách, než je pouhá balónková dilatace, označujeme tyto zákroky jako perkutánní koronární intervence (PCI). Jsou nejčastějším způsobem revaskularizace myokardu. PCI se u části pacientů provádí ihned v návaznosti na provedenou SKG (ad hoc intervence) nebo jako plánovaná samostatná procedura ve druhé době. Technické aspekty získání cévního přístupu a zavedení katétru do ostia intervenované koronární tepny nebo koronárního bypassu jsou totožné se SKG. V případě PCI se ale většinou používá instrumentárium většího průměru a zaváděcí katétry určené k intervenci mají na rozdíl od diagnostických katétrů tenčí stěnu a tím pádem větší vnitřní lumen, které umožňuje zavádění dalších nástrojů dovnitř koronárních tepen. Cílem PCI je ošetřit zúžení nebo uzávěr koronární tepny, případně bypassu tak, aby se obnovil dostatečný koronární průtok pro danou oblast myokardu.

Základem takového ošetření je překonání postiženého místa tepny kovovým koronárním vodičem velmi malého průměru (14 tisícin palce, tedy 0,36 mm) a jeho bezpečné zavedení do pravého lumen distálně od stenózy nebo uzávěru. Takto umístěný koronární vodič posléze slouží jako nástroj, po kterém se zavádí každé další instrumentárium k ošetření cílového místa koronární tepny (Baim, 2020). V žádném jiném nástroji intervenční kardiologie není taková variabilita jako právě v koronárních vodičích. Existuje velké množství různých vodičů, lišících se v použitém materiálu, způsobu konstrukce, tvaru svého hrotu, úpravy povrchu a tvrdosti. Různé třídy vodičů se používají pro specifické úkony během intervence, největší potřeba používat během jednoho výkonu různé vodiče je u intervencí chronických uzávěrů koronárních tepen, které jsou technicky nejsložitější (Brilakis, 2019).

Manipulace vodičem probíhá tak, že se na jeho konci vytvoří zahnutí (případně je vytvořené od výrobce) a tímto koncem se vodič vnitřkem zaváděcího katétru dostane do koronární tepny. Pomocí pohybu a rotace proximální části vodiče, která je mimo katetr (vodič je delší než katetr) se rotuje a pohybuje i jeho distální část uvnitř koronární tepny. Vytvořené zahnutí na tomto konci vodiče tak umožňuje navigovat vodič cíleným způsobem a dosáhnout požadované místo v koronárním řečišti a překonat postižený úsek koronární tepny.

Po dosažení pozice v periferii tepny se na vodič navléknou další nástroje k ošetření postiženého místa, která všechna mají tenké centrální lumen schopné pojmout koronární vodič a zavedou se až do požadovaného místa (Baim, 2020). Nejčastěji používanými nástroji k ošetření koronárních tepen jsou balónkové dilatační katétry a koronární stenty. Balónkový katétr má na svém distálním konci balónek malého průměru (v koronárních tepnách se běžně používají balónky od 0,8 do 6 mm), který se ve vyfouknutém stavu zavede do zúženého místa koronární tepny a tam se dilatuje vysokými tlaky pomocí napojení indeflátoru (manuální tlakové pumpy schopné vyvinout v dilatovaném balónku tlak přibližně do 30 atmosfér) na druhé lumen balónkového katetru (první lumen je pro koronární vodič). Během dilatace balónku je zastaven koronární průtok, ale protože

většina dilatací trvá pár sekund, je tato situace myokardem dobře tolerována. Výjimkou může být dilatace v kritické lokalizaci jako je například kmen levé věnčité tepny (Baim, 2020). Soustava balónkového katetru a indeflátoru je při dilataci naplněná kapalinou, v tomto případě naředěnou kontrastní látkou, aby umožnila rentgenovou vizualizaci dilatovaného balónku. Po deflaci balónku je celý katétr vytažen ze zaváděcího katétru (zatímco koronární vodič je ponechán na svém místě), což opět umožní obnovení koronární průtoku do léčené koronární tepny.

Existuje několik typů balónkových katétrů (Baim, 2020). Základní balónky (označované jako semi-kompliantní) mají ve vyfouknutém stavu vynikající profil (malý průměr), který umožňuje jejich zavedení i do velice těsných stenóz a přes případnou složitou anatomii proximálního úseku koronární tepny. Vysokotlaké (non-kompliantní) balónky mají sice větší profil, ale ani při dilataci na velmi vysoké tlaky výrazně nezvětšují svůj průměr v dilatovaném stavu a tím příliš nezvyšují riziko poranění koronární tepny při takové dilataci. Hodí se proto na ošetření velmi rezistentních (většinou výrazně kalcifikovaných) stenóz a také na postdilataci již implantovaných stentů ke zlepšení jejich apozice ke stěně koronární tepny. Takzvané lékové balónky mají povrch potažený vrstvou cytostatika (paklitaxel) nebo imunospuresiva (sirolimus), které po dilataci působí lokálně v ošetřeném místě cévní stěny a zmenšují tvorbu vazivové tkáně jako reakci na dilataci a tím zmenšují riziko opětovného zúžení léčené stenózy podobným principem jako lékové stenty (viz níže). Speciální typy balónků mají na svém zevním povrchu kovové části (z anglického označení cutting nebo scoring balonky), které umožňují zaměřit působení dilatovaného balónku na menší plochu a zvýšit tak šanci dilatovat velmi rezistentní léze. Specifický typ balonku (Stingray) se používá při léčbě chronických uzávěrů věnčitých tepen k proniknutí do pravého lumen ze subintimálního prostoru distálně za uzávěrem (Brilakis, 2019).

Při dilataci stenotické koronární tepny postižené aterosklerotickým procesem balónkovým katétrem z logiky věci vzniká v dilatovaném místě porušení intimy tepny, tedy její disekce. Ta je při velkém rozsahu rizikem pro akutní uzávěr koronární tepny (pokud není dále ošetřena). Dilatované místo se rovněž po deflaci balonku díky elasticitě cévní stěny částečně opět zúží a snižuje tak efektivitu provedené dilatace. Jak již bylo zmíněno, cévní stěna reaguje na svoje poranění tvorbou vazivové tkáně (takzvaná neointimální proliferace), která rovněž se rovněž podílí na opětovném zmenšení průsvitu léčené tepny. Tyto problémy řeší během PCI implantace koronárních stentů (Baim, 2020).

Koronární stent má tvar trubice, jejíž stěna není celistvá, ale je tvořena tenkými, navzájem spojenými vlákny, mezi kterými jsou otevřené prostory (oka stentu). Tato trubice se během PCI zavede do lumen koronární tepny a implantuje k cévní stěně, kde pak působí jako vnitřní lešení. Díky své radiální síle zabraňuje elastické cévní stěně v návratu do původní pozice před dilatací a rovněž přitlačením intimy narušené při balónkové dilataci k cévní stěně předchází možnosti uzávěru tepny disekcí (Baim, 2020). I na přítomnost stentu reaguje cévní stěna neointimální proliferací, tento proces je ale výrazně limitován přítomností cytostatik nebo imunosupresiv na povrchu takzvaných lékových stentů, které v dnešní době tvoří naprostou většinu stentů implantovaných do koronárních tepen (Knuuti, 2020). Koronární stenty jsou vyrobeny z kovových slitin, v minulosti z oceli, moderní stenty ze slitin chromu a kobaltu nebo chromu a platiny.

Při implantaci tradičních stentů se využívá nafouknutí balónku, proto koronární stenty nazýváme balon-expandibilní. Stenty jsou od výrobce ve svém zmenšeném průměru navlečené na povrchu balónkového katétru stejné konstrukce jako katétr používaný k

balónkové angioplastice. Stent je takto zaveden do požadovaného místa v koronární tepně a balónek je poté dilatován identickým způsobem jako při balónkové angioplastice. Tím je průměr stentu zvětšen do své plánované velikosti, balónek je následně z koronární tepny po deflaci vytažen a stent zůstává permanentně přitlačený z vnitřku tepny k její stěně. V koronárních tepnách se používají stenty o průměru 2 až 5 mm, velikost se volí podle odhadovaného nebo změřeného průměru cévy v léčeném místě.

V minulosti se během PCI používaly i stenty jiné konstrukce (Gaspard, 2017). Nitinolové stenty mají díky paměťovým vlastnostem použitého materiálu schopnost i po implantaci dále vyvíjet tlak na cévní stěnu a zlepšovat tak svojí apozici. Na rozdíl od samoexpandibilních stentů používaných v periferních tepnách, které se samy rozvinou po stažení zevní pochvy, jsou nitinolové koronární stenty při své implantaci závislé na dilataci balonku. Jejich následný tlak na cévní stěnu není určen k dilataci stenózy, ale pouze ke zlepšení zmíněné apozice. Používaly se tak zejména v situacích, kdy bylo možné očekávat, že léčená tepna změní časem svůj průměr, například resorpcí trombu, nebo když měl léčený úsek tepny výrazné rozdíly ve svém průměru. Okrajové použití pak v dnešní intervenční kardiologii mají bifurkační stenty, jejíž konstrukce umožňuje pokrýt stentem hlavní i boční větev léčené bifurkace koronárních tepen. Velké naděje byly vkládány do biodegradabilních stentů vyrobených z plně rezorbovatelných materiálů, které po implantaci plnily funkci analogickou ke kovovým stentům a po čase došlo k jejich úplnému rozložení uvnitř cévy, což mělo hypoteticky vést k obnově fyziologických funkcí cévní stěny (zejména schopnosti vazodilatace) a také usnadnit případnou budoucí PCI nebo chirurgickou revaskularizaci. Největší zkušenosti s biodegradabilním stentem jsou se stentem Absorb, vyrobeném z polymeru kyseliny mléčné. Přes zprvu slibné výsledky tohoto stentu pozdější velké klinické studie ukázaly větší riziko trombózy stentu v porovnání s tradičními kovovými stenty a neprokázaly žádnou klinickou výhodu biodegradabilního stentu, což vedlo ke stažení tohoto výrobku z trhu (Kereiakes, 2019). Alternativní biodegradabilní technologií, ovšem prozatím rovněž bez dostupných dat o klinickém přínosu, je stent Magmaris, vyrobený z hořčíku, který se v koronární tepně rozloží díky oxidaci (Hideo-Kajita, 2020).

Provádění PCI vyžaduje kombinovanou antitrombotickou terapii (Baim, 2020). Během samotného výkonu, při zavedeném instrumentáriu uvnitř koronárních tepen, je potřeba antikoagulační léčby, nejčastěji nefrakcionovaným heparinem, jehož výhodou je rychlý nástup i konec účinku, ale jehož efektivitu je zejména u delších výkonu potřeba na sále monitorovat pomocí měření ACT (activated clotting time, aktivovaný koagulační čas). V trombóze koronárních tepen hraje velkou roli aktivace a agregace trombocytů, proto je součástí léčby během a po PCI i antiagregační terapie. Ta se v dnešní době používá jako kombinace kyseliny acetylosalicylové a dalšího antiagregačního léku z třídy P2Y12 inhibitorů (tedy clopidogrelu, ticagreloru nebo prasugrelu). Nejsilnější indikací duální protidestičkové léčby je implantace koronárního stentu, kdy tato kombinace výrazně snižuje riziko trombózy stentu, a také prodělaný akutní koronární syndrom, kdy léčba snižuje riziko recidivy ischemických klinických příhod (Collet, 2020). Délka kombinované léčby je nejčastěji 6 měsíců u pacientů s chronickou ICHS a 12 měsíců u pacientů po akutním koronárním syndromu, s úpravou léčby u nemocných ve vysokém riziku krvácení nebo naopak ischemických příhod a také u nemocných s indikací k trvalé antikoagulační léčbě (jako jsou například nemocní s fibrilací síní, u kterých se délka duální protidestičkové léčby zkracuje, případně se jeden z léků vysazuje brzy po výkonu (Knuuti, 2020)).

Cílem naprosté většiny dnes prováděných PCI je definitivní ošetření stenotické nebo uzavřené koronární tepny ve smyslu její dilatace na požadovaný průměr (jaký má zdravý úsek cévy v daném koronárním segmentu) a implantace koronárního stentu do léčeného místa k udržení tohoto průměru, zabránění akutnímu uzávěru tepny a zabránění restenózy v daném místě pomocí léků na povrchu stentu. Moderní PCI má vysokou pravděpodobnost technického úspěchu (většinu intervenovaných tepen se povede ošetřit s dobrým výsledkem) a rovněž dobré dlouhodobé výsledky, kdy pacientům zlepšuje kvalitu života a v některých indikacích také jejich prognózu (Baim, 2020). Jednotlivé prováděné výkony se ale velice liší v klinické indikaci a také technické obtížnosti dané koronární anatomií a typem postižení koronárních tepen. To pak vede i k rozdílnému použití dalších dílčích úkonů k dosažení revaskularizace během PCI.

Největší klinický přínos PCI je u revaskularizace pacientů s akutními koronárními syndromy (Collet, 2020). Čím větší je rozsah akutně probíhající ischemie myokardu a čím časnější je revaskularizace takového pacienta, tím větší přínos pro nemocného PCI představuje. Největší urgenci představují nemocní s infarktem myokardu s elevací ST úseku (STEMI) a pacienti v kardiogenním šoku a po náhlé zástavě oběhu z koronárních příčin. Probíhající ischemie myokardu u těchto pacientů buď již přímo způsobuje život ohrožující stav nebo představuje vysoké riziko vzniku takového stavu, případně vede k rozsáhlé nekróze srdečního svalu a následnému srdečnímu selhání. Akutně provedená revaskularizace u těchto pacientů prokazatelně zlepšuje jejich prognózu (Vallabhajosyula, 2021). PCI je ale rovněž dominujícím způsobem ošetření pacientů s infarktem myokardu bez ST elevací (NSTEMI) a pacientů s nestabilní anginou pectoris (Collet, 2020). Jak již bylo zmíněno, u akutních koronárních syndromů hraje důležitou roli intrakoronární trombóza. Trombus v koronární tepně zhoršuje nebo zcela zamezuje plnění distální části tepny kontrastní látkou a činí tak navigaci koronárního vodiče do správné polohy distálně od postiženého místa náročnější. Na druhou stranu ale trombus představuje měkkou překážku, která je pro kovový vodič většinou snadno překonatelná. Během dilatace balónku nebo implantace stentu v místě trombotického postižení může dojít k periferní embolizaci částí trombů, což je jeden z mechanismů pomalého nebo úplně zastaveného průtoku do periferie koronárního řečiště (a tedy k samotným kardiomyocytům) i přes ošetření původního místa uzávěru epikardiální tepny.

Ve snaze zabránit těmto embolizacím existují katetrizační nástroje určené k odstranění trombu z koronární tepny před balónkovou dilatací nebo implantací stentu. Nejpoužívanější z těchto nástrojů jsou aspirační katétry, které mají rovný trubicovitý tvar se dvěma oddělenými vnitřními lumen. Tenké lumen je určené pro koronární vodič, po kterém se zavedou do požadovaného místa a velké lumen se používá k mechanickému odsátí trombotických hmot z vnitřku koronární tepny pomocí podtlaku vytvořeného velkými stříkačkami. Z logiky věci je určitě lepší tromby z koronární tepny odstranit než riskovat jejich embolizaci do periferie, ale velké randomizované studie rutinního použití aspiračních katétrů u všech pacientů se STEMI neprokázaly jejich klinický efekt pro tyto nemocné a dokonce naznačily vyšší riziko vzniku cévních mozkových příhod při jejich použití, pravděpodobně jako důsledek embolizace trombů z aspiračního katetru do přívodních mozkových tepen při jeho stažení do zaváděcího katétru umístěného v kořeni aorty (Kumar, 2020). Aspirační katétry se nadále používají u pacientů s velkým trombotickým postižením, kdy se bez jejich použití nedaří obnovit průtok v infarktové tepně nebo se nedaří zobrazit původní lézi, která má být ošetřena implantací stentu.

Kromě trombotického postižení se intervence u akutních koronárních syndromů už příliš neliší v morfologii koronárního postižení od nálezů u chronické ICHS, ošetřují se fokální i difuzní léze, postižení v kritických lokalizacích i léze s menším povodím a také kalcifikované i fibroticky postižené tepny. Pacienti s akutními koronárními syndromy se ale od pacientů s chronickou ICHS často liší klinicky.

Akutní ischemie může u části z nich vést k již zmíněným maligním arytmiím nebo kardiogennímu šoku. Péče o tyto nemocné na katetrizačním sále pak zahrnuje kromě intervenční kardiologie i intenzivní péči včetně kardiopulmonální resuscitace, umělé plicní ventilace a mechanických podpor oběhu. Ve spolupráci s intenzivistou (nejčastěji v podobě lékaře koronární jednotky) tak intervenční kardiolog u nejtěžších pacientů zavádí intraaortální balónkovou kontrapulzaci (IABK), systém extrakorporální membranózní oxygenace (ECMO) nebo implantabilní mechanické podpory levé komory (jako je systém Impella). IABK představuje dlouhý balónek zavedený do descendentní aorty cestou femorální tepny, který se během každého srdečního cyklu nafoukne během diastoly a vyfoukne během systoly, kterou přístroj rozeznává podle EKG nebo invazivně zaznamenané tlakové křivky. Nafouknutím balonku na začátku diastoly se zvýší krevní tlak proximálně od balónku a zlepšuje se perfúzní tlak koronárních a mozkových tepen. Vyfouknutí balónku na začátku systoly vede k poklesu dotížení (afterloadu) levé komory, tedy odporu, proti kterému vypuzuje komora krev do aorty a sníží se její práce a spotřeba kyslíku myokardem. ECMO je systém v různých konfiguracích zabezpečující oxygenaci krve mimo tělo pacienta a sloužící i jako případná podpora oběhu. U pacientů na katetrizačním sále se nejčastěji zavádí v konfiguraci, kdy odčerpává deoxygenovanou krev z velké žíly (femorální nebo jugulární), oxygenuje ji a vrací do velké tepny (femorální) a je tak schopné nahradit funkci srdce i plic u nemocných s kardiogenním šokem nebo i zástavou oběhu. Systém Impella je krevní pumpa zavedena katetrizační cestou přes aortální chlopeň do levé komory srdeční, ze které čerpá krev do aorty a podle své velikosti je schopna podpořit selhávající levou komoru, případně krátkodobě zcela nahradit její srdeční výdej.

Indikace k revaskularizaci myokardu u pacientů s chronickou ICHS se rozlišuje na prognostickou a symptomatickou (Knuuti, 2020). Zlepšení prognózy pomocí PCI je u stabilních pacientů s chronickou ICHS při dnešní moderní farmakologické léčbě obtížné prokázat v randomizovaných studiích. Možný přínos PCI u těchto pacientů je dán zejména rozsahem ischemie, kterou revaskularizace řeší a nastává při jejím velkém rozsahu (dle dlouhodobých studií přibližně nad 12,5 % myokardu levé komory (Knuuti, 2020)), tedy při postižení v kritické lokalizaci, jako jsou kmen levé věnčité tepny, proximální úsek ramus interventricularis anterior (tedy koronární tepny s největším povodím), postižení všech tepen nebo jediné zbývající funkční koronární tepny (při chronických uzávěrech zbylých tepen). Symptomatická indikace je dána přítomností významného postižení koronární tepny u pacienta s anginou pectoris nebo dušností. U chronických forem ICHS se oproti akutním formám častěji používá chirurgická revaskularizace myokardu, zejména u pacientů s postižením všech tepen, difuzním postižením, u diabetiků a u pacientů podstupujících kardiochirurgický výkon z jiné indikace (Knuuti, 2020).

Výraznou překážkou pro PCI jak u akutních, tak chronických pacientů jsou kalcifikace koronárních tepen. Tyto nacházíme v různé hloubce cévní stěny a když jsou přítomny v dostatečném rozsahu, způsobují často obtížné zavedení katetrizačního instrumentária do požadovaného místa, výrazně zvyšují rezistenci léze k dilataci balónkovým katétrem a při

nedokonalé přípravě stenózy před implantací stentu jsou pak i nejsilnějším rizikovým faktorem nedokonalého roztažení a apozice koronárních stentů (Shavadia, 2018). Pro ošetření těžce kalcifikovaných lézí existuje několik specifických nástrojů. Nejdéle používaným je rotační aterektomie (zkráceně rotablace), využívající kovový katetr olivkovitého tvaru posetý malými kousky diamantů, který se při rotaci vysokými rychlostmi (120 000 - 200 000 otáček za minutu) opakovaně na krátké časové úseky zavádí do kalcifikované stenózy (Barbato, 2015). Metoda je založena na principu selektivní abraze, kdy tuhé, kalcifikované části cévní stěny jsou rotablačním systémem rozrušeny na částice tak malé velikosti, že po odplavení krevním proudem nevedou k okluzi koronární mikrocirkulace, zatímco elastické, nekalcifikované části cévní stěny nejsou porušeny a tlakem instrumentária během ablace pouze dočasně odtlačeny. Rotablační systém vyžaduje zavedení speciálního koronárního vodiče (o průměru pouze 9 tisícin palce oproti 14 tisícinám u běžných vodičů) distálně od léčené stenózy a po tomto vodiči je posléze do koronární tepny zaveden samotný rotační katétr napojený na konzoli s pneumatickým poháněním. Podle velikosti cévy se používají katétry o průměru 1,25 až 2,0 mm, při nedostatečném efektu po použití menšího katétru se může procedura opakovat i s větším instrumentáriem. Po provedení rotablace dochází na jedné straně ke zmenšení množství kalcifikací, které jsou z léze částečně odbroušeny, ale také k výraznému zmenšení celkové rezistence léze. V dalším kroku je proto už většinou snadné do stenózy zavést vysokotlaký balónek a dilatovat ji, čímž se léze připravuje pro finální implantaci stentu. Systémem podobným rotační aterektomii je orbitální aterektomie, která kromě selektivní abraze používá i centrifugální síly rotujícího excentrického kovového katétru.

Novinkou v řešení koronárních kalcifikací je intravaskulární litotrypse, využívající stejného principu jako extrakorporální litotrypse při léčbě urolitiázy, tedy akustické rázové vlny (Hill, 2020). Emitory rázové vlny jsou v tomto případě uvnitř balónku připomínajícího běžný balónkový katétr, který se po zavedení do kalcifikované léze dilatuje na nízký tlak (4 - 6atm.) a po připojení na generátor pulzů produkuje v sekundových intervalech jiskry uvnitř balónku naplněného ředěnou kontrastní látkou. Ty vedou k rychlému vypaření tekutiny a rychlé expanzi a následnému kolapsu bublin uvnitř balónku, což vede ke vzniku akustické tlakové vlny a jejímu šíření do okolní tkáně, tedy cévní stěny, kde dochází k rozrušení kalcifikací, bez poškození měkkých tkání a léze posléze opět přestává být rezistentní k balónkové dilataci. Na rozdíl od rotablace nevyžaduje intravaskulární litotrypse žádný speciální trénink, jelikož jde z pohledu intervenčního kardiologa o úkon téměř identický s prostou balónkovou dilatací. Rozrušené kalcium zůstává v cévní stěně, metoda není zatížena rizikem pomalého toku do periferie koronární tepny v důsledku embolizace a aktivace trombocytů při vysokých rychlostech rotablačního katétru. Na druhou stranu jde o nástroj většího průměru než běžně používané balónkové katétry, proto je obtížné zavést katétr pro litotrypsi do těsné kalcifikované stenózy. Takovou stenózu je často nutné připravit alespoň částečnou dilatací malým balónkem, než se do ní podaří zavést balónek pro litotrypsi, který dokáže rozrušit kalcifikace v dané oblasti až po zavedení do požadovaného místa a dilataci. Rotablační katétr je naproti tomu schopen překonat i těsné stenózy díky modifikaci kalcifikací již při zavádění katétru do stenózy. Obě metody jsou tak spíše komplementární a každá z nich vhodná pro jinou morfologii těžce kalcifikovaných lézí.

Specifickou kapitolou intervenční kardiologie je PCI chronických uzávěrů koronárních tepen, tedy kompletních uzávěrů starších než tři měsíce. Ty představují technicky

nejnáročnější oblast koronárních intervencí (Brilakis, 2019). Dosažení bezpečné polohy koronárního vodiče v pravém lumen koronární tepny distálně od léze je v případě PCI chronických uzávěrů ztíženo několika faktory. Mezi ty patří často dlouhé postižení, tuhá tkáň samotného uzávěru, která je obvykle velmi rezistentní k průniku intervenčního instrumentária a také riziko průniku instrumentária do subintimálního prostoru, který je naopak oproti intimálnímu plátu méně rezistentní a ze kterého může být náročné dostat se opět do distálního pravého lumen. Přítomnost chronického uzávěru koronární tepny je i ukazatelem pokročilejší koronární aterosklerózy a znamená pro své nositele větší riziko kardiovaskulárních klinických příhod (Schumacher, 2019). Přesto jsou pacienti s chronickými uzávěry méně často revaskularizováni, zejména pomocí PCI. V případě izolovaného postižení jedné koronární tepny jsou mnohem častěji léčeni konzervativně (tedy pouze farmakoterapií), v případě postižení více tepen je potom přítomnost chronického uzávěru důležitým faktorem pro volbu chirurgické revaskularizace. Důvodem méně časté indikace PCI chronických uzávěrů je zmíněná technická náročnost výkonů, menší šance na úspěšný výsledek (která bez použití specializovaných postupů klesá k 50 %) a vyšší riziko komplikací. Moderní techniky PCI chronických uzávěrů si ale dokážou poradit s většinou technických překážek a zvýšit úspěšnost výkonů až k 90 % a katetrizačně vyřešit většinu komplikací (které ale zůstávají vyšší než u PCI neokludovaných tepen (Brilakis, 2019)).

Indikace k revaskularizaci pacientů s chronickým uzávěrem by ideálně měla být založena na klinických potřebách, tedy zlepšení symptomů nebo prognózy, a ne na anatomických poměrech postiženého místa (Brilakis, 2019). K překonání chronických uzávěrů se používá nejširší spektrum katetrizačního instrumentária, často specificky vyvinutého pro tuto problematiku, které se ale posléze úspěšně začalo používat i u jiných komplexních výkonů. U většiny PCI chronických uzávěrů se používají dva zaváděcí katétry (zavedené každý v jedné koronární tepně, případně oba v té samé tepně). To umožní vizualizaci distálního řečiště intervenované tepny za uzávěrem, které se často plní pomocí kolaterál z druhé koronární tepny a také případné zavedení instrumentária přes tyto kolaterály a překonání uzávěru retrográdním přístupem. Pro pacienta to znamená nutnost získání dvou tepenných přístupů, kdy se různě kombinují radiální a femorální přístup a část těchto výkonů je dnes prováděná ze dvou radiálních vstupů, aby se zachovala možnost časné vertikalizace a komfortu. Jako je tomu i u jiných výkonů, kde je nezbytná velká podpora zaváděcích katétrů k překonání rezistentních míst, používají se u PCI chronických uzávěrů často katétry větších průměrů (7 a 8 Frenchů), kdy díky speciálním tenkostěnným zavaděčům lze mnohé z nich zavést i do radiální tepny.

Existuje velká škála vodičů se specifickou konstrukcí určených pro jednotlivé dílčí kroky během PCI chronických uzávěrů (Brilakis, 2019). Měkké vodiče se používají k zavedení dalšího instrumentária k samotnému uzávěru, k překonávání kolaterál při retrográdním přístupu a k dokončení PCI (k zavedení balónkových katétrů a stentů) po překonání uzávěru. Vodiče různé tvrdosti s polymerovou úpravou povrchu, která výrazně snižuje tření při průniku vodiče tkání, se využívají k proniknutí uzávěrů tvořených méně rezistentní tkání, které mohou mít ve svém vnitřku často zbytkové mikrokanály, jimiž jsou polymerové vodiče schopné navigovat až do distálního lumen. Tyto vodiče se rovněž využívají k bezpečnému pohybu v subintimálním prostoru (po ohnutí špičky vodiče do tvaru kolínka a následné tupé preparaci subintimální tkáně, která zabrání vodiči poranit zevní vrstvu cévní stěny), a často také k překonání neokludovaných výrazně

kalcifikovaných úseků koronárních tepen. Moderní postupy běžně využívají specifické vodiče s výbornou řiditelností, ostrou špičkou a střední tvrdostí, které jsou určeny k navigaci v tuhých tkáních kalcifikovaných uzávěrů. Konečně existují i velmi tvrdé vodiče schopné propíchnout i rezistentní tkáň kalcifikovaných plátů, které se využívají pouze v případě nutnosti překonat velmi odolné místo, jejich případný pohyb v delším úseku vinuté cévy výrazně zvyšuje riziko perforace. Při retrográdním přístupu se používá dlouhý externalizační vodič, který je zaveden do koronárního systému jedním zaváděcím katétrem, prochází kolaterálou do distální části léčené tepny a přes původní uzávěr do druhého zaváděcího katetru, kterým je vyveden ven z těla pacienta a umožní tak dokončení PCI.

Klíčovým faktorem k provedení úspěšné PCI chronických uzávěrů jsou mikrokatétry, tenké nástroje s vnitřním lumen pro koronární vodič v celé své délce a různou povrchovou úpravou, které se po vodiči zavádějí dovnitř koronárních tepen (Brilakis, 2019). Mikrokatétry rozhodujícím způsobem zvyšují penetrační sílu vodičů a také přesouvají zajištěnou pozici během PCI z ostia koronární tepny k nebo do samotného uzávěru, a to jak antegrádním tak i retrográdním způsobem. Tak lze při intervenci měnit tvar špičky vodiče nebo zcela vyměnit vodič bez ztráty dosažené pozice a nutnosti opětovné navigace instrumentária od ústí koronární tepny (včetně například překonání kolaterály retrográdním přístupem). Tato technika se používá i u jiných komplexních PCI, při výměně vodiče za měkčí a bezpečnější po překonání klíčového úseku léčené tepny nebo při zavádění specializovaného vodiče před rotablací.

Další specifické postupy k zajištění co největší podpory instrumentária používané u PCI chronických uzávěrů i jiných lézí zahrnují například využití extenzí zaváděcích katétrů (do koronárních tepen), použití kotvících balonků v bočních větvích nebo mikrokatétrů se dvěma vnitřními lumen k zavedení dalšího koronárního vodiče například při zajištění boční větve za uzávěrem. Nezřídka je u kalcifikovaných lézí potřeba použít i rotablaci.

Samotná PCI chronického uzávěru začíná velmi pečlivou analýzou koronarogramu, ideálně simultánních nástřiků do obou koronárních tepen k naplánování primárních i záložních strategií, jak překonat uzávěr. Tyto se posléze v případě neúspěchu primární strategie střídají, aby se zvýšila šance na dobrý výsledek (Brilakis, 2019). U antegrádních technik se k uzávěru zavede mikrokatétr, ze kterého se do uzávěru proniká různými vodiči podle anatomických poměrů a odezvy léze na již použité vodiče. Zejména u uzávěrů s krátkou délkou je možné tyto překonat vodičem do pravého lumen distálně, přes mikrokatétr vyměnit vodič za měkký a posléze již většinou přímočaře dokončit PCI. U uzávěru s dlouhou délkou a ve vinutých částech tepny vodiče snadno pronikají do subintimálního prostoru, ze kterého je posléze potřeba udělat spojení do pravého lumen distálně, aby se obnovila perfúze v periferii koronární tepny. Toho je možné dosáhnout zavedením retrográdního instrumentária do stejného subintimálního prostoru a propojení obou systémů pomocí balónkové dilatace na antegrádním vodiči. Toto propojení pak umožní zavedení retrográdního vodiče do antegrádního zaváděcího katetru a výměnu za zmíněný externalizační vodič. Retrográdně se někdy rovněž podaří proniknout vodičem přes uzávěr do pravého lumen (proximálně od uzávěru), v takovém případě samozřejmě není potřeba dělat spojení obou systémů v subintimálním prostoru, pouze vodičem nasondovat antegrádní zaváděcí katétr. Distální konec chronického uzávěru je vystaven nižšímu tlaku krve než proximální a díky tomu má jinou histologickou stavbu a je často méně rezistentní k překonání vodičem. Na druhou stranu retrográdní přístup s sebou nese větší riziko

komplikací daných zejména možností poranění kolaterály s následným krvácením do perikardiálního prostoru a tamponádou a také trombózou nebo disekcí dárcovské tepny, ze které vychází použitá kolaterála. V případě antegrádního proniknutí vodiče do subintimálního prostoru a tímto prostorem až za distální konec uzávěru lze použít specifické instrumentárium (mikrokatétr Crossboss s tupým koncem a plochý balonek Stingray) k vypíchnutí se do pravého lumen distálně. Tato technika ale vyžaduje distální tepnu dostatečného průměru a bez bočních větví a nelze ji použít u všech uzávěrů. Pro každého pacienta je dle jeho nálezu potřeba naplánovat bezpečnou a efektivní strategii a během výkonu reagovat na aktuální situaci zmíněnými změnami strategie.

K provádění PCI patří i techniky řešení nastalých komplikací (Baim, 2020). Ty ve svém důsledku vedou prakticky vždy buďto ke krvácení nebo ischémii, a to jak na koronárních tepnách, tak ve vzdálených lokalizacích. Ischemie v koronárních tepnách vzniká v důsledku trombózy nebo okluzivní disekce, které se řeší technikami podobnými klasické PCI, tedy balónkovou dilatací, implantací stentů, tromboaspirací a případně posílením antitrombotické terapie. Ischemie ve vzdálené lokalizaci se týká zejména periprocedurálních ischemických mozkových příhod, případně embolizací do končetinových tepen. Krvácení při perforaci koronárních tepen vede k akumulaci krve v perikardiální dutině, což záhy způsobí tamponádu srdeční. Jde o urgentní stav, u kterého je potřeba na jednu stranu zastavit zdroj krvácení a na druhou v případě hemodynamického dopadu perikardiálního výpotku odstranit náplň perikardu a tím obnovit normální plnění srdečních oddílů. Perforace koronárních tepen se rozlišují na perforace magistrálních tepen v místě dilatací balónkových katétrů nebo implantace stentů a distální perforace. K řešení perforací magistrálních tepen vzácně postačuje prolongovaná dilatace balónkovým katétrem nebo implantace dalšího koronárního stentu, často je ale potřeba ošetřit je implantací krytého stentu, který je po svém povrchu potažený polyuretanovou tkaninou (v případě starší konstrukce jde o dva stenty, mezi kterými je tkanina). Implantace takového stentu uzavře perforaci, ale také jakékoliv boční větve odstupující z daného úseku (Baim, 2020, Brilakis, 2019). V případě perforací v periferii koronárních tepen, ke kterým dochází distálním koncem vodiče při jeho periferním zavedení (a excesivnímu pohybu vodiče v této poloze při snaze o zavedení dalšího instrumentária po vodiči) se ošetřuje opět prolongovanou dilatací balonku a v případě jejího neúspěchu periferní embolizací perforované větve koronární tepny. Jako embolizační materiál se s největším efektem používají malé embolizační cívky z neurointervenčního instrumentária, případně trombus nebo částečky tukové tkáně z podkoží pacienta. Zvláštní situaci představují perforace kolaterál koronárních tepen při retrográdním přístupu u PCI chronických uzávěrů. U jejich epikardiálního průběhu poté opět dochází ke krvácení do perikardu. Ošetření i tady probíhá nejčastěji embolizací, tu je ale je nezbytné provést na obou stranách perforované kolaterály (při jejím napojení na oba segmenty koronárních tepen, které propojuje), jinak bude krvácení pokračovat (Brilakis, 2019). V případě hemodynamicky vyjádřené tamponády je potřeba kromě ošetření zdroje krvácení provést i perikardiální drenáž, tedy punkci perikardu, často i se zavedením speciálního pig-tail katétru do perikardiálního vaku, kterým pokračuje odsávání případného pokračujícího krvácení. Set na perikardiocentézu patří k důležitému vybavení katetrizačních sálů. Pacienti po kardiochirurgických operacích, kteří často nemají intaktní perikard, v případě krvácení do perikardiálního prostoru nevyvinou klasickou tamponádu s cirkulárním perikardiálním výpotkem a útlakem pravostranných oddílů, ale může u nich dojít k formování lokalizovaného hematomu, který může vést k selektivní

kompresi i levostranných oddílů (Brilakis, 2019). Některé z těchto hematomů nemusí být přístupné k perikardiální punkci a lze je vzácně ošetřit zavedením drenáže pod kontrolou výpočetní tomografie (CT). Krvácení mimo srdce se nejčastěji týká místa tepenné punkce, ale může se i vzhledem k potencované antitrombotické terapii během a po výkonu projevit kdekoliv.

## 2.4. Intravaskulární zobrazovací a funkční metody

SKG i PCI jsou často kombinovány s dalšími invazivními vyšetřovacími metodami, které poskytují informace nesdělitelné samotným rentgenovým zobrazením. Tyto metody buď zobrazují cévní stěnu a lumen koronární tepny jiným mechanismem, než je rentgenové záření anebo vyšetřují funkční atributy průtoku krve koronární tepnou.

### 2.4.1. Intravaskulární ultrazvuk

Intravaskulární ultrazvuk (IVUS) je zobrazovací metoda využívající miniaturizovanou ultrazvukovou sondu na speciálním katétru, která je zavedena do koronární tepny (opět po koronárním vodiči) a v reálném čase získává ultrazvukové příčné řezy koronární tepnou (Baim, 2020). Posunem sondy po vodiči lze pak zobrazit požadovaný úsek tepny. IVUS na rozdíl od SKG zobrazuje i cévní stěnu koronárních tepen se všemi jejími vrstvami a dokáže detailněji charakterizovat koronární patologie ve smyslu aterosklerotického plátu, trombotického postižení nebo disekce. Metoda je vynikající ke zjištění přesných rozměrů koronární tepny a tím i k volbě velikosti stentu. Po implantaci dokáže IVUS zhodnotit apozici stentu k cévní stěně, dostatečnost dosaženého lumen a případné komplikace jako jsou disekce na okraji stentu. U selhání starších stentů při trombóze nebo restenóze dokáže IVUS rozeznat některé z mechanismů selhání jako je nedostatečná apozice stentu, fraktura stentu nebo již zmíněná disekce na okraji stentu. V tomto kontextu je IVUS výbornou zobrazovací metodou k řízení jednotlivých kroků PCI a podle některých prací jsou dlouhodobé výsledky IVUS řízené intervence lepší než při řízení pouhou angiografií (Mentias, 2020). IVUS se také s oblibou využívá během intervencí chronických uzávěrů. V situaci, kdy instrumentárium proniklo, často opakovaně, do subintimálního prostoru, by nástřik kontrastní látky mohl propagovat hydraulickou disekci až do periferie léčené tepny (Brilakis, 2019). Ultrazvukové měření průměru i délky léčené léze tak umožní zvolit velikost stentu i bez rentgenového zobrazení. Při potřebě propojit antegrádní a retrográdní instrumentárium lze IVUS použít k zobrazení vhodného místa k vytvoření spojení, kdy se obě instrumentária nacházejí v jednom prostoru a blízko u sebe.

### 2.4.2. Optická koherenční tomografie

Optická koherenční tomografie (OCT) je metoda používaná k získání zobrazení o velmi vysokém rozlišení, i když s malou hloubkou penetrace do tkáně. V medicíně se nejdříve využívala v oftalmologii, v intervenční kardiologii se používá analogicky k IVUS jako intrakoronárně zavedená sonda, zobrazující tomografické řezy lumen a cévní stěny (Baim, 2020). Zobrazení je v tomto případě založeno na odrazu blízkého infračerveného záření od cévní stěny, které poskytuje lepší rozlišovací schopnost než IVUS (10 až 20 µm oproti 100 až 200 µm) za cenu menší penetrace do tkáně (1,5 až 3 mm oproti 10 mm u IVUS). K

získání zobrazení je potřeba v danou chvíli ve vyšetřované tepně odstranit erytrocyty, k čemuž se nejčastěji používá proplach kontrastní látkou. Během tohoto proplachu je katétr s optickou sondou automatickým systémem kontinuální rychlostí stažen směrem k zaváděcímu katétru a zaznamenává přitom zobrazení koronární tepny. Výsledná obrazová dokumentace poskytuje podobné informace jako IVUS, ale díky parametrům metody je zobrazení povrchových částí cévní stěny mnohem detailnější, zatímco hluboké části nejsou v případě většího aterosklerotického postižení vůbec zobrazeny. OCT je výbornou metodou k charakteristice aterosklerotických plátů, detekci ruptur těchto plátů a přítomnosti trombů a také ke zhodnocení apozice a endotelizace jednotlivých vláken (strutů) stentů, kvantifikace restenózy a přítomností komplikací po implantaci stentů jako jsou disekce nebo trombóza. Nevýhodou metody je nutnost podání kontrastní látky během vyšetření a tedy nárůst její celkové spotřeby, kvalitního zobrazení lze ale dosáhnout také nahrazením kontrastní látky koloidními roztoky. V situaci, kdy razantní nástřik do vyšetřované tepny může propagovat hydraulickou disekci tepny se OCT používá s opatrností nebo vůbec (u některých typů spontánní disekce věnčité tepny nebo u PCI chronických uzávěrů). Díky nutnosti odstranění erytrocytů ze zorného pole OCT sondy je někdy problematické kvalitní zobrazení ostií koronárních tepen.

### 2.4.3. Blízká infračervená spektroskopie

Blízké infračervené světlo se využívá i ve spektroskopické analýze cévní stěny (označované jako NIRS). Metoda je schopna identifikovat lipidové jádro aterosklerotických plátů a odhalit tak takzvaný vulnerabilní plát, jehož nositelé mají větší riziko klinických příhod (Negi, 2015). Samotná spektroskopická analýza neposkytuje morfologické zobrazení cévní stěny, proto katétr pro NIRS obsahuje i IVUS sondu, která umožní korelovat získanou informaci o lipidové zátěži s ultrazvukovým zobrazením aterosklerotických plátů.

### 2.4.4. Frakční průtoková rezerva

Rentgenové zobrazení stenóz koronárních tepen během SKG a měření stupně stenózy odhadem nebo softwarem zabudovaným v rentgenovém přístroji (kvantitativní koronární angiografie) identifikuje u řady pacientů hraniční neboli intermediární léze (nejčastěji hodnocené jako 40–70% stenózy). U těch lze obtížně pouze na základě rentgenového zobrazení rozhodnout, jestli mohou pacientům způsobovat ischemii myokardu a symptomy. V určení funkční významnosti takových stenóz pomáhají výsledky neinvazivních zátěžových testů a také je lze invazivně vyšetřit během srdeční katetrizace pomocí měření frakční průtokové rezervy (FFR). K ischemii dochází, když stenóza koronární tepny vede ke snížení krevního průtoku do mikrocirkulace. V klinické praxi je obtížné reprodukovatelně měřit průtok v koronárních tepnách, ale za situace maximální vazodilatace koronárního řečiště je průtok lineárně závislý na tlaku krve, který lze jednoduše změřit. Z poměrů tlaků za a před stenózou se následně usuzuje na funkční významnost měřené stenózy. Proximální tlak (před stenózou) se rovná systémovému tlaku krve a získává se ze zaváděcího katétru v ostiu koronární tepny. Distální tlak (za stenózou) se měří po zavedení tlakového čidla za měřenou stenózu. Tlakové čidlo je součástí speciálního koronárního vodiče (blízko jeho distálního konce) nebo mikrokatétru, který lze do požadovaného místa zavést po jakémkoliv koronárním vodiči. Maximální vazodilatace se navozuje podáním adenosinu intrakoronárním bolusem nebo kontinuální

intravenózní infuzí. Při naměření poměru tlaků 0,80 a nižším se daná stenóza považuje za funkčně významnou (Baim, 2020).

Při rozhodování o provedení PCI hraničních stenóz se řízení výsledkem měření FFR ukazuje jako přesnější než řízení podle angiografické tíže stenózy a znamená pro pacienty menší riziko klinických příhod (Knuuti, 2020). Funkční měření zakomponuje kromě procentuálního stupně stenózy také délku léze a velikost zásobeného viabilního myokardu. Dosahuje tak někdy překvapivých výsledků měření, kdy angiograficky těsná stenóza na tepně s malým povodím nemusí znamenat významnou ischemii, zatímco delší postižení pouze do 50 % na tepně s velkým povodím (nejčastěji RIA) již je pro pacienta funkčně i klinicky významné. Kromě měření FFR za navozené vazodilatace existují i klidové indexy využívající části srdečního cyklu, kdy je odpor koronární mikrocirkulace minimální a není u jejich měření potřeba podávat adenosin. Z těchto indexů má nejvíce dat a do klinické praxe nejvíce pronikl index iFR (z anglického označení instantaneous wave-free ratio) porovnávající části tlakových křivek během diastoly z několika po sobě následujících srdečních cyklů. Samotné měření probíhá stejně jako při FFR zaznamenáním tlakové křivky ze zaváděcího katétru a z tlakového čidla na konci speciálního vodiče, ale bez zmíněného navození vazodilatace. Kromě výhody v nepodávání adenosinu se během měření iFR lépe zhodnotí difuzní nebo vícečetné postižení koronární tepny (při postupném stahování vodiče za kontinuálního měření) než při bolusovém intrakoronárním podání adenosinu a také se snáze hodnotí významnost ostiálního postižení koronárních tepen (měření iFR umožňuje dislokovat zaváděcí katetr z ostia tepny a zabrání ovlivnění zaznamenané tlakové křivky přítomností ostiální stenózy). Novější typ funkčního vyšetření tepen umožňuje kromě tlaku reprodukovatelně měřit i průtok koronární tepnou s využitím principu termodiluce. K získaným informacím tak přidává i charakteristiky samotné mikrocirkulace jako jsou index myokardiální rezistence a koronární rezerva. Použití funkčních vyšetřovacích metod je na jednotlivých pracovištích rozdílné a mnoho intervenčních kardiologů stále u hraničních stenóz spoléhá na angiografické hodnocení závažnosti stenózy, ale výsledky mnoha klinických studií ukazují, že toto hodnocení není tak přesné jako funkční hodnocení přítomnosti ischemie (van Nunen, 2015).

## 2.5. Hemodynamické vyšetření

Hemodynamické vyšetření zahrnuje měření tlaků a dalších veličin v jednotlivých srdečních oddílech a velkých cévách za klidových podmínek i během různých zátěžových testů (Ragosta, 2008). Používá se k diagnostice nemocí srdce a plicního oběhu a bylo od počátku součástí srdeční katetrizace (Gaspard, 2017, Ragosta, 2008). V dnešní době lze mnohé z informací získaných během hemodynamického vyšetření získat neinvazivními vyšetřovacími metodami (zejména echokardiografií), ale ve specifických situacích má hemodynamické vyšetření pořád nezastupitelné místo. Rozsah a technické provedení hemodynamického vyšetření závisí na klinické otázce, kterou má vyšetření zodpovědět. Při vyšetřování pravostranných srdečních oddílů a plicního oběhu (takzvaná pravostranná katetrizace) se získává přístup do žilního řečiště (u jednorázového vyšetření na katetrizačním sále nejčastěji cestou femorální žíly), při vyšetření levostranných oddílů poté tepenný přístup analogicky k SKG. U pravostranné katetrizace se nejčastěji používá Swanův-Ganzův plovoucí balónkový katétr. Jde o tenkostěnný katétr v různých

modifikacích a s různým počtem samostatných lumen, který má vždy na svém distálním konci poddajný balonek, jež lze po zavedení do cévního systému dle potřeby nafukovat a vyfukovat vzduchem přes samostatné lumen. Nafouknutí balonku zlepšuje jeho zavedení po směru krevního proudu, tedy z velkých žil do pravé síně, pravé komory a následně do plicnice. Po zavedení do některé z periferních větví plicnice poté nafouknutí balonku umožní z distálního lumen na hrotu katétru měřit tlak v zaklínění. Po obturaci větve plicnice se krevní tlak distálně od balonku pasivně vyrovná přes plicní cirkulaci s tlakem v plicních žilách a tlak v zaklínění tak odpovídá tlaku v levé síni. Zavedení instrumentaria přímo do levé síně by totiž u pacientů s celistvým septem síní (tedy většiny pacientů) vyžadovalo transseptální punkci. Tlak v levé komoře a aortě se poté nejčastěji měří pig-tail katétrem, někdy se používá katétr se dvěma samostatnými lumen k simultánnímu měření tlaků v levé komoře a aortě ke zhodnocení tlakového gradientu při aortální stenóze nebo hypertrofické obstrukční kardiomyopatii.

Indikace k hemodynamickému vyšetření zahrnují zejména určení typu a kvantifikace plicní hypertenze, screening a kvantifikace zkratových vad, měření srdečního výdeje, kvantifikace chlopenních vad a určení etiologie srdečního selhání (Ragosta, 2008). Hemodynamické měření je jedinou metodou schopnou s jistotou rozlišit prekapilární a postkapilární plicní hypertenzi právě díky měření tlaku v zaklínění, který je zvýšen u postkapilární plicní hypertenze (a také u smíšené reaktivní plicní hypertenze) a normální u prekapilární plicní hypertenze. Měření saturace krve v jednotlivých srdečních oddílech je citlivou metodou pro detekci významného zkratového proudění, podle místa vzestupu saturace při měření v jednotlivých srdečních oddílech dokáže i lokalizovat zkratovou vadu a výpočtem systémového a plicního průtoku zkratové proudění i kvantifikovat.

Výpočet srdečního výdeje na základě zjištěných saturací ve smíšené žilní krvi a v aortě a hodnoty hemoglobinu spolu s odhadovanou spotřebou kyslíku podle věku, pohlaví a tělesných rozměrů pacienta je podkladem Fickova principu (Ragosta, 2008). Srdeční výdej se během hemodynamického vyšetření dá měřit i pomocí termodiluce a historicky i pomocí barevné indikátorové diluce. Termodiluce, jež je jednou z metod dlouhodobé monitorace srdečního výdeje u pacientů na jednotkách intenzivní péče, vyžaduje Swanův-Ganzův katetr s termistorem blízko svého distálního konce. Termistor po zavedení katétru do plicnice monitoruje teplotní křivku po podání malého objemu chlazeného fyziologického roztoku do proximálního lumen katétru (jehož otvor se nachází na úrovni pravé síně). Míra ochlazení termistoru je pak závislá na srdečním výdeji.

Kvantifikace chlopenních vad je v dnešní době doménou echokardiografického vyšetření, ale při zaznamenání tlakových křivek v oddílech oddělených hodnocenou chlopní je hemodynamické vyšetření schopno určit tlakový gradient a po výpočtu srdečního výdeje i plochu zúženého chlopenního ústí. V případě mitrální stenózy se porovnává tlak v zaklínění a tlak v levé komoře, pro diagnostické účely se transseptální punkce neprovádí. Regurgitační vady se pak hodnotí během angiografie.

Měřením tlaků ve všech srdečních oddílech, simultánním měření tlaků v obou srdečních komorách a sledováním komorových tlakových křivek během respirace lze u pacientů se srdečním selháním nejasné etiologie rozlišit, jestli se jedná primárně o patologii v myokardu nebo perikardu (tedy hemodynamický obraz restrikce nebo konstrikce). U nemocných s perikardiálním výpotkem zase hemodynamické vyšetření dokáže odhalit dopad výpotku ve smyslu tamponády srdeční (Ragosta, 2008).

## 2.6. Endomyokardiální biopsie

Histologické vyšetření myokardu je součástí diagnostiky některých srdečních onemocnění. Materiál k vyšetření se získává pomocí speciálních bioptických kleští nejčastěji z oblasti mezikomorového septa z pravokomorové strany, někdy naopak z levé komory. Pro zvýšení výtěžnosti vyšetření se při jednom vyšetření odebírá více vzorků (5 - 8). Nejčastějšími indikacemi endomyokardiální biopsie jsou detekce rejekce štěpu u transplantovaných nemocných, diagnostika myokarditidy a srdeční amyloidózy (Baim, 2020). Biopticky se někdy vyšetřují i inoperabilní nádory srdce, kdy se kromě rentgenového zobrazení bioptické kleště navigují i pomocí periprocedurální echokardiografie.

## 2.7. Strukturální intervence

Kromě léčby koronárních tepen u pacientů s ICHS je náplní intervenční kardiologie i různorodá skupina terapeutických výkonů v jiných indikacích. Tyto výkony se souhrnně označují jako strukturální (někdy také jako nekoronární) intervence. Oblast strukturálních intervencí zažila v posledních letech obrovský rozvoj a stala se důležitou součástí intervenční kardiologie. Podobně jako v případě revaskularizace koronárních tepen, byly výkony pro chlopenní a vrozené srdeční vady a další onemocnění v minulosti doménou kardiochirurgie, případně byli pacienti s vysokým operačním rizikem léčeni konzervativně (Cribier, 2017). Intervenční kardiologie nabídla těmto nemocným méně invazivní perkutánní alternativu léčby. K tomu bylo potřeba stejně jako v případě ostatních intervenčních výkonů vyvinout specifické instrumentárium pro jednotlivé výkony, vyladění tohoto instrumentária ve spolupráci se společnostmi produkující materiál pro katetrizační sály a klinické hodnocení jednotlivých výkonů s průkazem bezpečnosti, efektivity a následně i jejich případné porovnání s konzervativním postupem nebo chirurgickou léčbou. Výkonem, který zaznamenal největší nárůst v provedených počtech a který ve velkém otevřel intervenční kardiologii dveře do strukturálních intervencí, je katetrizační implantace aortální chlopně (TAVI). Perkutánně je možné provádět i výkony na dalších chlopních i chlopenních náhradách, řešit některé vrozené srdeční vady, projevy kardiomyopatií nebo chránit pacienty před embolizačními příhodami u fibrilace síní.

### 2.7.1. Katetrizační implantace aortální chlopně

U nemocných s degenerativní aortální stenózou, což je relativně častá nemoc ve vyšším věku, dlouhou dobu neexistovala skutečná alternativa chirurgické náhrady chlopně. Neléčená těžká vada vede nevyhnutelně k srdečnímu selhání a ohrožuje pacienty i náhlou srdeční smrtí. Farmakologická léčba je u této nemoci bez efektu, chirurgická implantace mechanické nebo biologické protézy do místa původní, zdegenerované aortální chlopně má naproti tomu výborné dlouhodobé výsledky za cenu velkého kardiochirurgického výkonu zatíženého perioperačními komplikacemi.

Perkutánní možnosti léčby aortální stenózy zpočátku zahrnovaly pouze balónkovou aortální valvuloplastiku (Lababidi, 1984). Výkon analogický k balónkové valvuloplastice mitrální chlopně (viz dále), která se úspěšně používá u porevmatické mitrální stenózy, se

provádí z femorálního přístupu. Nejprve je nezbytné proniknout přes zúženou aortální chlopeň vodičem. K jeho nasměrování do stenotického chlopenního ústí se používají katétry různých tvarů využívané u SKG a PCI, podle morfologie a rozměrů aortálního kořene. Pro lepší šanci proniknout do levé komory se aortální ústí sonduje vodičem s rovným koncem. Po tomto vodiči se do komory zavede katétr, který sloužil k jeho správnému nasměrování, a vodič se vymění za jiný s bezpečnějším koncem a poskytující větší podporu. Po něm se do aortálního ústí zavede balonek velkého průměru (přes 20 mm, velikost se volí podle změřeného anulu aortální chlopně), jehož dilatací se zúžené ústí zvětší. Během dilatace se provádí velmi rychlá komorová stimulace (s frekvencí až 200/minutu) dočasnou stimulací zavedenou do pravé komory nebo přes samotný vodič pro valvuloplastiku. Rychlá stimulace způsobuje krátkodobé snížení tepového objemu a tím větší stabilitu balonku během dilatace.

I když je balónková dilatace vysoce účinná u vrozené aortální stenózy, u degenerativní kalcifikované stenózy vede pouze k malému zvětšení plochy aortálního ústí a její efekt je dočasný. Na rozdíl od náhrady chlopně nezlepšuje prognózu nemocných. Pro zlepšení výsledků katetrizační léčby této nemoci proto bylo potřeba do stenotické aortální chlopně implantovat novou funkční chlopeň, která odstraní obstrukci ve výtoku krve z levé komory do aorty. Toho je dosaženo právě pomocí TAVI, kdy je chlopenní bioprotéza (vyrobená ze zvířecího perikardu) všitá do kovového prstence, stlačena do relativně malého průměru a napojena na distální konec katétru, který slouží jako zaváděcí systém pro implantaci této bioprotézy do aortálního ústí.

I přes výrazně menší průměr chlopenní náhrady při zavádění než po její implantaci, je k výkonu potřeba přístup velkou tepnou.  K TAVI se nejčastěji používá femorální přístup, v případě významného a neřešitelného postižení pánevního nebo femorálního řečiště je pak alternativou přístup přes axilární nebo podklíčkovou tepnu. Pro velikost používaného instrumentária je nezbytné buď tepenný vstup důkladně ošetřit chirurgicky nebo častěji pomocí specifických cévních uzavíracích systémů s kolagenem nebo perkutánně naloženými stehy. V případě nemožnosti jakéhokoliv cévního přístupu je možné TAVI provést z transapikálního přístupu, kdy se chirurgicky vypreparuje hrot levé komory srdeční, kterým se posléze zavede katétr s chlopenní bioprotézou do dutiny levé komory a aortální ústí se překoná tentokrát po směru krevního proudu z levé komory do aorty. Dalším chirurgickým přístupem je preparace hrudní aorty, většinou z částečné sternotomie, její punkce a zavedení instrumentaria přímo do kořene aorty. U chirurgických přístupů samozřejmě oproti perkutánním stoupá náročnost procedury i riziko jejích komplikací, ale stále představují méně invazivní alternativu oproti klasické chirurgické náhradě aortální chlopně na mimotělním oběhu (Terré, 2017).

Po získání přístupu je další krok identický s aortální balónkovou valvuloplastikou, tedy překonání aortálního ústí vodičem a jeho výměna za specializovaný vodič poskytující velkou oporu, po kterém se do aortálního ústí umístní chlopenní bioprotéza připevněna na svém zaváděcím systému. Samotná implantace se provádí pod rentgenovou kontrolou. Podle konstrukce chlopně existují dva způsoby implantace. Balon-expandibilní chlopně mají na zaváděcím systému uvnitř bioprotézy balonek, jehož dilatací ve vhodné poloze se protéza zvětší do svého plánovaného průměru a roztlačí původní pacientovu chlopeň ke stěně aorty. Samoexpandibilní chlopně mají prstenec s paměťovými vlastnostmi, který po stažení zevní pochvy sám roztlačí původní chlopeň a rozvine bioprotézu do plánované velikosti. Samotná implantace se v některých případech kombinuje i s balonkovou

valvuloplastikou a někdy je výkon pro riziko vzniku periprocedurální atrioventrikulární blokády prováděn se zajištěním dočasnou kardiostimulací (Terré, 2017).

Velkou výhodou zejména perkutánně prováděných TAVI je nízká invazivita, možnost provádění pouze v lokální anestezii a možnost časné vertikalizace pacientů. TAVI získává čím dál více důkazů, že je ekvivalentní, v některých situacích i lepší než chirurgická náhrada aortální chlopně, a proto počet prováděných výkonů stoupá. Je určená zejména pro starší pacienty a nemocné s vysokým operačním rizikem, ale má dobré výsledky i u populací s nižším rizikem (Terré, 2017). Limitací výkonu je ovšem jeho ekonomická náročnost. TAVI není metodou pro léčbu mladých nemocných, kterým chirurgie nabízí možnost mechanické náhrady aortální chlopně, která nepodléhá degeneraci (ale vyžaduje doživotní antikoagulační léčbu warfarinem). TAVI lze provést i u pacientů s degenerovanou chlopenní bioprotézou v aortální pozici, ale lze ji také použít u pacientů s bioprotézou nebo anuloplastickým prstencem (vzácně také pouze s kalcifikacemi v nativním prstenci) i v mitrální pozici. V případě implantace do mitrální pozice je samozřejmě nevyhnutelný transapikální nebo transseptální přístup. Mezi technicky složitější varianty výkonu patří například implantace chlopně do bikuspidální aortální chlopně (Yoon, 2020) nebo nutnost ochrany ústí koronárních tepen u vybraných pacientů (zejména v případě zdegenerované aortální bioprotézy). Tu lze dosáhnout pomocí elektrokauterizace cípů zdegenerované bioprotézy, nebo umístěním nerozvinutých koronárních stentů do ostií koronárních tepen před samotnou implantací chlopně (Khan, 2019).

### 2.7.2. Výkony na mitrální chlopni

Mezi jednu z prvních provedených strukturálních intervencí patří perkutánní mitrální balónková valvuloplastika, tedy dilatace stenotické mitrální chlopně u nemocných s porevmatickou mitrální stenózou (Inoue, 1984). Efekt výkonu je dán rozrušením komisur mitrální chlopně srostlých revmatickým procesem, proto se někdy označuje také jako mitrální komisurotomie. Dilatace se provádí balónkovým katétrem analogicky k aortální balonkové valvuloplastice nebo kovovým dilatátorem, který je pro možnost resterilizace oblíbený v rozvojových zemích, kde je prevalence revmatické horečky nejvyšší.

Instrumentárium se u výkonu zavádí cestou femorální žíly do pravé síně a následně po provedení transseptální punkce (tedy propíchnutí mezisíňového septa specializovanou jehlou pod rentgenovou a echokardiografickou kontrolou pomocí jícnové nebo intrakardiální echokardiografie) do levé síně. Poté se balónkový katétr zavede po vodiči do samotné chlopně a dilatuje s cílem zvětšit plochu mitrálního ústí.

Vzhledem k antibiotické terapii streptokokových infekcí je v ČR porevmatická mitrální stenóza vzácné onemocnění a perkutánní mitrální balónková valvuloplastika raritní výkon. Častou chlopenní vadou ve vyspělých zemích je ale mitrální regurgitace a s rostoucí populací nemocných se srdečním selháním stoupá zejména počet pacientů s funkční mitrální regurgitací. U pacientů s významnou vadou a vysokým operačním rizikem nabízí intervenční kardiologie možnosti perkutánního řešení. Existuje několik technik, jak zmírnit mitrální regurgitaci, ale ta s největším klinickým rozšířením a také s důkazy o zlepšení prognózy pacientů je implantace speciálního kolíčku (MitraClip), který sepne oba cípy mitrální chlopně a zmenší tak regurgitační ústí a stupeň mitrální regurgitace (Pibarot, 2019). Jde o analogii již nepoužívané chirurgické techniky, která prováděla obdobný výkon

na otevřeném srdci. Instrumentárium se zavede nejdříve do levé síně opět pomocí transseptální punkce a poté pod kontrolou jícnové nebo intrakardiální echokardiografie dojde k uchycení obou cípů mitrální chlopně a následnému uvolnění kolíčku od katétru. V případě potřeby je možné použít i více kolíčků u jednoho pacienta. Katetrizační implantace nové chlopně do mitrální pozice je zatím ve svých počátcích. Jak již bylo zmíněno, u vybraných pacientů lze použít balon-expandibilní chlopeň určenou původně pro TAVI, pokud se u pacienta v mitrálním ústí nachází materiál, který umožní fixaci této chlopně (zdegenerovaná bioprotéza, anuloplastický prstenec nebo kalcifikace v nativním prstenci). Ve vývoji je ale i několik chlopní specificky určených pro mitrální ústí, zaváděných transapikálně nebo transseptálně (Goode, 2020).

### 2.7.3. Výkony na pravostranných chlopních

Analogicky k TAVI je možné katetrizačně implantovat bioprotézu i do pulmonální pozice. Tato procedura se týká menšího počtu pacientů než TAVI. Jde zejména o nemocné po korekci vrozených vad a po Rossově operaci, kteří nyní mají pulmonální vadu, případně zdegenerovanou pulmonální bioprotézu. Pro implantaci do pulmonální pozice se používá nejen specifická chlopeň, ale také jedna z chlopní používaných u TAVI (Shahanavaz, 2020). Výkon se provádí femorálním přístupem přes žilní řečiště, pulmonální ústí se tedy překoná po směru toku krve a poté se obdobně jako při TAVI ve vhodné pozici implantuje bioprotéza.

Rovněž u pacientů s těžkou trikuspidální regurgitací, kteří jsou ve vysokém operačním riziku, existuje několik katetrizačních metod řešení chlopenní vady (Kolte, 2020). Podobně jako u postižení mitrální chlopně byly vyvinuty metody zaměřené na stažení dilatovaného anulu chlopně, zlepšení koaptace cípů a katetrizační implantaci chlopenní bioprotézy. Největší zkušenosti jsou opět s použitím technologie analogické k MitraClipu s názvem TriClip spojující konce cípů pomocí kolíčku.

### 2.7.4. Okluze defektu septa síní a foramen ovale patens

Značné zkušenosti má intervenční kardiologie s uzávěrem otvorů v septu síní (Boudoulas, 2019. V případě hemodynamicky významného defektu septa síní jeho uzavření zabrání přirozenému vývoji nemoci s pravostranným srdečním selháním. U patentního foramen ovale trvalo delší dobu získat průkazy o efektu metody v prevenci vzniku kryptogenní cévní mozkové příhody (mechanismem paradoxní embolizace (Collado, 2018)). Samotné metody uzávěrů jsou si docela podobné, cévní přístup je přes femorální žílu a po proniknutí vodičem přes otvor v síňovém septu do levé síně se na septum implantuje speciální okluder sestávající ze dvou disků tvořených kovovou sítí (někdy potažených tkaninou) spojených kovovým krčkem malého průměru v případě okluderu pro foramen ovale a různé velikosti v případě okluderu pro defekt septa síní (podle velikosti samotného defektu, který je posléze krčkem vyplněn). Před uzávěrem síňového septa se průměr defektu měří i dilatací speciálního balonku, jehož zářez v místě síňového septa umožní přesnou kvantifikaci a výběr okluderu správné velikosti. Po zavedení instrumentária do levé síně se okluder částečně vysune z plastové pochvy, čím se rozvine levosíňový disk. Zatažením za instrumentárium se levosíňový disk opře o septum a dalším stažením pochvy se rozvine i pravosíňový disk. Okluder je i v této chvíli připevněn ke

katétru a je plně reponibilní nebo odstranitelný. Po echokardiografickém ověření správné polohy a mechanickém ověření stability je posléze uvolněn z katétru.

### 2.7.5. Uzávěr ouška levé síně

U pacientů s fibrilací síní i s jinými supraventrikulárními arytmiemi vzniká při nedostatečné kontrakci svaloviny síní riziko vzniku trombů v důsledku stagnace krve, a to predilekčně v oušku levé síně. Efektivní ochranou před embolickými komplikacemi supraventrikulárních arytmií (tedy zejména před cévní mozkovou příhodou) je antikoagulační terapie. V situaci, kdy je antikoagulační léčba kontraindikovaná pro vysoké riziko krvácení, je alternativním postupem okluze ouška levé síně pomocí specifického okluderu (Reddy, 2017). Instrumentárium se do levé síně opět zavádí cestou femorální žíly a po transseptální punkci. Na základě komplexního zobrazení ouška levé síně pomocí CT vyšetření, jícnové echokardiografie a rentgenového zobrazení během samotného výkonu se zvolí vhodný okluder, který se do ouška implantuje.

### 2.7.6. Nefarmakologická léčba nitrokomorové obstrukce

Hypertrofická kardiomyopatie je nejčastější monogenně dědičné onemocnění srdce, které vede k nevysvětlené hypertrofii myokardu levé komory srdeční (Maron, 2018). U značné části pacientů vede hypertrofie bazální části mezikomorového septa a prodloužení předního cípu mitrální chlopně a závěsného aparátu ke vzniku dynamické nitrokomorové obstrukce ve výtokovém traktu, která se může podílet na symptomech pacienta a její přítomnost znamená i horší prognózu. Méně často je nitrokomorová obstrukce tvořená hypertrofickými papilárními svaly na úrovni středních segmentů levé komory (takzvaná midventrikulární obstrukce). Symptomatická nitrokomorová obstrukce se léčí farmakoterapií a nefarmakologickými metodami (Maron, 2018), které zahrnují zejména chirurgickou myektomii a katetrizační alkoholovou septální ablaci (ASA). U ASA se vytváří cílená nekróza myokardu bazálního mezikomorového septa nejčastěji injekcí 96% etanolu do vybrané septální větve RIA. Během výkonu je zvolená větev obturovaná zavedeným balónkovým katetrem a alkohol je podán druhým lumen balonkového katetru na jeho distálním konci, aby nedošlo k průniku etanolu do magistrálního RIA a nežádoucí nekróze myokardu v jiné oblasti. Před podáním etanolu se do zvolené septální větve podává sonografická kontrastní látka a echokardiograficky se hodnotí zobrazená část myokardu zásobená danou větví. Vzhledem k riziku kompletní atrioventrikulární blokády během vzniku nekrózy v bazálním mezikomorovém septu je před zahájením výkonu do pravé komory zavedena dočasná kardiostimulace. ASA se někdy používá také jako doplňkový výkon při katetrizační implantaci chlopně do aortální nebo mitrální pozice. Novinkou v katetrizačním řešení nitrokomorové obstrukce je elektrokauterizační naříznutí mezikomorového septa pomocí mikrovodiče zavedeného přímo do myokardu (procedura SESAME – septal scoring along the midline endocardium).

### 2.7.7. Katetrizační léčba paravalvulárních regurgitací

Mezi vzácnější strukturální výkony patří katetrizační uzávěry paravalvulárních regurgitací, tedy situací, kdy dochází k netěsnosti chlopenní náhrady v místě všití jejího prstence (Baim, 2020). Po překonání takového místa vodičem lze otvor na zevním okraji prstence

uzavřít specifickým okluderem. Nejnáročnější část výkonu bývá nasondování samotného otvoru vodičem a výběr okluderu vhodného rozměru. K tomu pomáhá pečlivé plánování výkonu, včetně zobrazení regurgitačního ústí pomocí CT vyšetření a často také periprocedurální navigace jícnovou echokardiografií.

### 2.7.8. Uzávěr koronárních píštělí

Vzácnými výkony jsou i uzávěry koronárních píštělí, vrozených anomálních spojení mezi koronárními tepnami a srdečními oddíly nebo velkými cévami (Baim, 2020). V případě dostatečně velkého průtoku můžou píštěle způsobit ischemii myokardu nebo srdeční selhání. Samotný uzávěr píštěle probíhá pomocí speciálních cévních okluderů nebo neurointervenčních cívek po nasondování píštěle klasickým kardiologickým instrumentáriem.

Intervenční kardiologií, jejím zaměřením, problematikou a historickým vývojem se zabývá velké množství odborných časopisů, webových portálů, vědeckých konferencí a knih. Příkladem vědecké konference, na které bylo prezentováno množství informací věnovaných právě historii intervenční kardiologie, bylo EuroPCR (kongres Evropské asociace perkutánních kardiovaskulárních intervencí) 2017 v Paříži, které bylo věnován 40. výročí provedení první koronární angioplastiky. K této příležitosti vychází kniha Dějiny koronární angioplastiky (The History of Coronary Angioplasty (Gaspard, 2017)), která je písemným i obrazovým zpracováním významných událostí čtyřicetiletého vývoje koronárních angioplastik.

Také mnohé monografie o intervenční kardiologii mají ve svém úvodu zmíněnou historii tohoto oboru (Baim, 2020, Ragosta, 2008). Mnozí z autorů stáli u zrodu stále ještě mladé součásti kardiologie a přičinili se o její prudký vývoj, mnozí jsou pořád aktivní v každodenní klinické práci ve svém oboru.

Tak jako je mnoho informací věnováno medicínské stránce intervenční kardiologie, zakladatelům, průkopníkům, lékařům, málo informací se dozvídáme o sestrách na katetrizačních sálech. Sesterská problematika je věnována pouze kardiologickým sestrám všeobecně anebo sestrám v intenzivní péči.

# 3. Použité metody

Diplomová práce je historického charakteru a mapuje vznik a vývoj intervenční kardiologie se snahou poukázat i na roli sestry v tomto oboru.

V dubnu 2017 jsem zadala žádost o vypracování rešerše v Ústavu vědeckých informací 2. LF UK se sídlem ve Fakultní nemocnici v Motole. Od zaměstnance knihovny pana Zdeňka Smrčky jsem dostala podrobně a přehledně vypracovanou rešerši, kde byla literatura rozdělena na českou a zahraniční, zvlášť se zaměřením na intervenční kardiologii a zvlášť na problematiku sester. Ve své odpovědi mě upozornil, že dostupných zdrojů o historii sester v intervenční kardiologii je málo, jsou převážně věnované pouze jejich vzdělávání v současné době.

Pomocí klíčových slov jsem hledala informace v databázích Pubmed a Google Scholar a na webových portálech české, evropské a amerických odborných kardiologických společností. Výsledkem hledání bylo velké množství odborných článků o náplni a obsahu intervenční kardiologie. Informace jsem čerpala i prostudováním dostupných materiálů v archivu Národní lékařské knihovny v Praze.

Cennou zkušeností při tvorbě diplomové práce byla možnost rozhovorů s lékaři, sestrami a rentgenovými asistenty intervenční kardiologie v České republice, kteří svoji praxi začínali právě v době, kdy se tento obor u nás začal rozvíjet. Jedná se o moje bývalé a současné kolegy a kolegyně, MUDr. Davida Tesaře, CSc., MUDr. Jana Horáka, CSc., Doc. MUDr. Petra Hájka, Ph.D., paní Lenku Novákovou, Bc. Tomáše Eisnera, Janu Eisnerovou a Kateřinu Říhovou. Pro mě jako sestru s desetiletou praxí na katetrizačním sále, bylo poutavé poslouchat a srovnávat rozdíly, změny a pokroky, které intervenční kardiologie za relativně krátké časové období zaznamenala.

Diplomovou práci jsem doplnila obrazovou přílohou. Fotky dokumentují aktuální prostředí v katetrizační laboratoři a některé výkony.

# 4. Historie intervenční kardiologie

Intervenční kardiologie je postavena na principech zavádění instrumentária do cév a srdečních oddílů a jejich zobrazení v živém organismu pomocí rentgenového přístroje. Základními kameny, které umožnily rozvoj tohoto oboru, jsou proto práce fyziologů Stephena Halese, Clauda Bernarda, Jeana Chauveaua a Etienna Marey z 18. a 19. století, kteří zavedli instrumentárium (mosazné a skleněné trubice) přes cévy do srdečních oddílů koní a psů (Bernard poprvé použil termín katetrizace) a také objev rentgenového záření Wilhelmem Konradem Röntgenem v roce 1895 (Ragosta, 2008).

Koncept léčby krevních cév vkládáním nebiologických struktur do cévního lumen trvá více než sto let a byl poprvé na zvířecím modelu aplikován francouzským chirurgem a biologem Alexisem Carrelem, který v roce 1912 získal Nobelovu cenu za medicínu za techniku vaskulárního šití. Carrelův záměr byla transluminální léčba krvácení u traumat, zatímco intervenční kardiologie léčí zejména poškození cév aterosklerotickým procesem, který vede k jejich zúžení (Barton, 2014).

První angiografii lidských tepen provedli 17. ledna 1896 fyzik Eduard Haschek a lékař Otto Lindenthal na Fyzikálním ústavu Vídeňské univerzity (Barton, 2014). K vyšetření byla použita ruka mrtvoly a její tepny byly naplněny jodovým roztokem a aplikací rentgenových paprsků s časem expozice 57 minut byl proveden první angiogram.

Zkušenosti z katetrizace zvířat a získání metody schopné zobrazit polohu zaváděného instrumentária i samotné cévy otevřely dveře k provedení srdeční katetrizace u živého člověka. Mezi kardiovaskulárními výzkumníky ale panovalo jisté váhání, protože se zavedení nástrojů do lidského srdce považovalo za velmi nebezpečné, s možnými fatálními důsledky (Ragosta, 2008).

## 4.1. První srdeční katetrizace

První srdeční katetrizace u člověka je připisována mladému německému chirurgovi, Wernerovi Forssmannovi v roce 1929 (Forssmann, 1929). Jeho prvenství možná bylo předstiženo chabě dokumentovanými a rozporovanými snahami jiných německých kolegů (Bleichröder, Unger a Löb) již v roce 1905 (Ragosta, 2008). Tito lékaři si ve snaze podávat léčiva do blízkosti srdce navzájem zaváděli katétry přes velké žíly na horních i dolních končetinách do centrálních žil bez radiologické kontroly. Při jedné z těchto procedur udával Bleichröder bolest na hrudi, což mohlo být nepřímou známkou proniknutí katetru do srdce (a způsobení běhu supraventrikulární nebo komorové tachykardie pociťované jako bolest). Poloha katétru ale nebyla dokumentována rentgenovým zobrazením ani zaznamenáním tlakové křivky a jejich výsledky nebyly publikovány. O své prvenství se přihlásili až po zveřejnění práce Wernera Forssmanna (Ragosta, 2008).

Forssmann za svůj přínos srdeční katetrizaci obdržel v roce 1956 společně s André Cournandem a Dickinsonem Richardsem Nobelovu cenu za medicínu. Existuje několik verzí vyprávění o jeho prvním zavedení instrumentária do lidského srdce, některé barvitější než jiné. I jejich konzistentně se opakující prvky jsou ve světě dnešní medicíny s jejími pravidly vzdělávání a legálními hranicemi obtížně představitelné.

Werner Forssmann zahájil svůj postgraduální trénink na chirurgickém oddělení malé provinční nemocnice v Eberswalde, nedaleko Berlína. Jako motivaci k zavedení katetrů do pravého srdce udával snahu o nalezení bezpečnějšího způsobu podávání léků u život ohrožujících stavů, než byla v té době používaná přímá intrakardiální injekce přes hrudní stěnu (Ragosta, 2008). Forssmann konzultoval svoje zájmy se svým primářem, Richardem Scheiderem, který mu zakázal provádět zamýšlené katetrizace. Obával se, že konzervativní německá akademická obec nepřijme tak kontroverzní výzkum pocházející z malé nemocnice a také se obával špatné pověsti, kterou by jeho pracoviště získalo v případě závažných komplikací, které očekával při kontaktu instrumentária se srdcem živého člověka. Forssmann se nedostatkem podpory nenechal odradit a pokusně zaváděl katétry do srdcí mrtvol přes žíly na horních končetinách. Překvapen jednoduchostí tohoto výkonu, rozhodl se provést katetrizaci sám na sobě, a to vzhledem k zákazu katetrizace na živých lidech od svého primáře navíc v utajení. Přesvědčil svého kolegu, Petra Romeisa a chirurgickou sestru Gerdu Ditzenovou, aby mu asistovali. Jejich první pokus selhal. Romeis chirurgicky zpřístupnil Forssmanovu kubitální žílu a zavedl do ní močový katetr na délku 35 cm, ale další pokračování považoval za příliš nebezpečné, i když se Forssmann cítil úplně v pořádku. K pokračování svých experimentů si Forssmann vybral klidné odpoledne, kdy většina personálu nemocnice odpočívala a spolu se svojí komplickou Ditzenovou shromáždil všechno potřebné vybavení k provedení výkonu na prázdném operačním sále. Ditzenová trvala na tom, že ona bude prvním subjektem, na kterém bude provedena úspěšná srdeční katetrizace. Forssmann s ní naoko souhlasil, od počátku přesvědčen, že výkon provede sám na sobě. Poté, co sestru přivázal k operačnímu stolu a odezinfikoval plánované místo incize, náhle provedl chirurgickou preparaci vlastní žíly na levé paži a zavedl do ní katétr v délce 65 cm. Ditzenová poté, co poznala, že slouží pouze jako svědek úspěšné srdeční katetrizace, byla zpočátku rozzlobena, ale pomohla Forssmannovi projít chodbou a dostat se po schodech na radiologické oddělení, kde se skiagramem hrudníku potvrdila poloha špičky katetru v pravé síni (Ragosta, 2008). Při publikaci svého experimentu zmínil Forssmann i případ těžce nemocného pacienta s purulentní peritonitidou v důsledku ruptury appendixu, u kterého do katétrů podával roztok glukózy, adrenalinu a strofantinu (srdečního glykosidu). Pacient po krátkém období klinického zlepšení zemřel a pitva potvrdila polohu katétru v pravé síni (Forssmann, 1929).

Forssmanem prováděné výkony sice pro obor intervenční kardiologie dokázaly pouze bezpečnost zavedení katétru do pravé síně (instrumentárium nebylo zavedeno do žádného jiného srdečního oddílu a nebyly ani zaznamenané tlakové křivky z katétru), ale zároveň znamenaly překročení důležité hranice a představení potenciálu srdeční katetrizace u lidí. Forssmanova publikace o katetrizaci způsobila velký rozruch a kontroverzi, nedostalo se mu ovšem podpory od německé akademické obce. I když ještě v experimentech s katetrizací pokračoval (včetně minimálně 6 dalších katetrizací na sobě samém), čím dál tím víc byl otráven rigidní hierarchickou strukturou německého lékařství a posléze se z něj stal urolog s privátní praxí (Ragosta, 2008).

## 4.2. Rozvoj diagnostických metod

V letech po Forssmannově úspěchu bylo provedeno několik izolovaných experimentů s katetrizací pravostranných srdečních oddílů, ale systematicky se této problematice věnovali až o dekádu později André Cournand a Dickinson Richards na Columbia

University v New Yorku. Jejich zájmem bylo studovat funkci plic, měřit krevní průtok a sledovat interakci srdce a plic za fyziologických i patologických situací. Plánovali provést měření krevního průtoku pomocí Fickova principu, k čemuž ale bylo potřeba získat vzorek smíšené žilní krve z pravostranných srdečních oddílů. To bylo zpočátku považováno za příliš nebezpečné, ale po seznámení s prací Wernera Forssmanna, demonstrovala skupina Cournanda a Dickinsona bezpečnost tohoto přístupu na zvířatech a posléze použila modifikovaný močový katétr k získání vzorků krve z pravé síně i u lidí, což umožnilo provést měření Fickovou metodou (Ragosta, 2008). Na Columbia University tak vznikla první kardiopulmonální laboratoř se zavedenou a bezpečnou metodikou pravostranné srdeční katetrizace. Během válečného období skupina zkoumala zejména krevní průtok v podmínkách traumatického šoku, posléze ale publikovala zásadní zjištění popisující hemodynamické nálezy u chlopenních a vrozených srdeční vad, cor pulmonale (selhání pravé komory v důsledku plicních onemocnění) a také nemocí perikardu (Cournand, 1957).

Po úspěchu a nabytých zkušenostech z pravostranné srdeční katetrizace se zájem výzkumníku opatrně otáčel i k levostranné katetrizaci, která se ale zpočátku ukázala jako mnohem nebezpečnější. Navrhované a zkoušené metody přístupu do levé komory srdeční zahrnovaly přímou punkci hrotu srdečního, retrográdní přístup po punkci hrudní nebo abdominální aorty a také subxiphoidální punkci pravé komory následované punkcí mezikomorového septa. Jako přístup do levé síně se zase zmiňovala transbronchiální punkce s pomocí bronchoskopu a přímá punkce levé síně paravertebrálním přístupem (Ragosta, 2008). Asi nepřekvapí, že v odborné literatuře chybí zmínky experimentů s levostrannou katetrizací na vlastním těle analogicky k Forssmannově pravostranné katetrizaci. V roce 1950 Henry Zimmerman publikoval první sérií retrográdních levostranných katetrizací přístupem z chirurgicky preparované ulnární tepny (Zimmerman, 1950). U 5 zdravých lidí se nepodařilo proniknout katétrem retrográdně přes aortální chlopeň do levé komory, proto se skupina zaměřila na pacienty s aortální regurgitací. Zimmermanovi se podařilo zavést katétr do levé komory u 11 pacientů se syfilitickou aortální insuficiencí, ovšem u jednoho pacienta s porevmatickou vadou měla tato procedura fatální následky. Při snaze o proniknutí instrumentáriem přes aortální chlopeň si pacient začal stěžovat na bolest na hrudi a EKG ukázalo vznik fibrilace komor. Po farmakologické léčbě prokainem a adrenalinem přímou intrakardiální injekcí a po přímé srdeční masáži se povedlo obnovit sinusový rytmus, ale bez mechanicky účinných kontrakcí komor a pacient zemřel. S iniciálním 100% selháním metody u zdravých lidí a téměř 10% mortalitou u pacientů s chlopenní vadou je zázrak, že pokračovaly pokusy v levostranné katetrizaci. Ale vytrvalost, technické vylepšení použitého instrumentária i přístupů a schopnost efektivně řešit komplikace postupně vedly ke konci 50. let 20. století k zavedení levostranné katetrizace jako metody k diagnostice chlopenních a vrozených vad a nemocí myokardu a perikardu. Kromě retrográdního přístupu do levé komory se v tomto procesu uplatnil i transseptální přístup z pravé do levé síně, simultánní pravostranná a levostranná katetrizace a angiografie, tedy zobrazení cév a srdečních oddílů pomocí náplně kontrastní látkou (Ragosta, 2008).

Přibližně deset let potom, co byla Forssmannem uskutečněna první katetrizace srdce, byla kubánským radiologem Pedro Fariñasem vyvinuta první katetrizační technika pro angiografii aorty zavedením trubice močového katétru cestou chirurgicky preparované

femorální tepny. Výsledky byly publikovány v roce 1941 během druhé světové války. Tato metoda však vyžadovala operační přístup (Barton, 2014).

Po uplynutí dalšího desetiletí se mladý rezident na radiologii ve Stokholmu, Sven Ivar Seldinger zabýval ve svojí doktorandské práci optimálním získáním tepenného přístupu. V té době se instrumentárium do tepen zavádělo po chirurgické preparaci anebo po punkci jehlou s navlečenou kanylou, přes kterou se následně do tepny zavedly katery. Potřeba zavedení katétrů většího průměru vedla Seldingera ke zjištění, že punkce tepny jehlou, zavedení vodícího drátu přes lumen jehly do cévy, poté vytažení jehly a zavedení katétru přes vodící drát a konečně vytažení drátu po dosažení požadované polohy katétru, je metoda bezpečná, jednoduchá a rychlá. Metodu a její výsledky publikoval v roce 1953, je dodnes používaná a známá jako Seldingerova metoda pro zavádění arteriálních i venózních vstupů (Seldinger, 1953). Ironií osudu se jeho tehdejšímu primáři nezdála jeho práce jako dostatečná k získání doktorátu (Barton, 2014).

První SKG byla provedena nedopatřením. V roce 1958 primář dětské kardiologie a vedoucí katetrizační laboratoře na Cleveland Clinic, Mason Sones, neúmyslně provedl angiografii pravé koronární tepny u mladé pacientky s revmatickou chorobou srdce, u které prováděl aortografii. Sones si všiml, že katétr po vytažení z levé komory do aorty zapadl do ostia pravé věnčité tepny, ale v té době již bylo spuštěno podání většího množství kontrastní látky (30 ml s cílem naplnit aortu). Přes krátkou epizodu asystolie byla pacientka dále elektricky stabilní a tato náhoda otevřela dveře (po úpravě množství podané kontrastní látky) k provádění SKG. V roce 1959 již Sones prezentoval a později publikoval výsledky vyšetření 50 pacientů pomocí upraveného katétru se zúženou špičkou, který zaváděl cestou chirurgicky preparované brachiální tepny (Sones, 1962). Sones se rovněž věnoval zlepšení rentgenového zobrazení při SKG, včetně vyvinutí C-ramene rentgenového přístroje, které umožnilo více projekcí k zobrazení věnčitých tepen a byl zastáncem přesnější diagnostiky jejich aterosklerotického postižení právě díky SKG (Gaspard, 2017).

V stejném období vyvinul chirurg Thomas Fogarty balónkový katetr pro odstranění embolů a trombů z periferních tepen. Koncept svého balónkového katétru publikoval v roce 1963. Několik let si všechny katétry Fogarty sám i vyráběl a tento příklad posléze následoval i Andreas Grüntzig při konstrukci katétrů k léčbě koronárních tepen (Barton 2014).

Dalším balónkovým katétrem sestrojeným tentokrát k diagnostickým účelům při pravostranné katetrizaci byl Swanův-Ganzův plovoucí balónkový katétr. Harold Swan byl profesorem Kalifornské Univerzity v Los Angeles a zajímal se o studium patofyziologie akutních infarktů myokardu na nově vzniklých koronárních jednotkách, které přední nemocnice zakládaly v 60. letech 20. století. Do té doby používané tuhé katétry k pravostranné katetrizaci ale nebylo jednoduché zavést do požadovaných oddílů a cév a jejich manipulace často vedla k elektrickému podráždění myokardu, proto se jejich použití u pacientů s akutním infarktem myokardu považovalo za příliš nebezpečné. Bezpečnější měkké katétry bylo zase u pacientů se sníženým srdečním výdejem velmi obtížné zavést po směru proudu krve přes pravostranné srdeční oddíly. Swan byl k sestrojení plovoucího katetru inspirován pozorováním plachetnic, ale nakonec místo plachty nebo padáku použil ke konstrukci katétru balonek na jeho špičce, který se nafoukl po zavedení instrumentária do duté žíly nebo pravé síně. Ve spolupráci s Williamem Ganzem, československým emigrantem, provedly pokusy na zvířatech s vynikajícími výsledky a následně katétr podobně úspěšně použili i na lidech (Ragosta, 2008). Balonek na konci

katétru navíc po dosažení zaklíněné polohy ve větvích plicnice podával přeneseně i informaci o tlaku v levé síni. Své zkušenosti s novým nástrojem, který umožnil provádět hemodynamické vyšetření i u lůžka akutně nemocných pacientů publikovali v roce 1970 (Swan, 1970). Ganz na konec katétru posléze přidal i termistor, co umožnilo měření srdečního výdeje pomocí termodiluce (Ragosta, 2008).

## 4.3. Perkutánní transluminální angioplastika

Perkutánní léčba okluzivního arteriálního onemocnění má původ ve Spojených státech. První transluminální angioplastika, stejně jako první koronární angiografie, se uskutečnila náhodně. Doktor Charles Dotter prováděl rutinní angiografii abdominální aorty femorálním přístupem u pacienta se stenózou renální tepny. Diagnostickým katétrem přitom náhodně pronikl přes uzavřenou pravou společnou pánevní tepnu, v níž po stažení katétru zůstal přítomný kanál po rekanalizaci (Gaspard, 2017).

Charles Dotter svoje poznatky a metody konzultoval s pražským radiologem Josefem Röschem, který ho pozval na radiologický kongres konaný v Karlových Varech 10. června 1963, kde Charles Dotter prezentoval náhodnou rekanalizaci v přednášce „Kardiální katetrizace a angiografické techniky budoucnosti“. Svoje sdělení uzavřel vizionářskou předpovědí o tom, že angiografický katétr se může z pasivního nástroje diagnostických metod stát aktivním terapeutickým instrumentem (Barton, 2014). Rösch později přijal pozvání Dottera ke stáži na jeho pracovišti v roce 1967. Po okupaci Československa již zůstal pracovat na Oregonské Univerzitě v Portlandu (Barton, 2014).

K Charlesi Dotterovi se v Portlandu připojil doktor Melvin Judkins. Judkins pocházel ze skromných poměrů, od mládí byl fascinován vším mechanickým a elektrickým a po promoci pracoval jako rodinný lékař, než se ve 40-ti letech rozhodl změnit směřování kariéry a přihlásil se na rezidentské místo na radiologickém oddělení Charlese Dottera v Portlandu. Po tréninku u Masona Sonese na Cleveland Clinic zavedl Judkins v Portlandu metodu SKG. Sonesův brachiální přístup s chirurgickou preparací tepny, který vyžadoval celkovou anestezii, mu ale připadal těžkopádný, a proto zavedl pro SKG perkutánní femorální přístup, který se stal standardní přístupovou cestou po mnoho desetiletí (Judkins, 1967). Judkins rovněž na základě detailního zkoumání vztahu mezi kořenem aorty a odstupem věnčitých tepen vyvinul katétry specifických tvarů pro lepší sondování obou věnčitých tepen, které se při femorálním přístupu rovněž používají do dnešního dne (Gaspard, 2017).

Po šesti měsících od přednášky v Karlových Varech, provádí Charles Dotter a Melvin Judkins první plánovanou angioplastiku periferní tepny (Dotter, 1964). Pacientkou byla 83-letá žena, která byla dlouho hospitalizována pro končetinovou ischemii se studenou, bolestivou levou dolní končetinou v důsledku progresivní gangrény. Pacientka však byla polymorbidní, ve vysokém operačním riziku pro amputaci končetiny a sama také chirurgický zákrok odmítala. Diagnostická angiografie, která proběhla 6. ledna 1964 ukázala těsnou stenózu distální části levé povrchové stehenní tepny. 16. ledna 1964 byla provedena angioplastika koaxiálním katétrovým systémem tvořeným rigidními dilatátory různých průměrů, který stenotickou tepnu dilatoval. Angioplastika byla úspěšná, gangrénu se povedlo vyléčit a ošetřená tepna zůstala průchodná až do smrti pacientky o tři roky později z důvodu srdečního selhání. O průběhu angioplastiky u této pacientky se zachovaly ručně psané poznámky Charlesa Dottera.

Dotter publikoval výsledky prvních případů společně s Judkinsem a ve svém článku upřesnil možné budoucí použití jeho nové metody v koronárních a renálních tepnách už v době, kdy se zatím aplikovaly pouze na končetinové tepny (Dotter, 1964). Dále v článku popisuje roztažitelný katétr-balonek, který v té době vyvíjel. Tvrdil, že transluminální revaskularizace se zdá vhodná i pro tepenné systémy menšího průměru a jeho zamýšlený balónkový katétr bude používaný i v případě zúžení koronární tepny v proximálním úseku. Další proximální stenózy vhodné k ošetření zmiňovanou technikou popisoval na renálních, karotických a vertebrálních arteriích. Dotter taky jako první zmiňuje použití stentu, který nazývá endovaskulární dlahou a na jehož vývoji spolupracuje se skupinou inženýrů.

V roce 1965 Dotter dilatoval stenózu pánevní tepny pomocí embolektomického balonku vyvinutého Thomasem Fogartym, ale dospěl k závěru, že tento balonek není vhodný pro dilataci tepen, protože jeho tuhost není pro postižení tepen dostačující (Gaspard, 2017).

Dotter je autorem, režisérem i vypravěčem výukového filmu „Transluminální angioplastika“, který vznikl v roce 1968.

## 4.4. Andreas Grüntzig a první perkutánní koronární angioplastika

Andreas Grüntzig se narodil 25. června 1939 v Drážďanech v Německu. Jeho otec byl doktor Willmar Grüntzig, chemik, který také studoval medicínu. Matka Charlotte Grüntzigová byla povoláním učitelka (Barton, 2014).

Po narození Andrease Grüntziga se rodina přestěhovala do historického města Rochlitz. Otec Andrease Grüntziga sloužil během 2. světové války jako meteorolog a stal se nezvěstným těsně před jejím koncem. Charlotte Grüntzigová odešla se syny do Argentiny v roce 1950. Zůstali tam pouze jeden rok. V roce 1951 se vracejí znova do Německa, protože Charlotte Grüntzigová chtěla pro své syny co nejlepší vzdělání. Andreas Grüntzig a jeho bratr Johannes studovali na střední škole Thomasschule v Lipsku, nejstarší veřejné střední škole v Německu, na které v 18. století učil i Johann-Sebastian Bach. Andreas Grüntzig absolvoval školu v roce 1957 s nejvyšším vyznamenáním. V roce 1958 opouští zemi, protože chce studovat medicínu a komunistická vláda Německé demokratické republiky plánuje uzavřít hranice východního Německa. Andreas nastoupil na univerzitu v Heidelbergu, kde v té době studoval i jeho starší bratr Johannes (Barton, 2014).

Andreas Grüntzig absolvoval studium medicíny 8. dubna 1964 v Heidelbergu. Diplomovou práci napsal pod vedením doktora Gottharda Schettlera, který byl jedním z předních německých odborníků v oblasti výzkumu aterosklerózy. Absolvoval stáže v nemocnicích v Mannheimu, Hannoveru, BadHarzburgu a Ludwigshafenu a vrátil se zpátky do Heidelbergu, kde mu jeho mentor a zároveň ředitel Institutu sociálního a pracovního lékařství na univerzitě v Heidelbergu, fyziolog Hans Schäfer zajistil výzkumné stipendium, které zahrnovalo i školení v oblasti veřejného zdraví a statistiky v St. Thomas Hospital v Londýně (Barton, 2014).

Andreas Grüntzig pracoval v Londýně na katedře lékařské statistiky a epidemiologie Londýnské školy hygieny a tropické medicíny a absolvoval kurz epidemiologie. Výzkum doktora Donalda Reida, se kterým Grüntzig spolupracoval, byl zaměřen na prevenci aterosklerózy a kardiovaskulárních onemocnění, díky tomu se Grüntzig seznámil s aterosklerózou a ICHS z epidemiologického hlediska již v šedesátých letech (Barton, 2014).

Andreas Grüntzig během pobytu v Londýně publikoval vědecké články, které se zabývaly zejména onemocněním koronárních tepen a jeho rizikovými faktory a dle jeho slov mu i vzdělání v epidemiologii kardiovaskulárních chorob umožnilo přinést perkutánní léčbu tak komplexního procesu do klinické praxe (Grüntzig, 1968).

Po odchodu z Londýna a návratu ke klinické medicíně začal Andreas Grüntzig pracovat od 1. května 1969 na Angiologische Klinik – Max Ratschow v německé nemocnici StädtischeKliniken Darmstadt, která byla specializovaná na cévní medicínu. Tady se Grüntzig seznámil s klinickým obrazem onemocnění periferních tepen. Setkal se zde taky s pacientem, který se ho dotazoval, zda by nebylo možné místo užívání léků nebo podstupování cévních a kardiochirurgických operací, tepny pouze vyčistit jako instalatéři čistí potrubí pomocí drátěných kartáčů. Grüntzig tohle setkání a otázku pacienta popisoval jako okamžik, kdy začal rozvíjet své první teorie o terapeutických cévních intervencích (Barton, 2014).

Andreas Grüntzig provedl první angiografii periferních tepen v Darmstadtu v roce 1969 a ne až v roce 1971 v Curychu, jak nesprávně uvádí některé literární zdroje (Barton, 2014). Následně se na odborné angiologické akci setkal s Eberhardem Zeitlerem, jedním z průkopníků periferních intervenčních metod, od kterého vyslechl sdělení o intervencích na končetinových tepnách dotterovskou metodou (Gaspard, 2017). Vedoucí lékař oddělení, na kterém Grüntzig působil, H. M. Hasse, ze začátku Grüntziga v jeho práci podporoval, ale provádět angioplastiky podle metody Charlesa Dottera mu už neumožnil, protože mu princip mechanického působení na aterosklerotický postiženou tepnu přišel nepřijatelný (Barton, 2014). Andreas Grüntzig se následně uchází o práci na Lékařské poliklinice v Kantonspitalu Univerzity v Curychu vedenou doktorem Robertem Hegglinem, autorem v té době slavné monografie “Diferenciální diagnostika vnitřních chorob”, se kterou se Grüntzig seznámil během studia v Heidelbergu. Dostává pozvání na pohovor do Curychu, kde zaujal Hegglina svým zapálením pro cévní onemocnění. Jelikož na Hegglinovém pracovišti nebyla v té době volná pracovní pozice, nastoupil Grüntzig na nově založené cévní oddělení pod vedením Alfreda Bollingera. Hegglin později toho roku náhle umřel na rupturu aneurysmatu aorty (Barton, 2014).

V roce 1971 začal Andreas Grüntzig pracovat na Radiologickém oddělení Univerzity v Curychu pod vedením doktora Josefa Wellauera, kde opět provedl periferní angiografii. Aby se seznámil s technikou Charlesa Dottera, navštívil Eberharda Zeitlera na Aggertal klinice v Německu (Gaspard, 2017).

15. prosince 1971 Andreas Grüntzig provedl angioplastiku pomocí Dotterova katétru v Curychu a brzy následovalo dalších padesát ošetřených pacientů. Své výsledky publikoval v roce 1973 (Grüntzig, 1973). Od prvního použití Dotterova katétru Andreas Grüntzig uvažoval nad vývojem a používáním balónkového katétru, který během prvních dvou let praxe v Curychu, bez finanční podpory, ve večerních hodinách a během víkendů v domácím prostředí ručně vyrobil (Barton, 2014, Gaspard, 2017). Již před Grüntzigem mělo několik lékařů nápad použít k dilataci stenóz periferních tepen balónkové katétry, včetně Charlese Dottera. Avšak použité konstrukce, jako již zmíněný Fogartyho katétr k chirurgické embolektomii, byly málo efektivní nebo zatíženy vysokým rizikem komplikací a nepřinesly očekávané výsledky (Gaspard, 2017). Grüntzig přesto věřil, že balónkový katétr je správný koncept, který se ukáže jako účinný nástroj k léčbě aterosklerotického onemocnění.

V říjnu 1973 začal pracovat na kardiologickém oddělení Kantonspitalu, ale angioplastiky vykonával dál na radiologickém odddělení univerzitní nemocnice. 12. února 1974 Andreas Grüntzig poprvé použil svůj balónkový dilatační katetr s jedním lumen o průměru 4 mm. Pacient, 67-letý muž, byl přijatý na oddělení kvůli klaudikačním bolestem, které ho ve velké míře omezovaly v běžném životě a byly způsobeny významnou stenózou femorální tepny. Informovaný souhlas k výkonu pacient podepsal po tom, co mu Andreas Grüntzig trpělivě a podrobně vysvětlil léčebný postup.

Týden po ošetření prvního pacienta provedl Andreas Grüntzig druhou balónkovou angioplastiku femorální tepny u 74-letého pacienta. Do protokolu o výkonu napsal, že použil postup, který označil jako balónkový způsob dilatace podle Dottera. Marie Schlumpfová, která byla asistentkou Andrease Grüntziga a spolupracovala s ním na vývoji balónkového dilatačního katétru, do zprávy červeně dopsala slovo „dilatace“, aby tím zdůraznila, že postup, kterým byli Grüntzigovi pacienti ošetřeni, se liší od běžných postupů s použitím Dotterova katetru (Grüntzig, 1976a).

Měsíc od provedení první angioplastiky femorální tepny, 6. března 1974, provedl Grüntzig angioplastiku pánevní tepny, na kterou použil kratší, ale širší balónek o průměru 8 mm. Úspěšný výsledek po angioplastice vydržel pacientovi pět let. Publikace prvních úspěchů balónkových dilatací proběhla pouze v němčině, což vedlo k opoždění mezinárodního uznání nové metody (Barton, 2014).

Průlom v konstrukci balónkových katétrů pro Grüntziga znamenalo setkání s emeritním profesorem organické chemie Federálního Technologického Institutu v Curychu, Heinrichem Hopffem, který nasměroval jeho pozornost na polyvinylchlorid. Dle jeho instrukcí se Grüntzigovi podařilo vyrobit odolné balónky ve tvaru válce s příznivě malým profilem (Barton, 2014).

Následující dva roky byl každý balónkový katétr vyrobený na zakázku pro každého pacienta. Výroba pořád probíhala na kuchyňském stole u Andrease Grüntziga doma, za pomoci jeho manželky Michaely Grüntzig, asistentky Marie Schlumpfové a jejího manžela Waltera Schlumpfa. Andreas Grüntzig nejdřív provedl diagnostickou angiografii, doma změřil arteriální lumen, délku a šířku stenózy a podle získaných údajů vyrobil balónek, který přesně odpovídal individuální stenóze. Již v 70. letech 20. století je tak Grüntzigova práce skvělým příkladem jak translační, tak personalizované medicíny. Pro samotnou metodu Grüntzig nejdříve používal pojmenování perkutánní transluminální dilatace, později perkutánní transluminální rekanalizace, aby se posléze stala všeobecně známá pod označením perkutánní transluminální angioplastika (PTA) a v koronárních tepnách jako perkutánní transluminální koronární angioplastika (PTCA). Všechny balónkové katétry byly na jedno použití a až do poloviny roku 1976 byly vyráběny ručně v osobním volnu manželů Grüntzigových a Schlumpfových. Balónek z PVC byl na samotný katétr kromě lepení připevněn i jemným šitím, které vždy prováděl Grüntzig osobně, jako jediný lékař v konstrukčním týmu (Barton, 2014). Ve druhé polovině roku 1976 byla založena společnost Schneider, která balónkové katétry Andrease Grüntziga vyráběla.

Andreas Grüntzig pokračoval dál ve vývoji a zlepšování balónkových katétrů a jako první přišel s myšlenkou vyrobit balónkový katétr se dvěma vnitřními prostory (lumen), který by umožňoval lepší manipulaci a univerzálnost. Jedno z lumen sloužilo stejně jako v původní konstrukci k dilataci samotného balónku a druhé sloužilo k navléknutí balónkového katétru na vodič, kterým se snáze překonala léčená stenóza (Gaspard, 2017). To se mu

také povedlo a první femorální angioplastika s použitím takového katétru byla provedena 23. ledna 1975. Kromě vývoje balónkového katétru zkoumal Andreas Grüntzig i další tepny, které by byly vhodné k ošetření jeho metodou a v roce 1974 začal experimentovat s katétry s menším průměrem, které by byly vhodné k ošetření koronárních tepen.

V roce 1964 Charles Dotter ve svém článku popisuje koronární oběh jako potenciální cíl pro angioplastiku (Dotter, 1964), ale uvědomoval si, stejně jako Andreas Grüntzig v 70. letech, že přístup do koronárního řečiště a jeho ošetřování si bude vyžadovat zásadní technické změny ve srovnání s postupy v jiných tepenných systémech.

V Curychu měl Andreas Grüntzig ve svém úmyslu provádět diagnostické a terapeutické výkony na koronárním řečišti a našel klíčovou podporu v kardiochirurgovi švédského původu Ake Senningovi. S jeho pomocí začal Andreas Grüntzig ve spolupráci s Marií Schlumpfovou, kardiochirurgem Marcem Turinem a dalšími testovat balónkové katétry speciálně vyrobené pro koronární tepny na velkých zvířatech a lidských mrtvolách (Gaspard, 2017).

Spolupracovníci Andrease Grüntziga o něm mluvili jako o člověku s velkým elánem a nadšením pro svoji práci, který byl zaměřený na svůj cíl a nevzdával se, i když se během výzkumu setkával s mnohými překážkami a problémy (Barton, 2014).

Andreas Grüntzig testoval nově vyvinuté balónkové katétry pro koronární tepny, které byly menšího průměru a propracovanější konstrukce, také na psích koronárních tepnách, ve kterých chirurgové experimentálně vytvořili stenózy. První dilatace koronární tepny u psa byla provedena 24. září 1975. Výsledky svých experimentů prezentoval Andreas Grüntzig na vědeckých konferencích a zasedáních a díky úspěšnosti koronární balónkové angioplastiky plánoval přejít k testování její proveditelnosti u pacientů s ICHS (Grüntzig 1976b).

22. března 1977 byl Andreas Grüntzig vyzván kolegy z kardiochirurgie, aby se vyjádřil o možnosti použití nového balónkového katétru pro perkutánní transluminální koronární angioplastiku u pacienta se závažným difuzním postižením koronárních tepen a těsnou stenózou kmene levé věnčité tepny, kterého kardiochirurgové kontraindikovali k provedení chirurgické revaskularizace. Pacient měl nestabilní anginu pectoris a byl hospitalizovaný na koronární jednotce. Pro Andrease Grüntziga představoval výzvu, aby dokázal úspěšnost své metody, pokud dilatací stenotických míst obnoví normální průtok v koronárních tepnách a tím pomůže pacientovi s akutním koronárním syndromem a kritickým nálezem na věnčitých tepnách. Problémem bylo, že pacient měl generalizovanou aterosklerózu a jediný přístup, kterým bylo možné výkon provést, byla levá brachiální tepna. Navzdory velkému úsilí se přes tuhle tepnu nepovedlo zavést katétr do ostia kmene levé věnčité tepny, proto bylo od výkonu upuštěno. Pacient zemřel pár dní po pokusu o ošetření na rozsáhlý infarkt myokardu (Barton 2014). Andreas Grüntzig tenhle případ bral jako ponaučení, že nové metody se mají poprvé provádět u jednodušších případů, a ne v terminálním stádiu onemocnění a toto poselství předával dál svým kolegům.

Pro ověření proveditelnosti a efektivity koronárních angioplastik se Andreas Grüntzig rozhodl spolupracovat s kardiochirurgy a dilatovat stenotické koronární tepny během kardiochirurgické operace – aorto-koronárního bypassu. 7. května 1977 byla v San Franciscu Andreasem Grüntzigem provedena první z několika koronárních angioplastik pomocí balónkového katetru pacientovi během chirurgické revaskularizace myokardu na

mimotělním oběhu. Katétr byl v těchto případech do koronární tepny zaveden přes arteriotomii vytvořenou chirurgem v místě anastomózy bypassu a k cílové stenóze byl zaveden retrográdně proti směru toku krve ve věnčitých tepnách (Grüntzig, 1977).

První úspěšnou koronární angioplastiku mimo prostředí kardiochirurgické operace, u pacienta bez anestezie a perkutánním přístupem provedl Andreas Grüntzig v Curychu, 16. září 1977 (Barton, 2014). Pacientem byl 38-letý muž, který byl indikován k chirurgické revaskularizaci myokardu kvůli těsné stenóze na proximálním úseku RIA. Po pohovoru s Andreasem Grüntzigem a navržení nového způsobu léčení, díky kterému se může vyhnout operaci pacient souhlasil s tím, že podstoupí balónkovou koronární angioplastiku. Pro provedení samotného výkonu byla opět velmi důležitá podpora přednostu místní kardiochirurgie, Ake Senninga, který přislíbil během výkonu přítomnost kardiochirurgického týmu na katetrizačním sále, který by v případě komplikací operoval přímo na místě. Andreas Grüntzig pečlivě připravoval každý krok výkonu, mimo jiné předpokládal, že během dilatace balónkového katétru v proximálním RIA dojde u pacienta k elektrické nebo hemodynamické nestabilitě a měl připravenou krevní pumpu, která během okluze koronární tepny balonkem bude čerpat krev z femorální tepny do distálního povodí RIA. Samotnou dilataci ale pacient překvapivě velmi dobře toleroval, na což Andreas Grüntzig pohotově zareagoval tím, že krevní pumpu nezapojil a tím hned u prvního výkonu učinil koronární angioplastiku mnohem jednodušší, než bylo původně zamýšleno. Grüntzig dokázal svým zapálením pro nový léčebný výkon strhnout kolegy lékaře i ostatní členy katetrizačního týmu, včetně sester, které dopředu připravil na každý krok výkonu. První koronární angioplastika proběhla bez komplikací a s dobrým výsledkem, pacient, který se narodil ve stejném roce jako Andreas Grüntzig se dodnes těší dobrému zdraví, pouze musel více než 20 let po prvním výkonu podstoupit další koronární intervenci, tentokrát s implantací stentu. Ve svých poznámkách k výkonu Grüntzig označil balónkovou dilataci jako “Coronar-Dotter” a balónkový katetr jako “Coronar-Dotterkatetr”, čímž vzdal poctu lékaři, který otevřel dveře perkutánní terapii cévních onemocnění.

Úspěchy provedených koronárních angioplastik publikoval Andreas Grüntzig jako předběžnou zprávu ve vědeckém časopisu Lancet v roce 1978 (Grüntzig, 1978). Do dubna 1979 provedl balónkovou koronární angioplastiku 60 pacientům, ze kterých 6 muselo být pro akutní uzávěr koronární tepny ošetřeno na kardiochirurgickém operačním sále, aby se předešlo rozsáhlému infarktu myokardu. K úmrtí u žádného z pacientů nedošlo. Primární úspěch byl zaznamenán u 40 pacientů, 8 pacientům byla provedena angioplastika bypassu. I na těchto číslech je vidět nezbytnost podpory Ake Senninga k úspěšnému uvedení nové metody do klinické praxe (Grüntzig 1979).

Navzdory úspěšnému provedení první koronární angioplastiky u pacienta při vědomí a bez nutnosti kardiochirurgického výkonu, Andreas Grüntzig postrádal podporu svých přímých nadřízených v Curychu, kteří jeho metodu nadále odmítali. I to byl důvod toho, že další koronární angioplastika byla uskutečněna až v listopadu 1977 a 65 pacientů z prvních 169 pocházelo ze zahraničí. Některé pacienty musel Andreas Grüntzig ošetřit ve Frankfurtu. Jednalo se například o dva z pěti jeho prvních úspěšných pacientů, kteří byli i součástí Grüntzigovy publikace v Lancetu (Grüntzig, 1978). V tomto období začínají provádět balónkovou koronární angioplastiku i Grüntzigovi spolupracovníci, kteří stáli u zrodu metody. Patřili k nim doktor Richard Myler v San Francisku, který s Grüntzigem prováděl

zmíněné balónkové dilatace během kardiochirurgické revaskularizace, doktor Simon Stertzer v New Yorku a doktor Martin Kaltenbach ve Frankfurtu (Gaspard, 2017).

8. února 1978, čtyři dni po vydání zmiňované publikace, byl v Curychu v denním tisku Tages-Anzeiger zveřejněný článek s názvem "Důležitý přínos Curychu pro boj s infarktem myokardu". Po něm následovala tisková konference, kterou vysílala švýcarská národní televize a odborná veřejnost přijala metodu Andrease Grüntziga jako nový postup a naději v léčbě anginy pectoris a infarktu myokardu (Barton 2014).

Úspěch prováděných koronárních angioplastik vedl k tomu, že za Andreasem Grüntzigem do Curychu přijížděli kardiologové a angiologové a chtěli se metodu naučit. Pro Andrease Grüntziga to znamenalo velkou příležitost rozšířit dostupnost nové metody pro další pacienty. Rozhodl se proto vyučovat kolegy na živých demonstračních kurzech balónkové koronární angioplastiky, které probíhaly v Curychu na Kantonsspital v letech 1978–1980 a zúčastňovali se na nich lékaři z celého světa v neustále rostoucím počtu. Kurzy byly živě přenášeny do přednáškových sálů nemocnice a Andreas Grüntzig během ošetřování pacienta komunikoval a diskutoval s publikem a podle jeho vlastních slov otázky jeho kolegů byly pro něj velkým přínosem a sám se z nich mnohé naučil. Během přestávek se setkával s účastníky kurzů osobně a ochotně odpovídal na další dotazy. Andreas Grüntzig byl považován za mimořádně nadaného pedagoga, kterému nezáleželo jenom na úspěchu vlastní metody, ale také na bezpečnosti pacienta. Na svých kurzech opakovaně připomínal, že při výběru pacientů pro balónkovou koronární angioplastiku je prioritou vyhýbat se komplikacím a zajistit bezpečnost pacientů (Gaspard, 2017).

Paradoxně i navzdory velkým úspěchům, které Andreas Grüntzig dosahoval, jeho domovská instituce pro něj pochopení neměla. Pro jeho pacienty nebylo na klinice k dispozici dost volných lůžek a tím vznikaly dlouhé čekací doby a mnozí pacienti z čekací listiny umírali na infarkt myokardu dřív, než se dočkali výkonu. Týdně mohl Andreas Grüntzig v Curychu ošetřit pouhé dva pacienty. Z tohoto důvodu Andreas Grüntzig z Curychu odchází a hledá nové pracovní uplatnění v Německu na univerzitě v Tübingeně, ve Frankfurtu a v Düsseldorfu, všude však bezúspěšně. Nabídky ale přišly ze Spojených států amerických. Podporu a možnost dál rozvíjet metodu koronární angioplastiky nabídlo Andreasu Grüntzigovi hned několik institucí, mezi nimi Harvardská univerzita a Cleveland Clinic, avšak nakonec přijal nabídku od Emory University v Atlantě. Tady měl Andreas Grüntzig možnost ošetřit dva pacienty denně a jeho potenciál a přínos pro kardiovaskulární medicínu byl brzy objeven a oceněn. Navzdory tomu nikdy nezískal americké občanství. Byl však požádán, aby vykonával funkci vedoucího lékaře kardiovaskulární medicíny v Emory University (Barton, 2014).

V Emory University působil Andreas Grüntzig méně než pět let a během této doby provedl více jak 3000 koronárních angioplastik s nulovou mortalitou. Jeho působení, praxe a vývoj katetrizační metody byly předčasně ukončeny dne 27. října 1985, kdy Andreas Grüntzig tragicky zahynul se svojí druhou manželkou, Margaret-Ann Grüntzigovou, když havarovalo jeho letadlo, které sám pilotoval (Gaspard, 2017). Příčina tragédie nebyla nikdy objasněna. I když se za důvod označovala nepřízeň počasí a jistá nezkušenost pilota, zkoumání havárie bylo nepřesvědčivé, a i po více než 30 letech zůstává několik otázek nevysvětlených.

Jako projev vděku a uznání Andreasu Grüntzigovi Emory University založila Kardiovaskulární centrum Andrease Grüntziga, které dále přispívá k pokroku kardiovaskulární medicíny.

## 4.5. Vývoj koronárních stentů

Francouzský chirurg Alexis Carrel již počátkem 20. století prezentoval svoji práci o implantaci trvalých tubulárních protéz do aort psů s cílem poskytnout nový endovaskulární způsob ošetření cév v případě traumatu a krvácení (Barton, 2014, Gaspard, 2017). Velkým inovátorem v oblasti intervenčních výkonů byl Charles Dotter, který se jednak přímo podílel na rozvoji revaskularizace periferních tepen (viz výše), ale také rozpracoval velké množství nápadů a technických zlepšení, mezi které patřily i plastové a kovové trubičky, které implantoval do periferních tepen na zvířecích modelech. Stenty, které se posléze začaly používat v koronárních tepnách lidí se vyvíjely souběžně v Evropě i USA. Evropský design samoexpandibilního stentu byl inspirován známým kardiochirurgem Ake Senningem, jenž sehrál významnou roli v podpoře Andrease Grüntziga při jeho začátcích s balónkovými koronárními angioplastikami. Ten popisem svého cíle ošetřit disekci aorty implantací kovové výztuže dovnitř aorty navedl svého krajana Hanse Wallstena k sestrojení samoexpandibilního koronárního stentu pod názvem Wallstent. Hans Wallsten poté spolupracoval se dvěma skupinami intervenčních kardiologů pod vedením Ulricha Sigwarta v Lausanne a Jacquesa Puela v Toulouse (Gaspard, 2017). Po úspěšných testech na zvířecích modelech (které ve svém krátkém sledování ale neodhalily riziko subakutní trombózy stentů) došlo k první implantaci koronárního stentu u člověka 28. března 1986 Puelem za použití Wallstentu (Gaspard, 2017). Pacientem byl 63-letý muž se symptomatickou restenózou 6 měsíců po balónkové koronární angioplastice ve střední části RIA. Implantace stentu proběhla úspěšně a vedla k dobrému angiografickému výsledku. V roce 1986 nedostával pacient po výkonu žádnou antiagregační léčbu, pouze antikoagulaci subkutánně podávaným heparinem po dobu 6 týdnů od výkonu. I přes tuto minimalistickou antitrombotickou léčbu nenastala u pacienta trombóza ve stentu. Implantovaný stent u něj neměl ani restenózu, ale pro symptomatickou progresi aterosklerózy na jiných místech koronárního řečiště podstoupil v roce 2004 implantaci dalších dvou koronárních stentů. Během několika týdnů po implantaci prvního stentu se Wallstent zavedl do koronárních tepen dalších 7 pacientů, zcela bez komplikací. Po testování na zvířecích modelech a implantace Wallstentů do periferních tepen se i v Lausanne schválilo použití koronárních stentů k ošetření akutního uzávěru koronární tepny po balónkové angioplastice, k ošetření restenózy po balónkové angioplastice a také k ošetření lézí na žilních bypassech. Nadšení z prvních procedur se ale ukázalo jako liché, další čtyři pacienti s implantovaným Wallstentem prodělali subakutní trombózu ve stentu (Gaspard, 2017). Ani po zavedení dlouhodobé antikoagulační léčby warfarinem Ulrichem Sigwartem nekleslo riziko trombózy stentu pod 5–10 %. I tak ale prvotní zkušenosti s implantací koronárních stentů ukázaly, že jejich použití vedlo k poklesu akutních a subakutních uzávěrů koronárních tepen po PCI a tím i potřeby záchranné chirurgické revaskularizace myokardu.

V USA již v roce 1978 na přednášce Andrease Grüntziga napadlo Julia Palmaze, původem z Argentiny, že některé z problémů během balónkové koronární angioplastiky by bylo možné vyřešit pomocí implantace lešení nebo výztuže dovnitř koronárních tepen. Prvotní

pokusy s měděným drátem ukázaly, že vhodnějším materiálem pro výrobu stentů je nerezová ocel, a nakonec vznikl první balon-expandibilní stent pro použití v periferních tepnách (Palmaz stent). Ve spojení s Richardem Schatzem se povedlo zvýšit flexibilitu tohoto stentu k použití v koronárních tepnách (Palmaz-Shatz stent), který byl poprvé implantován v prosinci 1987 a postupně se stal velmi oblíbeným (Gaspard, 2017). Ovšem prvním balon-expandibilním stentem implantovaným v lidských koronárních tepnách byl již v září téhož roku stent jiné konstrukce (Gianturco-Roubin stent), jenž posléze získal schválení indikace k ošetření akutního uzávěru tepny po balónkové dilataci. Vzhledem ke své malé radiální síle ale vykazoval značné riziko restenózy a nedosahoval tak dobrých dlouhodobých výsledků jako Palmaz-Schatz stent (Gaspard, 2017). Balon-expandibilní design se posléze stal tím dominantním, který v koronárních tepnách vytlačil jiné konstrukce stentů. Následně prodělaly koronární stenty jako jeden z nejpoužívanějších zdravotnických prostředků výrazný technologický rozvoj zaměřený na zvýšení bezpečnosti, zlepšení vlastností samotných stentů při zavádění do léčené tepny a snížení rizika restenózy. Od implantace prvního stentu trvalo 10 let, než se nalezla bezpečná a fungující antitrombotická strategie. Používání různých antikoagulačních režimů zvyšovalo riziko krvácení, zejména v místě vpichu v té době dominantního femorálního přístupu, a přitom dokonale nechránilo před trombózou stentu, ve které hrála klíčovou roli agregace trombocytů. Paul Barragan z Marseille se podílel na zkoušení antiagregačního léku ticlopidinu v prevenci restenózy po balónkové angioplastice. Výsledky této studie byly negativní, ale Barragan byl přesvědčený o potenciálu tohoto léku v ochraně před arteriální trombózou a záhy začal hodnotit ticlopidin v kombinaci s kyselinou acetylosalicylovou u pacientů po implantaci koronárních stentů s výbornými výsledky (Barragan, 1994). Minimalizované riziko trombózy stentu při duální antiagregační léčbě poté potvrdily další studie a následně se ukázalo, že ještě efektivnějším lékem než ticlopidin, je v této indikaci další thienopyridin, clopidogrel. Kombinace clopidogrelu s kyselinou acetylosalicylovou tak umožnila mnohem bezpečnější implantaci koronárních stentů. Další zvýšení bezpečnosti vzešlo z prací italského intervenčního kardiologa Antonia Colomba, který díky zobrazení stentů po implantaci pomocí IVUS prokázal, že stenty mají často nedokonalou apozici k cévní stěně. Použití vyšších tlaků během implantace pak zlepšilo apozici a expanzi stentů a snížilo riziko jejich trombózy (Colombo, 1997). První stenty nebyly dostatečně flexibilními nástroji a bylo obtížné je používat v anatomicky náročných a kalcifikovaných koronárních tepnách. Zlepšení jejich balónkových nosičů, použití nových slitin a snížení tloušťky vláken (strutů) stentů při zachování dostatečné radiální síly vedlo k tomu, že moderní stenty (i s pomocí pomocných technik a nástrojů zvyšujících během PCI podporu a překonávajících výrazné kalcifikace) lze implantovat téměř do každé léze. Samotné kovové stenty vedly ke snížení rizika restenózy oproti prosté balónkové angioplastice, ta ale zůstala nezanedbatelným problémem zejména u pacientů s diabetem. K jejímu dalšímu snížení vedlo použití léků na povrchu stentů, které inhibovaly buněčný cyklus a potlačovaly tak reakci cévní stěny na poškození cizím tělesem. První lékový stent byl implantovaný v prosinci 1999 v Sao Paulu Eduardem Sousou a měl na svém povrchu imunosupresivum sirolimus (stent Cypher (Gaspard, 2017)). Stent dosáhl výborných výsledků ve snížení rizika restenózy, podobně jako další lékový stent s cytostatikem paklitaxelem (stent Taxus). Vlivem použitých léků se u těchto stentů oproti prostým kovovým stentům prodlužovala doba endotelizace a tím i potřebná délka duální antiagregační terapie. Po několika letech používání lékových stentů se objevily obavy, že zvyšují riziko pozdní trombózy ve stentu, což se ale v dalších pracích

nepotvrdilo, a naopak nejnovější generace lékových stentů s tenkými struty mají mnoho důkazů o své dlouhodobé bezpečnosti i v případech nutnosti kratší duální antiagregační léčby při vysokém riziku krvácení (Gaspard, 2017). Dalším krokem vývoje technologie koronárních stentů bylo vyvinutí biodegradabilních stentů (viz výše), které se po čase v koronární tepně rozloží, tyto technologie ale prozatím neprokázaly žádný přínos oproti moderním kovovým stentům, a naopak představují zvýšené riziko trombózy stentu.

První PCI s použitím stentu v ČR proběhla v roce 1993 v pražském Institutu klinické a experimentální medicíny, což bylo až rok po zahájení prvního programu primární PCI – tedy léčby akutního infarktu myokardu katetrizační intervencí na stejném pracovišti. Použití koronárních stentů ale stejně jako jinde ve světě prudce rostlo i v českých kardiocentrech a brzy se většina PCI včetně primární PCI prováděla s implantací stentů.

## 4.6. Historie mechanických podpor oběhu

### 4.6.1. Intraaortální balónková kontapulzace

Testování IABK na zvířecích modelech probíhalo již v 60. letech 20. století a prokazovalo zlepšení hemodynamických parametrů a perfúze koronárních tepen (Nanas, 1994). Nejlepší výsledky přitom IABK mělo při brzkém zahájení terapie, před rozvojem vyjádřeného kardiogenního šoku. První zmínka o úspěšném klinickém použití IABK je z roku 1967 u 45-leté ženy s infarktem myokardu, u které se vyvinul kardiogenní šok. V 70. letech se poté objevují práce s použitím IABK právě u pacientů se selháním levé komory po infarktu myokardu a následně i u pacientů s dysfunkcí levé komory po kardiochirurgických operacích, kteří nebyli odpojitelní od mimotělního oběhu. IABK se tak následně stalo nejpoužívanějším systémem pro podporu oběhu, ale velké klinické studie neprokázaly efekt IABK na prognózu pacientů.

### 4.6.2. ECMO

Počátky použití systému ECMO sahají až do roku 1971, tedy o 6 let před první koronární angioplastikou. To bylo umožněno tím, že šlo o upravenou technologii mimotělního oběhu, která se v té době již používala u kardiochirurgických operací. První léčení pacienti byli dospělí nemocní s akutním respiračním selháním, u kterých kardiochirurg ze San Francisca, Donald Hill modifikoval mimotělní oběh tak, aby jej šlo použít na delší dobu než během samotné operace (Wolfson, 2003). Základem byla jiná technologie výměny plynů, které byly od samotné krve pacienta oddělené silikonovou, později polypropylenovou membránou, aby nedocházelo k denaturaci krevních proteinů při delším působení bublinového oxygenátoru. Rovněž se u systému ECMO na rozdíl od klasického mimotělního oběhu nepoužívá rozsáhlý venózní zásobník, čím klesá trombogenicita celého systému a umožňuje nižší míru antikoagulační léčby. Kanylace velkých cév mimo samotný hrudník taky umožňuje zavedení a zapojení systému u akutního lůžka nebo na katetrizačním sále, bez nutnosti chirurgického přístupu a hypotermie. ECMO je tak schopné na omezenou dobu nahradit funkci plic i srdce, správnější název pro celý systém je tím pádem spíše mimotělní podpora životních funkcí (ECLS – extracorporeal life support), ale pro oblíbenost akronymu ECMO je tento název nejpoužívanější. Po několika úspěšně léčených dospělých pacientech s respiračním selháním další klinické hodnocení

neprokázalo v 70. letech rozdíl v přežití proti konzervativně léčeným nemocným a využití systému v této indikace pokleslo (Zapol, 1979). Již v roce 1974 se ale v Kalifornii v zoufalé situaci respiračního selhání po aspiraci mekonia systém ECMO poprvé použil u novorozence, a to s výborným výsledkem (Barlett, 2017). Šlo přitom o shodu náhod, že se dcera mexické migrantky na cestě do USA narodila v nemocnici s připraveným ECMO systémem. Následovalo několik let a randomizovaných studií, které ukázaly efekt systému ECMO na přežití novorozenců s respiračním selháním. Výrazně lepší výsledky oproti dospělým pacientům byly způsobeny zejména jinou etiologií plicního selhání, včasnějším zahájením léčby před tvorbou nevratné plicní fibrózy a pravděpodobně i regenerační schopností dětských plic. Použití u dospělých pacientů bylo po dalších 30 let velmi omezené a až vývoj akutní a intenzivní péče v jiných oblastech utvořil podmínky návratu systému ECMO do klinické praxe. Po pozitivních výsledcích v porovnání s konvenční ventilací u nemocných s respiračním selháním v studii CESAR a zkušenostmi při pandemii chřipky H1N1 v roce 2009 se pro ECMO otevřely i jiné indikace jako intoxikace, tonutí, plicní embolie, kardiogenní šok, srdeční zástava ale také vysoce riziková PCI (Peek, 2009). V dnešní době jsme svědky rozsáhlého nárůstu použití systému ECMO u respiračního selhání pacientů s infekcí Covid-19.

## 4.7. Historie strukturálních intervencí

### 4.7.1. Intervence na srdečních chlopních

Největší rozvoj a růst v počtu výkonů a také největší změnu oboru intervenční kardiologie ve smyslu expanze terapeutických možností mimo oblast koronárních cév zaznamenaly výkony na srdečních chlopních. Počátky strukturálních intervencí se týkaly pediatrických pacientů a nemocí, u kterých lze s dobrým efektem použít technicky nejjednodušší výkony, tedy balónkové valvuloplastiky. První valvuloplastika pulmonální chlopně byla provedena již v roce 1979, tedy pouhé dva roky po první koronární angioplastice (Kan, 1982). Kongenitální aortální stenóza byla poprvé léčena balónkovou valvuloplastikou v roce 1983 (Lababidi, 1984) a první mitrální valvuloplastika pro porevmatickou stenózu byla poprvé provedena v roce 1984 (Inoue, 1984). Degenerativní kalcifikovaná aortální stenóza, tedy nemoc vyššího věku, byla léčena balónkovou valvuloplastikou poprvé již v roce 1985 v Rouen Cribierem a brzo se u pacientů s vysokým operačním rizikem rozšířila jako alternativa chirurgické náhrady chlopně (Cribier, 1986). Vzhledem k rozdílné patofyziologii degenerativní aortální stenózy oproti kongenitální vadě ale u pacientů docházelo k časným recidivám s poklesem plochy aortálního ústí, což vedlo k poklesu počtu prováděných výkonů. Balónková valvuloplastika je tak v dnešní době rezervována jako paliativní výkon pro malou skupinu těžce nemocných pacientů bez možnosti podstoupit chirurgickou i katetrizační implantaci nové chlopně a také jako jeden z dílčích kroků některých TAVI výkonů. V 90. letech se hledaly možnosti, jak zabránit restenózám po provedené balónkové valvuloplastice, většina se ale nedostala do klinické praxe.

Další posun katetrizační léčby chlopenních vad souvisel s rozvojem cévních stentů. Po úspěchu se zvířecím modelem byla v roce 2000 Bonhoefferem poprvé implantována hovězí chlopeň z jugulární žíly připevněna na expandibilní stent do pulmonální pozice u pacienta s konduitem z pravé komory do plicnice a dysfunkční chlopní (Bonhoeffer, 2000). V případě aortální chlopně se nápad implantovat novou chlopeň všitou do kovového

stentu opíral o pozorování, že během balónkové valvuloplastiky lze balónkem dosáhnout kompletního roztlačení kalcifikovaných cípů původní chlopně a ta by mohla sloužit jako kotvící místo pro stent nebo prstenec nové chlopně. Toto bylo ověřeno na zemřelých pacientech s aortální stenózou, kterým byl do aortální pozice úspěšně implantován balon-expandibilní stent pro periferní cévy, který následně vyžadoval velkou sílu k dislokaci z původní kalcifikované chlopně, čímž byla demonstrována stabilní poloha po implantaci. Rovněž byla zjištěna optimální délka (v tomto případě výška) stentu chlopně, aby instrumentárium neinterferovalo s důležitými okolními strukturami jako jsou ostia koronárních tepen, přední cíp mitrální chlopně a bazální část mezikomorového septa s Hisovým svazkem. Následně se na zvířecích modelech testovaly různé typy chlopní a jejich stentů a vylepšoval se způsob přípravy celého instrumentária (Cribier, 2017).

Pro použití v humánní medicíně se nakonec připravila chlopeň z hovězího perikardu navlečená na balónkový katétr pro valvuloplastiku. Ve svém zmenšeném stavu bylo první instrumentárium kompatibilní se zavaděčem velkého průměru (24 Frenchů), které za příznivých okolností ve femorálním a pánevním řečišti umožňovalo femorální tepenný přístup. První pacient pro katetrizační implantaci aortální chlopně byl v době výkonu v kritickém stavu. Šlo o mladého pacienta (57 let) v kardiogenním šoku, s kritickou aortální stenózou a několika kontraindikacemi dnes prováděných TAVI výkonů, jako byla velmi těžká dysfunkce levé komory srdeční s ejekční frakcí 12 %, trombus v dutině levé komory a kritická končetinová ischemie v důsledku selhaného aorto-bifemorálního bypassu. Nemocného odmítlo operovat několik kardiochirurgických týmů a urgentní balónková valvuloplastika se nepodařila. Nakonec bylo rozhodnuto o provedení TAVI. Chlopeň musela být vzhledem ke stavu pánevního řečiště zavedena žilním přístupem do pravé síně a následně transseptální punkcí do levé síně, levé komory a implantována v aortální pozici. Výkon proběhl úspěšně (16. dubna 2002 v Rouenu) a vedl k rychlému zlepšení zdravotního stavu pacienta (Cribier, 2002).

V následujících třech letech se v rámci klinického hodnocení implantovaly aortální chlopně u omezeného počtu pacientů v několika vybraných centrech. V roce 2005 dosáhl celkový počet léčených pacientů 100 a i když metoda ukazovala slibné výsledky u kriticky nemocných lidí, bylo jasné, že instrumentárium potřebuje značné technologické vylepšení. Absence specifického zaváděcího katétru vedla k neúspěchu retrográdního přístupu přes aortální chlopeň u části pacientů a transseptální přístup vyžadoval značné zkušenosti s výkony jako mitrální balónková valvuloplastika. Dostupnost chlopně v jediné velikosti pak u části pacientů vedla ke vzniku významných aortálních regurgitací po implantaci chlopenní bioprotézy (Cribier, 2017).

Další technologický pokrok nastal po zakoupení technologie TAVI přední společností vyrábějící chlopenní náhrady (Edwards-Lifesciences), která poskytla své schopnosti při výrobě chlopní i specializovaného zaváděcího instrumentária. Následovaly klinická hodnocení, které ukázaly dobré výsledky u pacientů, kteří nemohli podstoupit operaci a u těch s velmi vysokým operačním rizikem. Souběžně vyvíjená chlopeň jiné konstrukce (CoreValve od firmy Medtronic), která nebyla připevněna k balónkovému katetru, ale expandovala se sama po stažení obalu díky paměťovým vlastnostem svého stentu, rovněž ukazovala velmi dobré výsledky (Cribier, 2017).

Dalším krokem v TAVI procedurách bylo zavedení transapikálního přístupu (týká se pouze chlopně Edwards Sapien) u nemocných bez vhodného femorálního a pánevního řečiště, který se ukázal jako příznivější než transseptální přístup, a na kterém přímo spolupracovali

intervenční kardiologové a kardiochirurgové. V následujících letech docházelo k dalšímu technologickému vylepšení instrumentária, zmenšení jeho průměru, vývoji chlopní další generace i zcela nových chlopní od dalších společností, ale také k rozpracované selekci vhodných pacientů a integraci informací z různých zobrazovacích metod. Přístup k výkonu se zjednodušil, vyžadoval méně členů zdravotnického týmu, pouze lokální anestezii a kratší hospitalizaci. V minimalistickém provedení připomíná dnešní TAVI klasickou PCI. Zejména však i díky dalším datům z registrů a klinických hodnocení došlo k rozšíření indikací na pacienty se středním i nízkým operačním rizikem a výraznému nárůstu počtu výkonů (Cribier, 2017).

V ČR proběhla první TAVI v roce 2008 v pražském Institutu klinické a experimentální medicíny, záhy poté i ve Fakultní nemocnici Hradec Králové, další pracoviště s komplexními kardiocentry zahájily TAVI výkony brzy poté. I v ČR postupně stoupá počet provedených výkonů, rozšiřují se indikace a se stoupající zkušeností jednotlivých center se z TAVI stává rutinní výkon.

### 4.7.2. Ostatní strukturální intervence

Se strukturálními intervencemi je spojeno i jméno jednoho ze zakladatelů intervenční kardiologie, Bernharda Meiera, dlouholetého vedoucího Kardiovaskulárního centra v Bernu. Bernhard Meier byl asistentem Andrease Grüntziga a našel pro něj prvního pacienta pro perkutánní koronární balónkovou angioplastiku. Sám pak vyvinul katetrizační metody uzávěru patentního foramen ovale a také uzávěru ouška levé síně a má největší zkušenosti s těmito výkony (Gaspard, 2017).

Další z pionýrů intervenční kardiologie, Ulrich Sigwart zase jako první publikoval provedení alkoholové septální ablace u pacienta s hypertrofickou kardiomyopatií (Sigwart, 1995). Příkladem neustálého vývoje intervenční kardiologie je i naprostá novinka v perkutánní léčbě nitrokomorové obstrukce (SESAME procedura provádějící elektrokauterizaci myokardu mezikomorového septa), představená týmem Emory University, tedy působištěm Andrease Grüntziga.

# 5. Sestra v intervenční kardiologii

Sestra v intervenční kardiologii má své nezastupitelné místo. Přestože se historicky práci sestry v oblasti intervenční kardiologie věnovala minimální pozornost, tvoří důležitou součást týmu katetrizačního sálu od počátku oboru až po současnost.

Intervenční kardiologie je obor, který za poslední desetiletí zaznamenal velký rozvoj a přinesl s sebou mnoho nových diagnostických a terapeutických postupů, technického i materiálového vybavení sálu a farmakoterapie. Postupně s novými možnostmi léčby v tomto oboru, se zvětšuje i skupina pacientů, které se dostává profesionální péče přinášející zkvalitnění zdraví a života.

Na sestru pracující v intervenční kardiologii jsou kladeny vysoké nároky v oblasti teoretických znalostí, praktických dovedností a v neposlední řadě i v oblasti lidských kvalit.

## 5.1. Vzdělávání sester v intervenční kardiologii

Podle doporučení Evropské unie se v posledních letech změnily podmínky pro vzdělávání sester. Evropská unie spolu se Světovou zdravotnickou organizací a dokumenty Mnichovské deklarace jednotně podporují akademickou úroveň vzdělávání (Kordulová, 2017). Sestra pracující na katetrizačním sále musí mít vystudované kvalifikační studium Všeobecná sestra v bakalářské formě nebo absolvovat studium na Vyšší odborné škole, kde jsou absolventi označeni jako Diplomovaná všeobecná sestra. (Zákon č. 201/2017 Sb., kterým se mění zákon č. 96/2004 Sb. a č. 95/2004 Sb. o podmínkách získávání a uznávání způsobilosti k výkonu zdravotnických povolání.)

Po absolvování kvalifikačního studia je nutné, aby sestra absolvovala specializační studium intenzivní péče, při kterém získá specializovanou způsobilost a studium je ukončené atestační zkouškou (Kordulová, 2017). Specializační studium organizuje Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně. (Nařízení vlády č. 164/2018, kterým se mění Nařízení vlády č. 31/2010 Sb., o oborech specializačního vzdělávání a označení odbornosti zdravotnických pracovníků se specializovanou způsobilostí.) Pro všeobecné sestry s bakalářským titulem je určeno také magisterské navazující studium intenzivní péče, kde získají nejen magisterský titul, ale zároveň i specializovanou způsobilost (Kordulová, 2017).

Kontinuální celoživotní studium formou kurzů a stáží je určeno pro sestry pracující nejen v katetrizačních laboratořích, ale v celé akutní kardiologii. Je to především certifikovaný kurz EKG a akutní kardiologie, EKG v diagnostice poruch srdečního rytmu nebo Péče o pacienty v angiologii, které organizuje Všeobecná fakultní nemocnice v Praze a Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů v Brně, jako i další akreditované kurzy certifikované Ministerstvem zdravotnictví (Kordulová, 2017).

Rozvoj intervenční kardiologie přináší s sebou množství novinek v oblasti materiálu používaného v katetrizačních laboratořích a také v oblasti pracovních postupů. V posledním desetiletí zaznamenaly vývoj zejména komplexní výkony na věnčitých tepnách a strukturální intervence na srdečních chlopních. Onemocnění, která byla v minulosti řešitelná pouze kardiochirurgicky, lze tak nyní u pacientů s vysokým operačním rizikem

léčit i perkutánní cestou. Sestry pracující v katetrizačních laboratořích jsou s novými metodami a postupy seznamovány prostřednictvím teoretických přednášek a praktických ukázek (White, 2018). S výukou zdravotnického personálu často pomáhá proktor – intervenční kardiolog, který je expertem pro danou problematiku (Iyengar, 2017). Důležité místo ve školení katetrizačního týmu mají i zástupci zdravotnických firem. Jsou zodpovědní za správné používání výrobku, který jejich firma vyvinula pro daný terapeutický postup. Provádí praktické ukázky a zaškolují zdravotnický personál v používání nového výrobku. Proškolení členové katetrizačního týmu po úspěšném zaškolovacím procesu často obdrží písemný certifikát o oprávnění používat nový pracovní materiál.

Sestra pracující v intervenční kardiologii musí mít mnohé předpoklady k tomu, aby svou práci mohla vykonávat profesionálně, kvalitně a zodpovědně (Scott, 2018). Je to práce vyžadující maximální soustředění a znalosti v oblasti anatomie a patologie srdce a cév, perfektní znalosti fyziologického i patologického EKG, schopnost rychlé reakce při hodnocení fyziologických funkcí pacienta. Samozřejmostí je práce s technikou známou z intenzivní péče, jako jsou lineární dávkovače a pumpy, EKG přístroj, defibrilátor, ventilátor, monitory nebo přístroje pro mechanickou podporu oběhu. Rovněž ale musí umět zacházet s technikou specifickou pro katetrizační laboratoře, mezi které patří intravaskulární zobrazovací metody, funkční vyšetření věnčitých tepen, zařízení k rotační aterektomii nebo k provádění intravaskulární litotrypse a v neposlední řadě musí mít základní znalosti a školení o rentgenovém přístroji, který je nevyhnutelnou součástí katetrizační laboratoře (White, 2018).

Kromě technického vybavení katetrizačního sálu se musí sestra bezchybně orientovat ve spotřebním materiálu používaném k provádění diagnostických a terapeutických výkonů, jež tvoří celá řada cévních zavaděčů, katétrů pro diagnostickou a terapeutickou část procedur, koronárních vodičů, balónkových katétrů a stentů. Dále v posledních letech, kdy se rychle vyvíjí intervenční kardiologie, přibývá i velké množství specifického materiálu, který je určený pro komplexní koronární a strukturální intervence a řešení komplikací, které mohou dané terapeutické výkony doprovázet (White, 2018).

Katetrizační tým musí pracovat jako celek, který si vzájemně důvěřuje a pomáhá. Tím dosahuje profesionální a kvalitní péči s dobrým výsledkem pro pacienta. Velice důležitou roli v oblasti vzdělávání sester proto mají samotní intervenční kardiologové, kteří pro sestry katetrizačních laboratoří pořádají odborné semináře se zaměřením na specifika intervenčních výkonů, nové metody a pokroky v oboru nebo řešení komplikací. Edukace sester může probíhat i přímo na katetrizačním sále, pokud je k tomu vhodná situace a časový prostor (Scott, 2018, White, 2018).

Právě rychlý rozvoj intervenční kardiologie a možnost dalšího odborného vzdělávání pro sestry v oboru s sebou přinesl rozšíření pracovní náplně a kompetencí sestry na katetrizačním sále a také zvýšil úroveň jejího postavení (Scott, 2018). Současně se zvedá úroveň, kvalita a praktické využití ošetřovatelského materiálu pro katetrizační laboratoře. Vývoj jednorázového materiálu určeného pro přípravu sterilního instrumentačního stolku a rouškování, vývoj pomůcek určených pro přípravu a kompresi cévní punkce znamenají zjednodušení a urychlení práce a zlepšení komfortu nemocného. Ve výsledku se tím vytváří více času pro péči o pacienta a komunikaci s ním.

## 5.2. Péče o pacienta na katetrizačním sále

Péče o pacienta na katetrizačním sále a jeho samotná příprava se liší v tom, jestli se jedná o plánovaný nebo urgentní výkon z vitální indikace. Pacienti objednaní k plánovaným výkonům přichází na standardní oddělení kardiologie den předem. Část pacientů lze vyšetřit také v ambulantním režimu na denním stacionáři. Pacientovi je lékařem vysvětlen důvod vyšetření, jeho průběh a možná rizika. Následně pacient podepisuje informovaný souhlas s výkonem. Povinností sestry je odebrat ošetřovatelskou anamnézu, dále dle ordinace lékaře změřit a zaznamenat fyziologické funkce a provést EKG záznam (White, 2018). Důležitou součástí přípravy pacienta je zavedení permanentního žilního katétru a oholení místa punkce v oblasti předloktí (pro punkci radiální tepny) a také třísel (pro punkci femorálních tepen a žil). Radiální přístup je preferovaným cévním vstupem pro většinu katetrizačních výkonů, ale v případě neprůchodné radiální tepny nebo při nutnosti použití katétrů s velkým průměrem má femorální přístup své nezastupitelné místo. U neakutních výkonů je potřeba před katetrizací rovněž znát výsledky některých laboratorních vyšetření. Z biochemických testů se jedná o iontogram, renální funkce, jaterní transaminázy, celkovou bílkovinu, CRP, lipidové spektrum, hormony štítné žlázy, u vybraných pacientů také o srdeční troponin a u žen ve fertilním věku hormon HCG pro vyloučení možnosti gravidity a tím zabránění poškození plodu rentgenovým zářením. Důležité jsou i hodnoty krevního obrazu a hemokoagulace. Klíčové informace o morfologii a funkci srdečních oddílů a chlopní podává echokardiografické vyšetření, které se před srdeční katetrizací provádí u naprosté většiny pacientů (White, 2018).

Pacienti by měli být před plánovaným vyšetřením minimálně čtyři hodiny lační. U akutních výkonů tento požadavek není striktní a u emergentních pacientů je zcela bezpředmětný. Speciální přípravu před výkonem vyžadují pacienti s některými nemocemi a s tím související chronickou medikací. Nemocní s diabetes mellitus léčení metforminem tento lék vysazují dva dny před vyšetřením. Většina pacientů s antikoagulační léčbou tuto medikaci vysazuje den před výkonem, v případě antikoagulace warfarinem se laboratorně kontroluje jeho účinek tak, aby byl v dolní polovině terapeutického rozmezí. Pro prevenci kontrastem navozené nefropatie je důležitá dostatečná hydratace, která se před výkonem zajišťuje intravenózně podávanými krystaloidy. Toto opatření je klíčové zejména v případě již přítomné renální insuficience. Nemocní s dokumentovanou alergickou reakcí na jodovou kontrastní látku nebo s těžkou formou polyvalentní alergie dostávají před katetrizací protialergickou přípravu kortikoidními steroidy (White, 2018).

Sestra na standardním kardiologickém oddělení odpovídá za správnou péči o pacienta před a po výkonu, kontrolu laboratorních testů a plnění ordinací lékaře. Je psychickou oporou pacientů, kteří se potýkají se strachem z často neznámého vyšetření, se strachem z diagnózy, možností léčby a samozřejmě strachem ze smrti. Odpovídá také za předání pacienta na katetrizační sál a informuje sálovou sestru o aktuálním stavu pacienta, fyziologických funkcích, podané medikaci, alergické anamnéze a případné protialergické přípravě pacienta, u warfarinizovaných pacientů o aktuálním výsledku koagulačních testů.

Sestra na katetrizačním sále, která bude během výkonu plnit funkci obíhající (cirkulující) sestry, se po převzetí pacienta do péče představí a ověří pacientovu totožnost a správnost dokumentace. Provádí rovněž kontrolu výsledků laboratorních testů a echokardiografického vyšetření, zejména hodnotu ejekční frakce levé komory srdeční, která je důležitá při podávání infuzní terapie nebo kontrastní látky. Znovu ověřuje i

alergickou anamnézu pacienta a přítomnost zubní náhrady v dutině ústní. Ta by byla komplikací u akutního zajištění dýchacích cest pacienta, pokud by k takové situaci došlo. Pacientovi po uložení na vyšetřovací lůžko připojí svody EKG a saturační čidlo, protože kontinuální záznam EKG, saturační a invazivně měřená tlaková křivka je nepostradatelnou součástí vyšetření. Příprava místa vpichu spočívá v kontrole kvality vyholení předloktí a obou třísel, provedení funkčního vyšetření tepen horní končetiny na zápěstí (Allenův test), úpravy horní končetiny do pronační polohy a také fixaci končetiny kvůli většímu pohodlí pacienta a pro nekomplikované zavedení arteriálního zavaděče. Sestra pacienta informuje o ošetřovatelských aspektech průběhu vyšetření, o nutnosti úplného klidu na lůžku a oznámení patologických vjemů, které by během vyšetření vnímal (White, 2018).

V průběhu výkonu zodpovídá za kontrolu fyziologických funkcí pacienta a za správnost podávaného materiálu. Komunikuje s pacientem, čímž zjišťuje stav vědomí, případný stav diskomfortu, bolesti nebo strachu. V případě změn na EKG záznamu nebo na arteriální tlakové křivce informuje lékaře a musí být schopna správně a rychle jednat v situacích ohrožujících život pacienta (White, 2018).

Asistující sestra připravuje sterilní instrumentační stolek, rouškuje pacienta, nese odpovědnost za kontrolu a přípravu materiálu, kde každá chyba může znamenat riziko závažných komplikací. Asistuje u zavádění instrumentária do arteriálního, koronárního nebo venózního řečiště pacienta. Soustředěně sleduje také práci lékaře a rentgenový obraz probíhajícího katetrizačního výkonu a informuje lékaře o případných změnách (White, 2018).

Intervenční kardiologie je obor, kde se zdravotní stav pacienta může zkomplikovat v průběhu sekundy a je nejen v rukou a myšlení lékaře, jak danou situaci zvládne. Právě orientovanost sestry o probíhajícím výkonu, o příčině vzniku komplikace a o předpokládaném postupu řešení komplikace, je velkým přínosem pro práci lékaře a pro pacienta (Scott, 2018).

Během katetrizačního výkonu se provádí záznam do zdravotnické dokumentace. V záznamu je uveden čas převzetí a předání pacienta, typ provedeného vyšetření, čas zahájení a ukončení výkonu, podaná medikace a množství kontrastní látky, místo vpichu tepenného zavaděče a způsob ošetření tepny po jeho odstranění. Součástí záznamu jsou i jména členů katetrizačního týmu a záznam pro zdravotní pojišťovnu a vykázání spotřebovaného materiálu. Podle zvyklostí konkrétního katetrizačního pracoviště se na tvorbě záznamu podílí cirkulující sestra na sále nebo sestra a rentgenový laborant v ovladovně sálu. Personál v ovladovně katetrizačního sálu také dle ordinací lékaře mění nastavení rentgenového přístroje a hemodynamických monitorů, sleduje fyziologické funkce pacienta a v případě komplikací posílí katetrizační tým uvnitř sálu, včetně podílu na případné kardiopulmonální resuscitaci (White, 2018). Při situacích vyžadujících rozsáhlou intenzivní a resuscitační péči je na sál často přivolán i další personál z koronární jednotky. Sestra rovněž organizuje a koordinuje pořadí pacientů na katetrizační sál podle jejich stavu a diagnózy a modifikuje toto pořadí na základě informací od lékařů.

Po ukončení katetrizačního výkonu je pacient lékařem informován o výsledku vyšetření, prognóze a doporučeném dalším postupu léčby. Pokud je pacient vyšetřený přes radiální tepnu, sestra odstraní tepenný zavaděč a místo vpichu nejčastěji komprimuje speciálním jednorázovým kompresním náramkem. Kompresi sestra provede tak, aby po vytažení zavaděče místo vpichu nekrvácelo a končetina byla adekvátně prokrvená. Pacienta

informuje o pohybovém režimu a opatřeních, které jsou nevyhnutné k bezproblémovému zhojení místa vpichu a zabraňují poškození arteria radialis. Zavaděč z arteria femoralis je ve většině případů odstraněný lékařem a céva je ošetřena cévním uzavíracím systémem. Další možností je manuální komprese arteria femoralis v trvání 15-20 minut a následná komprese zátěží v trvání od 4 do 12 hodin. V některých případech, kdy není možné uzavřít arterii uzavíracím systémem nebo provést manuální kompresi přímo na sále kvůli podané antikoagulační léčbě, je pacientovi ponechán femorální zavaděč a další postup určuje intervenční kardiolog a ošetřující lékař pacienta na daném oddělení. Manuální komprese vena femoralis po odstranění zavaděče je 5-10 minut a komprese zátěží je pacientovi ponechána 2-4 hodiny. V obou případech je pacient informován o pohybovém režimu a komplikacích, které mohou při nedodržování klidu na lůžku nastat. Pacienta následně sálová sestra předá pacienta do péče sestry na standardním oddělení nebo na jednotce intenzivní péče. Důležitými informacemi, které sestra předává jsou aktuální zdravotní stav pacienta, absolvovaný výkon, podaná medikace a způsob ošetření místa vpichu (Baim, 2020, White, 2018).

Pacienti s akutním koronárním syndromem jsou indikováni k primární koronární intervenci. Katetrizační laboratoř zajišťuje nepřetržitou pohotovostní službu ve složení intervenční kardiolog, sestra a rentgenový laborant (podle zvyklostí pracoviště někdy dvě zdravotní sestry). Informace o příjmu akutního pacienta katetrizační tým dostává od lékaře a sester koronární jednotky. Příprava pacienta při vědomí se omezuje na zjištění alergické anamnézy a odstranění zubní náhrady z dutiny ústní. Další informace o podané medikaci, fyziologických funkcích a celkovém stavu pacienta předává lékař rychlé záchranné služby. Pro provedení vyšetření je postačující ústní souhlas pacienta. Po zajištění monitorace fyziologických funkcí připraví sestra pacientovi místa vpichu za současného vysvětlování každého kroku přípravy a následného vyšetření. Komunikace s pacientem je velmi důležitá. Sestra si musí být vědoma, že pro pacienta je náhlá změna jeho zdravotního stavu velkým stresem. Kromě strachu o svůj život, pocitu nevolnosti a bolesti, se ocitá často poprvé v neznámém prostředí invazivního pracoviště. Nepostradatelná je proto u sestry schopnost rychlého konání a klidného vystupování (Baim, 2020, White, 2018).

U pacientů na umělé plicní ventilaci, v kardiogenním šoku nebo překládaných záchrannou službou za kontinuální resuscitace spolupracuje katetrizační tým s anesteziologickým týmem nebo týmem koronární jednotky.

Péče o pacienta, který prochází buď plánovaně nebo akutně katetrizačním sálem, je péčí týmovou. Vzájemná spolupráce zdravotnického personálu ambulancí, standardních oddělení a jednotky intenzivní péče s katetrizační laboratoří, je základem úspěšné léčby pacienta (Scott, 2018).

# 6. Diskuse

Obor intervenční kardiologie prošel od svého vzniku rychlým a intenzivním vývojem. Její historie je příběhem lidské houževnatosti a touhy po pokroku v diagnostice a později i léčbě kardiovaskulárních onemocnění (Barton, 2014, Gaspard, 2017). Na počátku vzniku dnes už samostatné oblasti kardiologie stojí lékaři, kteří dokázali překonat strach z použití nových metod, se kterými experimentovali nejen na pokusných zvířatech, ale mnohdy i sami na sobě. Tito lékaři jsou často označováni jako charismatičtí vizionáři. Na své cestě za pokrokem museli přesvědčit odbornou, ale i laickou veřejnost o tom, že i srdce jako životně důležitý orgán se dá vyšetřit i invazivní cestou pomocí katétrů a že s jejich využitím se na něm dají provádět i terapeutické výkony. V roce 1958 byla provedena první selektivní koronární angiografie, která přinesla velký nárůst vyšetřovaných pacientů, díky čemuž se zároveň rozvíjela chirurgie věnčitých tepen (Sones, 1962). Po tomto velkém historickém kroku následovalo 19 let rozvoje diagnostických a balónkových katétrů. První periferní balónková angioplastika byla provedena v roce 1974 a po ní v roce 1977 přišel nejvýznamnější krok pro intervenční kardiologii v podobě první balónkové angioplastiky na koronární tepně (Grüntzig, 1978). Ta znamenala zahájení éry nové metody léčby stenozující a obliterující koronární aterosklerózy. Tato metoda zaznamenala celosvětově prudký rozvoj, což umožnilo léčit stále víc pacientů. V osmdesátých letech bylo ročně ošetřeno 1000 pacientů, v devadesátých letech to už bylo víc než 300 000 pacientů ročně (Gaspard, 2017). A nedocházelo jenom ke zvyšování počtů pacientů, ale i k vývoji nových intervenčních metod, které byly zaměřeny na odstranění hmot aterosklerotických plátů a snížení restenózy po perkutánní angioplastice. Mezi takové metody patřila rotační aterektomie, která se úspěšně používá dodnes. Skutečným přínosem v problematice prevence restenózy byly až stenty, které taky v krátkém časovém období zaznamenaly značný rozvoj. První angioplastika koronární tepny s použitím stentu byla provedena v roce 1986 (Gaspard, 2017). Koronární stenty s sebou přinesly sice další velký pokrok pro intervenční kardiologii, ale vynutily si také období výzkumu antiagregační terapie, bez které by jejich využití nemělo význam. Za další revoluční přínos byly považovány stenty lokálně uvolňující léky dále snižující riziko restenózy. Restenóza po použití lékových stentů se vyskytuje v rozmezí 5-10 % v závislosti na řadě klinických a anatomických faktorů (Gaspard, 2017).

Postupné zlepšování materiálu a technologií, rozvoj vědy a vzájemná spolupráce lékařů a biomedicínských inženýrů umožnilo další vývoj intervenční kardiologie. Diagnostické vyšetření koronárních tepen se rozšířilo o techniky, mezi které patří intrakoronární ultrazvuk nebo měření FFR a vyšetření průtoku koronárními tepnami. Terapeutické postupy byly také rozšířené o katetrizační řešení uzávěrů perzistujícího foramen ovale patens, defektu septa síní, defektů septa komor, arteriovenózních píštělí, ductus arteriosus a dalších defektů.

Poslední roky se rozvoj intervenční kardiologie nese ve znamení rozvoje programu strukturálních intervencí, intervencí chronických uzávěrů koronárních tepen a přínosu mechanických podpor oběhu u řešení kardiogenního šoku a srdečního selhání na katetrizačním sále. Výrazným způsobem se ovlivňuje prognóza onemocnění a kvalita života pacientů se závažnou kardiovaskulární diagnózou, včetně pacientů, kteří z různých

příčin, nejčastěji však kvůli věku a polymorbiditě, nejsou schopni podstoupit kardiochirurgický výkon (Baim, 2020).

Progresivní vývoj intervenční kardiologie se dotýká i sester, které jsou důležitou součástí katetrizačního týmu. Osobnost sestry v tomto oboru proto musí být flexibilní, s chutí vzdělávat se a přijímat změny. Na sestry jsou kladeny vysoké nároky nejen pro zvládání akutních situací a poskytování specializované intenzivní péče. Jejich odborné znalosti a dovednosti by měly dosahovat takovou úroveň, aby u katetrizačního výkonu byla asistentkou, která rozumí průběhu vyšetření a dokáže předpokládat kromě následujícího kroku výkonu také možná rizika a komplikace. Samozřejmostí je zajištění komfortu a psychické podpory pacienta a komunikace s ním. Sestra také stojí za organizací plynulého chodu sálu (Scott, 2018).

Profesní růst, vývoj a změnu postavení sester na katetrizačním sále lze dobře sledovat spolu s vývojem intervenční kardiologie. Příkladem je TAVI, výkon, který na svém počátku byl v rukách školících lékařů (proktorů) a specializovaného týmu zdravotnické firmy, který aortální chlopeň připravoval k implantaci, a byl to výkon s vysokým rizikem krvácení z oblasti femorálních artérií, závažných arytmií a dalších komplikací (Cribier, 2017). Postupným zdokonalováním technologií materiálu a zaškolením katetrizačního týmu můžeme mluvit o rutinním katetrizačním výkonu, kde sestra je často držitelkou certifikátu k přípravě aortální chlopně k implantaci (White, 2018).

Dalším příkladem je angioplastika chronických uzávěrů koronárních tepen. Ve svých počátcích velice rizikový výkon s nízkým procentem úspěšnosti probíhal skoro výhradně cestou arteria femoralis. Na překonání chronického uzávěru koronární tepny bylo k dispozici minimum specifického instrumentária. Většinou šlo o pokus propíchnout uzávěr tvrdým koronárním vodičem s ostrou špičkou, což znamenalo pro pacienta riziko perforace koronární tepny s následnou srdeční tamponádou. V krátkém časovém období i v tomto případě došlo k velkému vývoji materiálu, a technologií i samotného postupu intervence (Brilakis, 2019). A velký postup zaznamenalo i postavení sestry. Ve světě, ale i u nás začínají vznikat specializované CTO týmy (z anglického označení chronic total occlusion). Sestra, která je členem tohoto týmu se účastní kurzů a workshopů věnovaných problematice intervence chronických uzávěrů, kde získává informace o způsobech katetrizační rekanalizace chronického uzávěru a také o vlastnostech a využití specifického materiálu. Před zahájením intervence je podrobně informována o strategii postupu a možných komplikacích lékařem, včetně společné analýzy angiogramu, plánování výkonu a výběru instrumentária.

Využití ECMO systému na katetrizačních sálech zaznamenalo také rychlý vývoj a nutnost proškolení personálu. Katetrizační tým v tomto případě úzce spolupracuje s ECMO týmem koronární jednotky. Právě vzájemná spolupráce, organizace výkonu a koncentrace na jeho provedení je základem úspěchu (Baim, 2020).

Moderní intervenční kardiologie nabízí možnost lékařům a sestrám katetrizačních laboratoří vyzkoušet si nový výrobek nebo novou intervenční metodu na různých modelech. Pro sestru je to velký přínos pro její roli asistenta, kde musí bezchybně zvládat přípravu instrumentária a přístrojové techniky.

Můžeme konstatovat, že pracovní náplň a vytíženost sestry intervenční kardiologie je velká a náročná. Pokud ale sestra projeví zájem o obor, chuť a snahu učit se, dokáže s

citem a kvalitně pracovat, vrátí se jí to právě na úrovni jejího postavení v týmu a v neposlední řadě i vděkem pacientů (Scott, 2018).

Při studiu zdrojů o historii intervenční kardiologie lze nalézt jen ojedinělé zmínky o nelékařských členech týmů katetrizačních sálů. Přesto byli součástí důležitých milníků ve vývoji oboru a sporadicky jsou i spoluautory publikací o průlomových novinkách katetrizační techniky (Grüntzig, 1973). Rozvoj široké škály katetrizačních výkonů vedla k potřebě specializace nejenom lékařů, ale i sester a také k formulaci standardů pro katetrizační sestry ze strany některých odborných společností (White, 2018). Dle mého názoru a osobních zkušeností je možnost zapojení se do nejsložitějších výkonů intervenční kardiologie efektivní způsob zvýšení vlastní erudice a zlepšení péče o pacienta. Pravidelná aktualizace vlastních znalostí a příprava před každým výkonem vede i ke zlepšení interakce s katetrizujícími lékaři, kteří ocení sestru schopnou plně se orientovat v aktuální situaci na sále a adekvátně reagovat na jakoukoliv situaci.

# 7. Závěr

Historie intervenční kardiologie je příběhem odvážných a inovativních lidí, kteří v krátkém časovém období vytvořili důležitý obor medicíny. Ze svých dobrodružných začátků se intervenční kardiologie vyvinula ve velmi sofistikované odvětví, spoléhající na medicínu založenou na důkazech, s propracovaným systémem vzdělávání personálu a efektivním uváděním nových postupů do klinické praxe. Součástí tohoto příběhu jsou i sestry na katetrizačních sálech. Byť je jejich role ve vývoji oboru málokdy zmiňována, jsou důležitou článkem vysoce specializované péče o kardiovaskulárně nemocné. S rozvojem oboru nezbytně roste i zapojení sester do jednotlivých aspektů této péče, ale v centru jejich zájmu i v dnešní době zůstává pacient.

Práce poskytuje přehled aktuálně prováděných výkonů intervenční kardiologie a v tomto kontextu následně popisuje historii oboru a vývoj jednotlivých kroků směřujících k současnému stavu a možnostem katetrizačních intervencí. Práce se věnuje i sestrám na katetrizačním sále, vzdělání a rolí sester v péči o pacienta. Text je určen zejména pro všeobecné sestry v bakalářském nebo magisterském studiu a může sloužit jako přehledový článek pro sestry pracující na katetrizačním sále.

# 8. Seznam použité literatury


Baim, D. S., Grossman, W. (2020). *Grossman's cardiac catheterization, angiography, and intervention.*

Bajraktari, G., Rexhaj, Z., Elezi, S., Zhubi-Bakija, F., Bajraktari, A., Bytyçi, I., Batalli, A., & Henein, M. Y. (2021). Radial access for coronary angiography carries fewer complications compared with femoral access: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of clinical medicine*, *10*(10), 2163. https://doi.org/10.3390/jcm10102163

Barbato, E., Carrié, D., Dardas, P., Fajadet, J., Gaul, G., Haude, M., Khashaba, A., Koch, K., Meyer-Gessner, M., Palazuelos, J., Reczuch, K., Ribichini, F. L., Sharma, S., Sipötz, J., Sjögren, I., Suetsch, G., Szabó, G., Valdés-Chávarri, M., Vaquerizo, B., Wijns, W., … European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (2015). European expert consensus on rotational atherectomy. *EuroIntervention : journal of EuroPCR in collaboration with the Working Group on Interventional Cardiology of the European Society of Cardiology*, *11*(1), 30–36. https://doi.org/10.4244/EIJV11I1A6

Bartlett, RH. (2017). Esperanza. *ASAIO Journal*, *63*(6):832-843.

Barragan, P., Sainsous, J., Silvestri, M., Bouvier, J. L., Comet, B., Siméoni, J. B., Charmasson, C., Bremondy, M. (1994). Ticlopidine and subcutaneous heparin as an alternative regimen following coronary stenting. *Catheterization and Cardiovascular Diagnosis*, *32*(2), 133–138. https://doi.org/10.1002/ccd.1810320208

Barton, M., Grüntzig, J., Husmann, M., & Rösch, J. (2014). Balloon angioplasty - The legacy of Andreas Grüntzig, M.D. (1939-1985). *Frontiers in cardiovascular medicine*, *1*, 15. https://doi.org/10.3389/fcvm.2014.00015

Bonhoeffer, P., Boudjemline, Y., Saliba, Z., Merckx, J., Aggoun, Y., Bonnet, D., Acar, P., Le Bidois, J., Sidi, D., & Kachaner, J. (2000). Percutaneous replacement of pulmonary valve in a right-ventricle to pulmonary-artery prosthetic conduit with valve dysfunction. *Lancet*, *356*(9239), 1403–1405. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02844-0

Boudoulas, K. D., Marmagkiolis, K., & Boudoulas, H. (2019). Atrial septal defect sizing and transcatheter closure. *Cardiology*, *142*(2), 105–108. https://doi.org/10.1159/000496348

Brilakis, E. S., Mashayekhi, K., Tsuchikane, E., Abi Rafeh, N., Alaswad, K., Araya, M., Avran, A., Azzalini, L., Babunashvili, A. M., Bayani, B., Bhindi, R., Boudou, N., Boukhris, M., Božinović, N. Ž., Bryniarski, L., Bufe, A., Buller, C. E., Burke, M. N., Büttner, H. J., Cardoso, P., … Rinfret, S. (2019). Guiding Principles for Chronic Total Occlusion Percutaneous Coronary Intervention. *Circulation*, *140*(5), 420–433. https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.039797

Collado, F., Poulin, M. F., Murphy, J. J., Jneid, H., & Kavinsky, C. J. (2018). Patent Foramen Ovale Closure for Stroke Prevention and Other Disorders. *Journal of the American Heart Association*, *7*(12), e007146. https://doi.org/10.1161/JAHA.117.007146

Collet, J.-P., Thiele, H., Barbato, E., Barthélémy, O., Bauersachs, J., Bhatt, D. L., Dendale, P., Dorobantu, M., Edvardsen, T., Folliguet, T., Gale, C. P., Gilard, M., Jobs, A., Jüni, P., Lambrinou, E., Lewis, B. S., Mehilli, J., Meliga, E., Merkely, B., Mueller, C. (2020). 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC), *European Heart Journal*, *42*(14), 1289–1367. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa575

Colombo, A., Di Mario, C., Reimers, B., Blengino, S., Akiyama, T., Ferraro, M., Martini, G., Di Francesco, L., & Finci, L. (1997). Coronary stenting in 1000 consecutive patients. Long-term clinical and angiographic results. *Giornale Italiano di Cardiologia*, *27*(1), 19–31.

Cournand, A. F. (1957). Pulmonary circulation; its control in man, with some remarks on methodology. *American Heart Journal*, *54*(2), 172–181. https://doi.org/10.1016/0002-8703(57)90144-8

Cribier, A., Savin, T., Saoudi, N., Rocha, P., Berland, J., & Letac, B. (1986). Percutaneous transluminal valvuloplasty of acquired aortic stenosis in elderly patients: an alternative to valve replacement?. *Lancet, 1*(8472), 63–67. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(86)90716-6

Cribier, A., Eltchaninoff, H., Bash, A., Borenstein, N., Tron, C., Bauer, F., Derumeaux, G., Anselme, F., Laborde, F., & Leon, M. B. (2002). Percutaneous transcatheter implantation of an aortic valve prosthesis for calcific aortic stenosis: first human case description. *Circulation*, *106*(24), 3006–3008. https://doi.org/10.1161/01.cir.0000047200.36165.b8

Cribier, A. (2017). Commemorating the 15-year anniversary of TAVI: insights into the early stages of development, from concept to human application, and perspectives. *EuroIntervention*, *13*(1), 29–37. https://doi.org/10.4244/EIJV13I1A3

Dotter, C. T., Judkins, M. P. (1964). Transluminal treatment of arteriosclerotic obstruction. Description of a new technic and a preliminary report of its application. *Circulation*, *30*, 654–670. https://doi.org/10.1161/01.cir.30.5.654

Forssmann, W. (1929). Die Sondierung des rechten Herzens. *Klinike Wochenschrift, 8,* 2085-7.

Gaspard, P. (2017). *The history of coronary angioplasty.*

Golamari, R., Gilchrist, I. C. (2021). Collateral circulation testing of the hand - is it relevant now? A narrative review. *The American Journal of the Medical Sciences*, *361*(6), 702–710. https://doi.org/10.1016/j.amjms.2020.12.001

Goode, D., Dhaliwal, R., & Mohammadi, H. (2020). Transcatheter Mitral Valve Replacement: State of the Art. *Cardiovascular Engineering and Technology*, *11*(3), 229–253. https://doi.org/10.1007/s13239-020-00460-4

Grüntzig, A., Blohmke, M., Depner, R., Augsburger, W. (1968) Prüfung der Zuverlässigkeit medizinischer Fragen in der epidemiologischen Forschung. *Methods of Information in Medicine 7*(3):159–65.

Grüntzig, A., Bollinger, A., Brunner, U., Schlumpf, M., Wellauer, J. (1973) Perkutane Rekanalisation chronischer arterieller Verschlüsse nach Dotter – eine nicht-operative Kathetertechnik. *Schweizerische Medizinische Wochenschrift 103*:825–31.

Grüntzig, A. (1976a) Die perkutane Rekanalisation chronischer arterieller Verschlüsse (Dotter-Prinzip) mit einem neuen doppellumigen Dilatationskatheter. *Röfo 124*(1):80–6.

Grüntzig, A. (1976b). Perkutane Dilatation von Coronarstenosen- Beschreibung eines neuen Kathetersystems [Percutaneous dilatation of experimental coronary artery stenosis- description of a new catheter system]. *Klinische Wochenschrift*, *54*(11), 543–545. https://doi.org/10.1007/BF01468977

Grüntzig, A., Turina, M., Schneider, J. (1977) Coronary transluminal angioplasty. *Circulation, 56*:84.

Grüntzig, A. (1978). Transluminal dilatation of coronary-artery stenosis. *Lancet*, *1*(8058), 263. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(78)90500-7

Grüntzig, A. R., Senning, A., & Siegenthaler, W. E. (1979). Nonoperative dilatation of coronary-artery stenosis: percutaneous transluminal coronary angioplasty. *The New England Journal of Medicine*, *301*(2), 61–68. https://doi.org/10.1056/NEJM197907123010201

Hideo-Kajita, A., Garcia-Garcia, H. M., Kolm, P., Azizi, V., Ozaki, Y., Dan, K., Ince, H., Kische, S., Abizaid, A., Töelg, R., Lemos, P. A., Van Mieghem, N. M., Verheye, S., von Birgelen, C., Christiansen, E. H., Wijns, W., Lefèvre, T., Windecker, S., Waksman, R., Haude, M., … BIOFLOW-II, BIOSOLVE-II and BIOSOLVE-III investigators (2020). Comparison of clinical outcomes between Magmaris and Orsiro drug eluting stent at 12 months: Pooled patient level analysis from BIOSOLVE II-III and BIOFLOW II trials. *International journal of cardiology*, *300*, 60–65. https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2019.11.003

Hill, J. M., Kereiakes, D. J., Shlofmitz, R. A., Klein, A. J., Riley, R. F., Price, M. J., Herrmann, H. C., Bachinsky, W., Waksman, R., Stone, G. W., & Disrupt CAD III Investigators (2020). Intravascular Lithotripsy for Treatment of Severely Calcified Coronary Artery Disease. *Journal of the American College of Cardiology*, *76*(22), 2635–2646. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.09.603

Inoue, K., Owaki, T., Nakamura, T., Kitamura, F., & Miyamoto, N. (1984). Clinical application of transvenous mitral commissurotomy by a new balloon catheter. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, *87*(3), 394–402.

Iyengar, S. S., Godbole, G. S., & Subashchandra, V. (2017). Proctors in interventional cardiology: go beyond mentoring and monitoring!. *Heart Asia*, *9*(2), e010953. https://doi.org/10.1136/heartasia-2017-010953

Judkins M. P. (1967). Selective coronary arteriography. I. A percutaneous transfemoral technic. *Radiology*, *89*(5), 815–824. https://doi.org/10.1148/89.5.815

Kan, J. S., White, R. I., Jr, Mitchell, S. E., & Gardner, T. J. (1982). Percutaneous balloon valvuloplasty: a new method for treating congenital pulmonary-valve stenosis. *The New England Journal of Medicine*, *307*(9), 540–542. https://doi.org/10.1056/NEJM198208263070907

Kereiakes, D. J., Ellis, S. G., Metzger, D. C., Caputo, R. P., Rizik, D. G., Teirstein, P. S., Litt, M. R., Kini, A., Kabour, A., Marx, S. O., Popma, J. J., Tan, S. H., Ediebah, D. E., Simonton, C., Stone, G. W., & ABSORB III Investigators (2019). Clinical outcomes before and after complete everolimus-eluting bioresorbable scaffold resorption: five-year follow-up from the ABSORB III Trial. *Circulation*, *140*(23), 1895–1903. https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.119.042584

Khan, J. M., Greenbaum, A. B., Babaliaros, V. C., Rogers, T., Eng, M. H., Paone, G., Leshnower, B. G., Reisman, M., Satler, L., Waksman, R., Chen, M. Y., Stine, A. M., Tian, X., Dvir, D., & Lederman, R. J. (2019). The BASILICA Trial: Prospective multicenter investigation of intentional leaflet laceration to prevent TAVR coronary obstruction. *JACC. Cardiovascular interventions*, *12*(13), 1240–1252. https://doi.org/10.1016/j.jcin.2019.03.035

Knuuti, J., Wijns, W., Saraste, A., Capodanno, D., Barbato, E., Funck-Brentano, C., Prescott, E., Storey, R. F., Deaton, C., Cuisset, T., Agewall, S., Dickstein, K., Edvardsen, T., Escaned, J., Gersh, B. J., Svitil, P., Gilard, M., Hasdai, D., Hatala, R. (2020). 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes: The Task Force for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes of the European Society of Cardiology (ESC), *European Heart Journal*, *41*(3), 407–477. https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz425

Kolte, D., & Elmariah, S. (2020). Current state of transcatheter tricuspid valve repair. *Cardiovascular diagnosis and therapy*, *10*(1), 89–97. https://doi.org/10.21037/cdt.2019.09.11

Kordulová, P. (2017). Vzdělávání sester v akutní kardiologii. *Intervenční a akutní kardiologie. 16*(1): 32-34.

Kumar, D., Patra, S., Pande, A., Chakraborty, R., Mukherjee, S. S., Roy, R. R., Halder, A., & Dey, S. (2020). Long-term clinical outcomes of thrombus aspiration in STEMI patients undergoing primary percutaneous coronary intervention. *American journal of cardiovascular disease*, *10*(2), 117–123.

Lababidi, Z., Wu, J. R., & Walls, J. T. (1984). Percutaneous balloon aortic valvuloplasty: results in 23 patients. *The American journal of cardiology*, *53*(1), 194–197. https://doi.org/10.1016/0002-9149(84)90709-4

Madan, M., Bagai, A., Overgaard, C. B., Fang, J., Koh, M., Cantor, W. J., Garg, P., Natarajan, M. K., So, D., & Ko, D. T. (2019). Same-day discharge after elective percutaneous coronary interventions in Ontario, Canada. *Journal of the American Heart Association*, *8*(13), e012131. https://doi.org/10.1161/JAHA.119.012131

Maron B. J. (2018). Clinical course and management of hypertrophic cardiomyopathy. *The New England Journal of Medicine*, *379*(7), 655–668. https://doi.org/10.1056/NEJMra1710575

Mentias, A., Sarrazin, M. V., Saad, M., Panaich, S., Kapadia, S., Horwitz, P. A., & Girotra, S. (2020). Long-Term Outcomes of Coronary Stenting With and Without Use of Intravascular Ultrasound. *JACC. Cardiovascular interventions*, *13*(16), 1880–1890. https://doi.org/10.1016/j.jcin.2020.04.052

Nanas, J. N., Moulopoulos, S. D. (1994). Counterpulsation: historical background, technical improvements, hemodynamic and metabolic effects. *Cardiology*, *84*(3), 156–167. https://doi.org/10.1159/000176394

Negi, S. I., Didier, R., Ota, H., Magalhaes, M. A., Popma, C. J., Kollmer, M. R., Spad, M. A., Torguson, R., Suddath, W., Satler, L. F., Pichard, A., & Waksman, R. (2015). Role of near-infrared spectroscopy in intravascular coronary imaging. *Cardiovascular revascularization medicine: including molecular interventions*, *16*(5), 299–305. https://doi.org/10.1016/j.carrev.2015.06.001

Ng, A. K., Ng, P. Y., Ip, A., Jim, M. H., & Siu, C. W. (2021). Association between radial versus femoral access for percutaneous coronary intervention and long-term mortality. *Journal of the American Heart Association*, *10*(15), e021256. https://doi.org/10.1161/JAHA.121.021256

Peek, G. J., Mugford, M., Tiruvoipati, R., Wilson, A., Allen, E., Thalanany, M. M., Hibbert, C. L., Truesdale, A., Clemens, F., Cooper, N., Firmin, R. K., Elbourne, D., & CESAR trial collaboration (2009). Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet 374*(9698), 1351–1363. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61069-2

Pibarot, P., Delgado, V., & Bax, J. J. (2019). MITRA-FR vs. COAPT: lessons from two trials with diametrically opposed results. *European Heart Journal. Cardiovascular Imaging*, *20*(6), 620–624. https://doi.org/10.1093/ehjci/jez073

Prasad, R. M., Pandrangi, P., Pandrangi, G., Yoo, H., Salazar, A. M., Ukponmwan, E., Kehdi, M., & Abela, G. (2021). Meta-analysis comparing distal radial artery approach versus traditional for coronary procedures. *The American Journal of Cardiology*, S0002-9149(21)01054-7. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2021.10.034

Pristera, N., Chaudhury, P., Van Iterson, E. H., Cho, L. S. (2021). Spontaneous coronary artery dissection: Principles of management. *Cleveland Clinic journal of medicine*, *88*(11), 623–630. https://doi.org/10.3949/ccjm.88a.20162

Ragosta, M. (2008). *Textbook of clinical hemodynamics.*

Reddy, V. Y., Doshi, S. K., Kar, S., Gibson, D. N., Price, M. J., Huber, K., Horton, R. P., Buchbinder, M., Neuzil, P., Gordon, N. T., Holmes, D. R., Jr, & PREVAIL and PROTECT AF Investigators (2017). 5-year outcomes after left atrial appendage closure: from the PREVAIL and PROTECT AF trials. *Journal of the American College of Cardiology*, *70*(24), 2964–2975. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.10.021

Schiavone, M., Gobbi, C., Gasperetti, A., Zuffi, A., Forleo, G. B. (2021). Congenital coronary artery anomalies and sudden cardiac death. *Pediatric cardiology*, *42*(8), 1676–1687. https://doi.org/10.1007/s00246-021-02713-y

Schumacher, S. P., Stuijfzand, W. J., Opolski, M. P., van Rossum, A. C., Nap, A., & Knaapen, P. (2019). Percutaneous Coronary Intervention of Chronic Total Occlusions: When and How to Treat. *Cardiovascular revascularization medicine: including molecular interventions*, *20*(6), 513–522. https://doi.org/10.1016/j.carrev.2018.07.025

Scott, J., & Stewart, J. (2018). Interventional Nurses Raising the Bar in the Cath Lab. *Heart, Lung & Circulation*, *27*(7), 777–778. https://doi.org/10.1016/j.hlc.2018.05.001

Seldinger, S. I. (1953). Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography; a new technique. *Acta radiologica*, *39*(5), 368–376. https://doi.org/10.3109/00016925309136722

Shahanavaz, S., Zahn, E. M., Levi, D. S., Aboulhousn, J. A., Hascoet, S., Qureshi, A. M., Porras, D., Morgan, G. J., Bauser Heaton, H., Martin, M. H., Keeshan, B., Asnes, J. D., Kenny, D., Ringewald, J. M., Zablah, J. E., Ivy, M., Morray, B. H., Torres, A. J., Berman, D. P., Gillespie, M. J., … McElhinney, D. B. (2020). Transcatheter pulmonary valve replacement with the sapien prosthesis. *Journal of the American College of Cardiology*, *76*(24), 2847–2858. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.10.041

Shavadia, J. S., Vo, M. N., & Bainey, K. R. (2018). Challenges With Severe Coronary Artery Calcification in Percutaneous Coronary Intervention: A Narrative Review of Therapeutic Options. *The Canadian journal of cardiology*, *34*(12), 1564–1572. https://doi.org/10.1016/j.cjca.2018.07.482

Sigwart U. (1995). Non-surgical myocardial reduction for hypertrophic obstructive cardiomyopathy. *Lancet*, *346*(8969), 211–214. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(95)91267-3

Sones F. M., Jr (1962). Cine-coronary arteriography. *The Ohio State Medical Journal*, *58*, 1018–1019.

Swan, H. J., Ganz, W., Forrester, J., Marcus, H., Diamond, G., Chonette, D. (1970). Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *The New England journal of medicine*, *283*(9), 447–451. https://doi.org/10.1056/NEJM197008272830902

Terré, J. A., George, I., & Smith, C. R. (2017). Pros and cons of transcatheter aortic valve implantation (TAVI). *Annals of cardiothoracic surgery*, *6*(5), 444–452. https://doi.org/10.21037/acs.2017.09.15

Townsend, N., Kazakiewicz, D., Wright, F. L., Timmis, A., Huculeci, R., Torbica, A., Gale, C. P., Achenbach, S., Weidinger, F., Vardas, P. (2021). Epidemiology of cardiovascular disease in Europe. *Nat Rev Cardiol,* https://doi.org/10.1038/s41569-021-00607-3

Vallabhajosyula, S., Dewaswala, N., Sundaragiri, P. R., Bhopalwala, H. M., Cheungpasitporn, W., Doshi, R., Miller, P. E., Bell, M. R., & Singh, M. (2021). Cardiogenic Shock Complicating ST-Segment

Elevation Myocardial Infarction: An 18-Year Analysis of Temporal Trends, Epidemiology, Management and Outcomes. *Shock*, 10.1097/SHK.0000000000001895. Advance online publication. https://doi.org/10.1097/SHK.0000000000001895

van Nunen, L. X., Zimmermann, F. M., Tonino, P. A., Barbato, E., Baumbach, A., Engstrøm, T., Klauss, V., MacCarthy, P. A., Manoharan, G., Oldroyd, K. G., Ver Lee, P. N., Van't Veer, M., Fearon, W. F., De Bruyne, B., Pijls, N. H., & FAME Study Investigators (2015). Fractional flow reserve versus angiography for guidance of PCI in patients with multivessel coronary artery disease (FAME): 5-year follow-up of a randomised controlled trial. *Lancet*, *386*(10006), 1853–1860. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)00057-4

White, K., Macfarlane, H., Hoffmann, B., Sirvas-Brown, H., Hines, K., Rolley, J. X., & Graham, S. (2018). Consensus Statement of Standards for Interventional Cardiovascular Nursing Practice. *Heart, Lung & Circulation*, *27*(5), 535–551. https://doi.org/10.1016/j.hlc.2017.10.022

Wolfson, P. (2003). The development and use of extracorporeal membrane oxygenation in neonates. *Ann Thoracic Surg*. *76*(6):S2224-S2229.

Yoon, S. H., Kim, W. K., Dhoble, A., Milhorini Pio, S., Babaliaros, V., Jilaihawi, H., Pilgrim, T., De Backer, O., Bleiziffer, S., Vincent, F., Shmidt, T., Butter, C., Kamioka, N., Eschenbach, L., Renker, M., Asami, M., Lazkani, M., Fujita, B., Birs, A., Barbanti, M., … Bicuspid Aortic Valve Stenosis Transcatheter Aortic Valve Replacement Registry Investigators (2020). Bicuspid aortic valve morphology and outcomes after transcatheter aortic valve replacement. *Journal of the American College of Cardiology*, *76*(9), 1018–1030. https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.07.005

Zapol, W. (1979). Extracorporeal Membrane Oxygenation in Severe Acute Respiratory Failure. *JAMA, 242*(20):2193.

Zimmerman, H. A., Scott, R. W., Becker, N. O. (1950). Catheterization of the left side of the heart in man. *Circulation*, *1*(3), 357–359. https://doi.org/10.1161/01.cir.1.3.357

# Seznam zkratek

CT – výpočetní tomografie

ECMO – extrakorporální membranózní oxygenace

EKG – elektrokardiografie

FFR – frakční průtoková rezerva

IABK – intraaortální balónková kontrapulzace

ICHS – ischemická choroba srdeční

IVUS – intravaskulární ultrazvuk

OCT – optická koherenční tomografie

PCI – perkutánní koronární intervence

SKG – selektivní koronarografie

TAVI – katetrizační implantace aortální chlopně

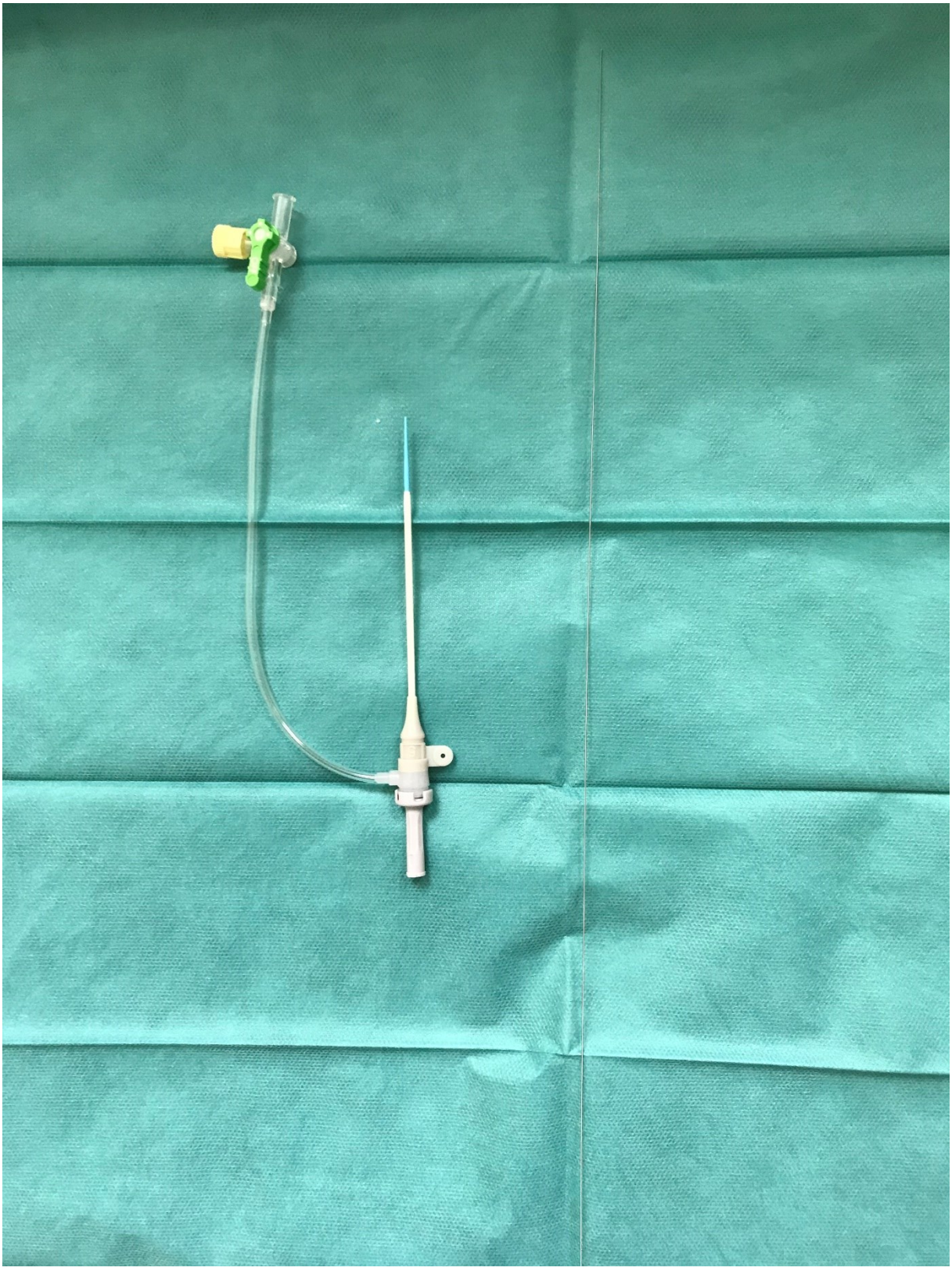
# Seznam příloh

Příloha č. 1: Fotografická dokumentace katetrizačního sálu.

**Příloha č. 1** Fotografická dokumentace katetrizačního sálu

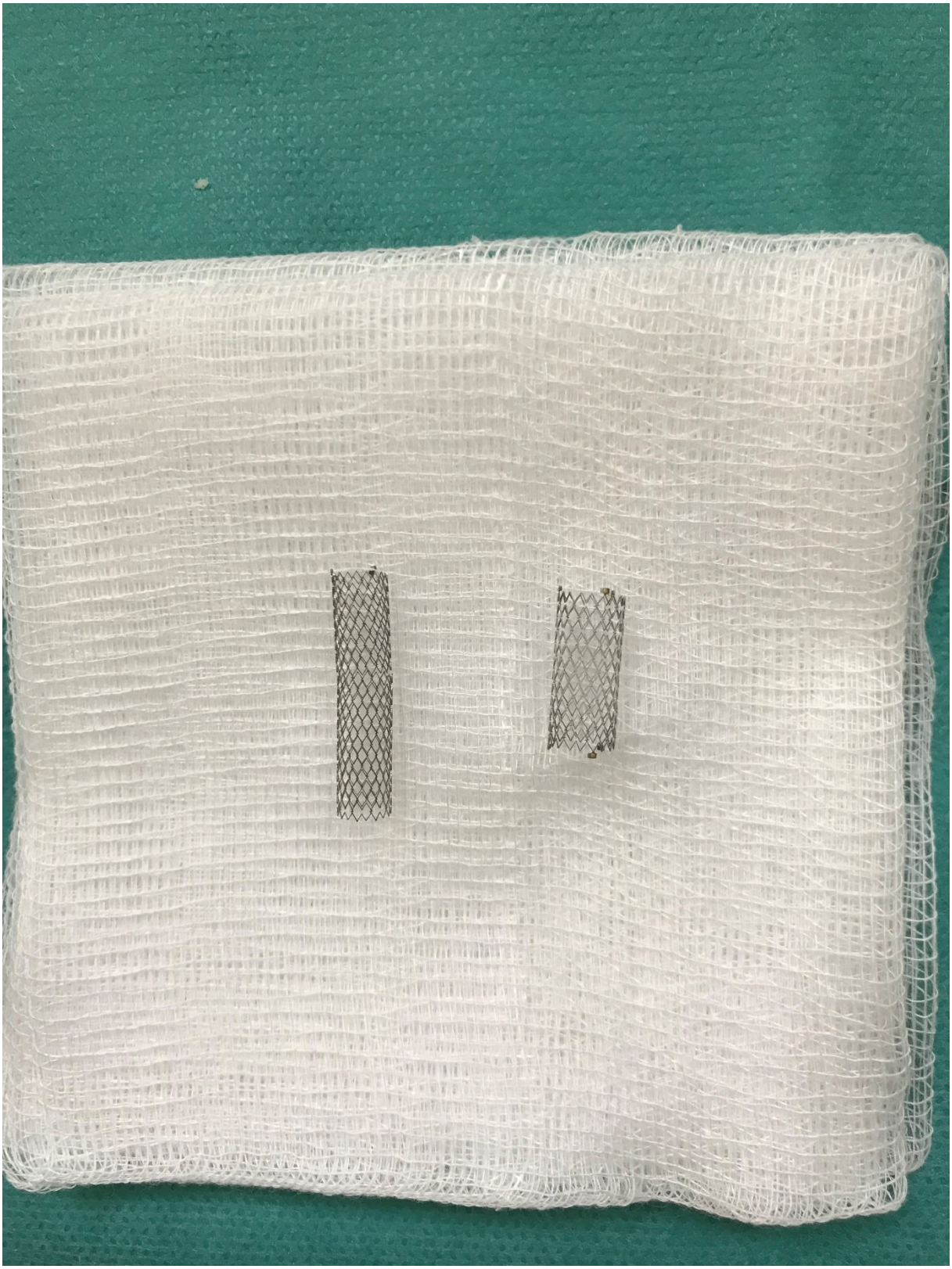
# Fotografická dokumentace katetrizačního sálu

Radiální zavaděč

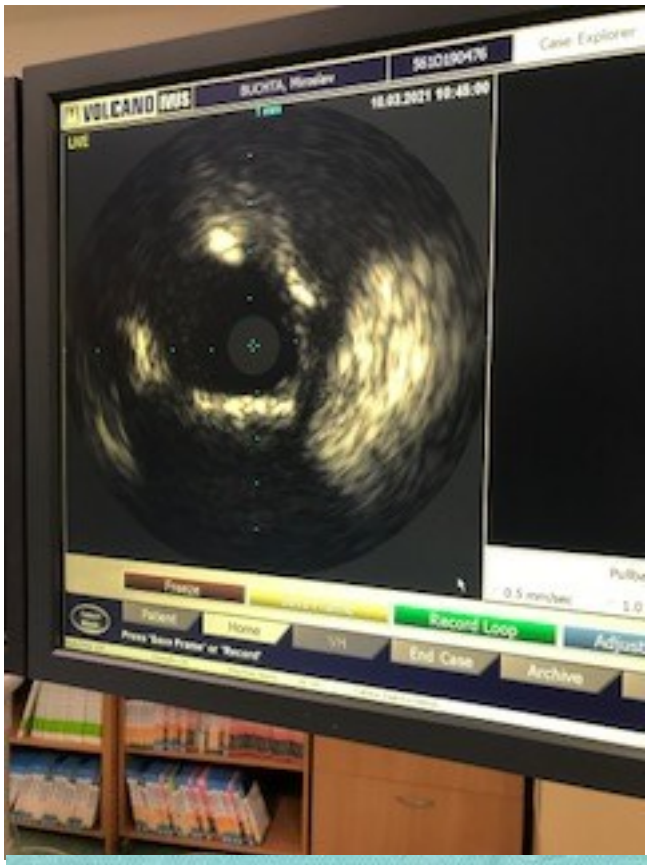


Radiální zavaděč připravený na zavedení do arteria radialis

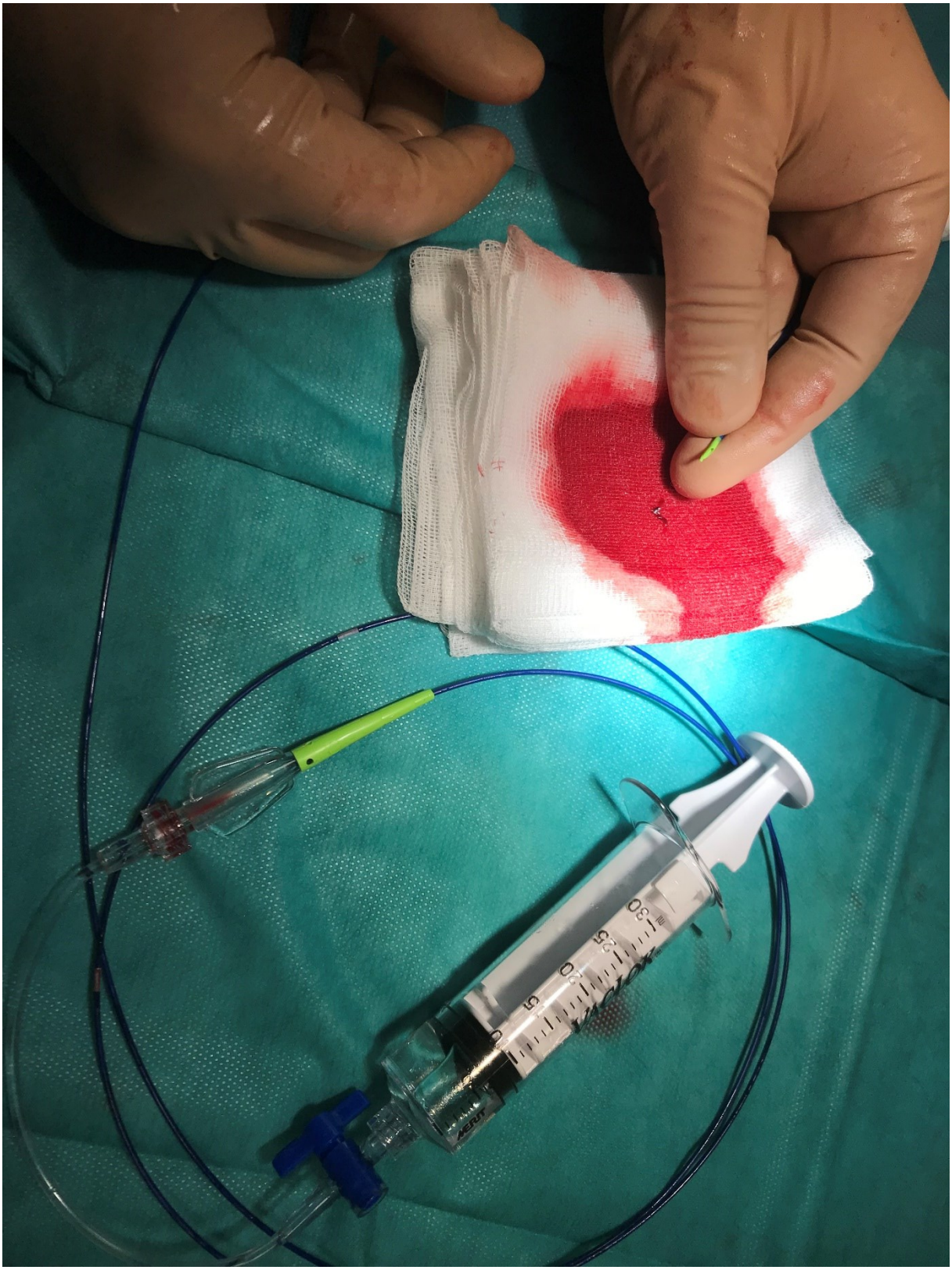
Radiální zavaděč zavedený v arterii radialis (distální přístup), ošetření místa vpichu tlakovým náramkem TR Band



Koronární stenty



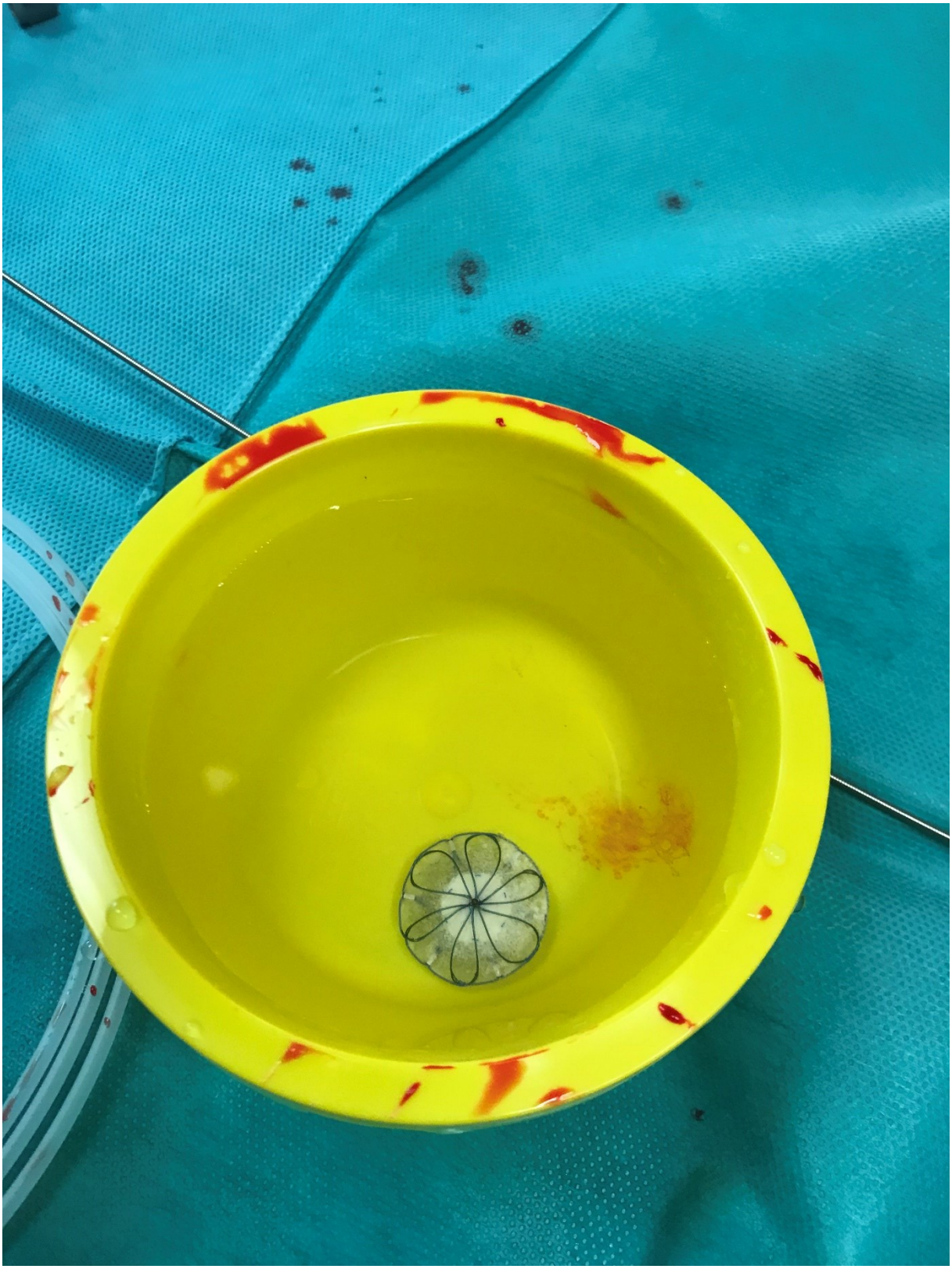
Intrakoronární ultrazvuk (IVUS)



Aspirační katetr Export a trombus odsátý z koronární tepny

Detailní záběr na aspirační katetr a trombus z koronární tepny

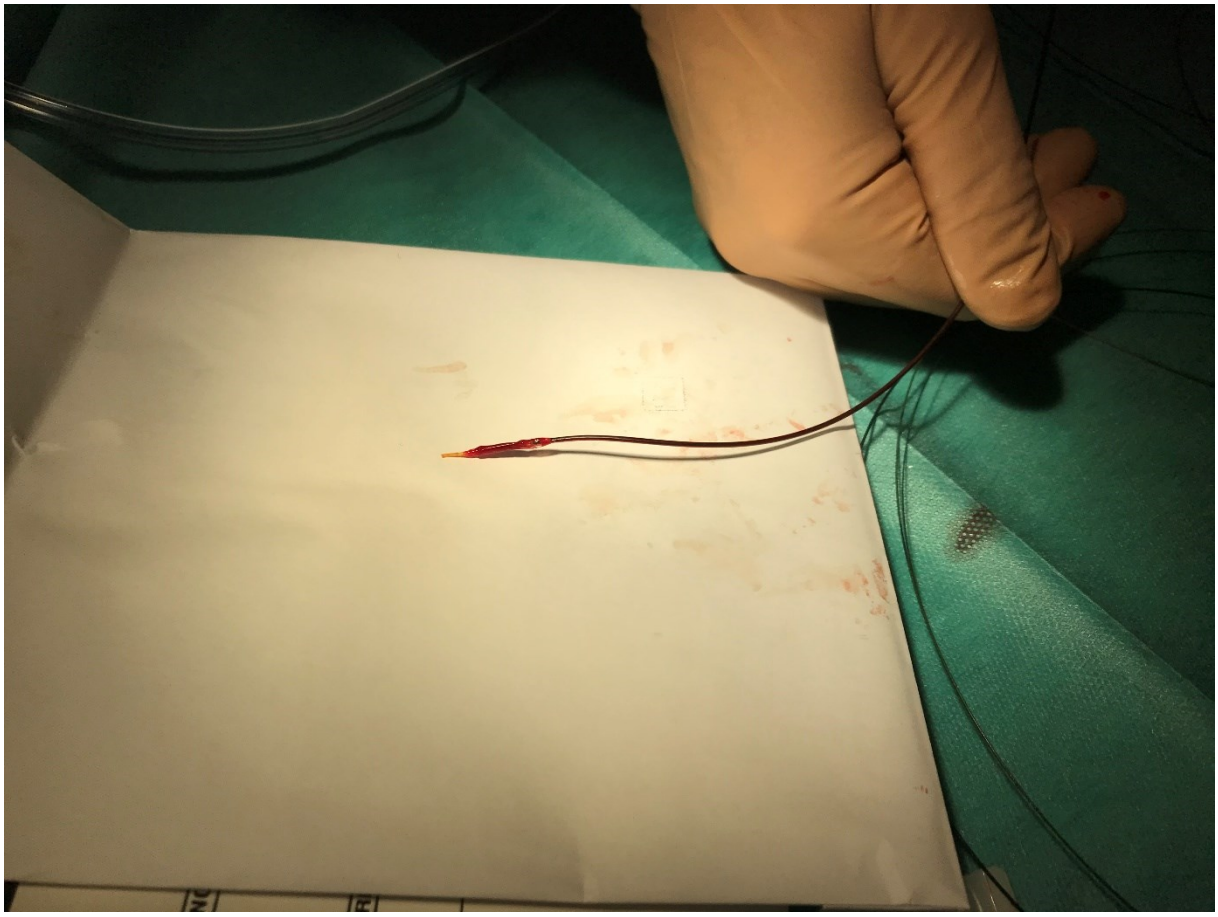
Okluder pro uzávěr patentního foramen ovale před použitím



Příprava okludéru pro uzávěr patentního foramen ovale ve fyziologickém roztoku

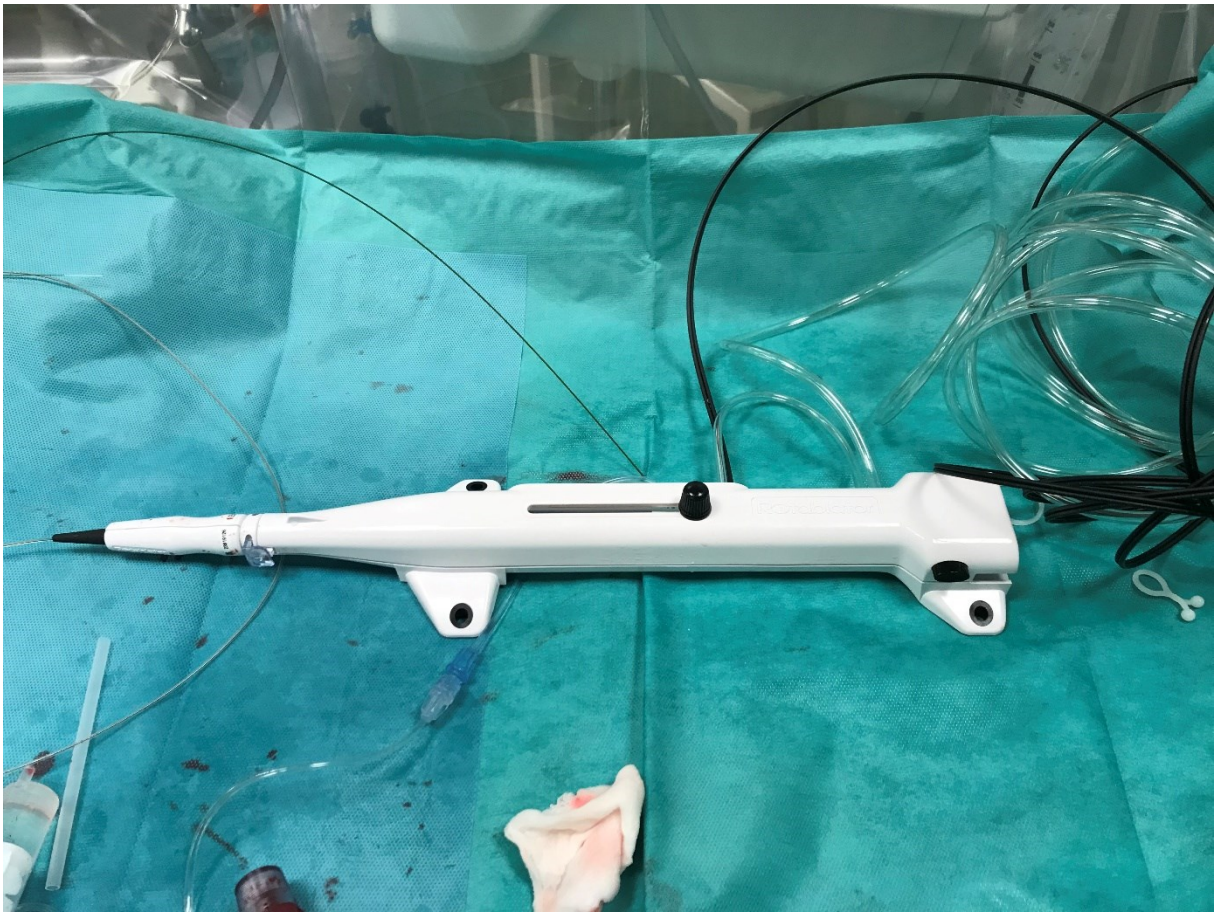
Ztažení okluderu pro uzávěr patentního foramen ovale do speciálního zavaděče

Konzole a balónkový katetr Shockwave pro intravaskulární litotrypsi

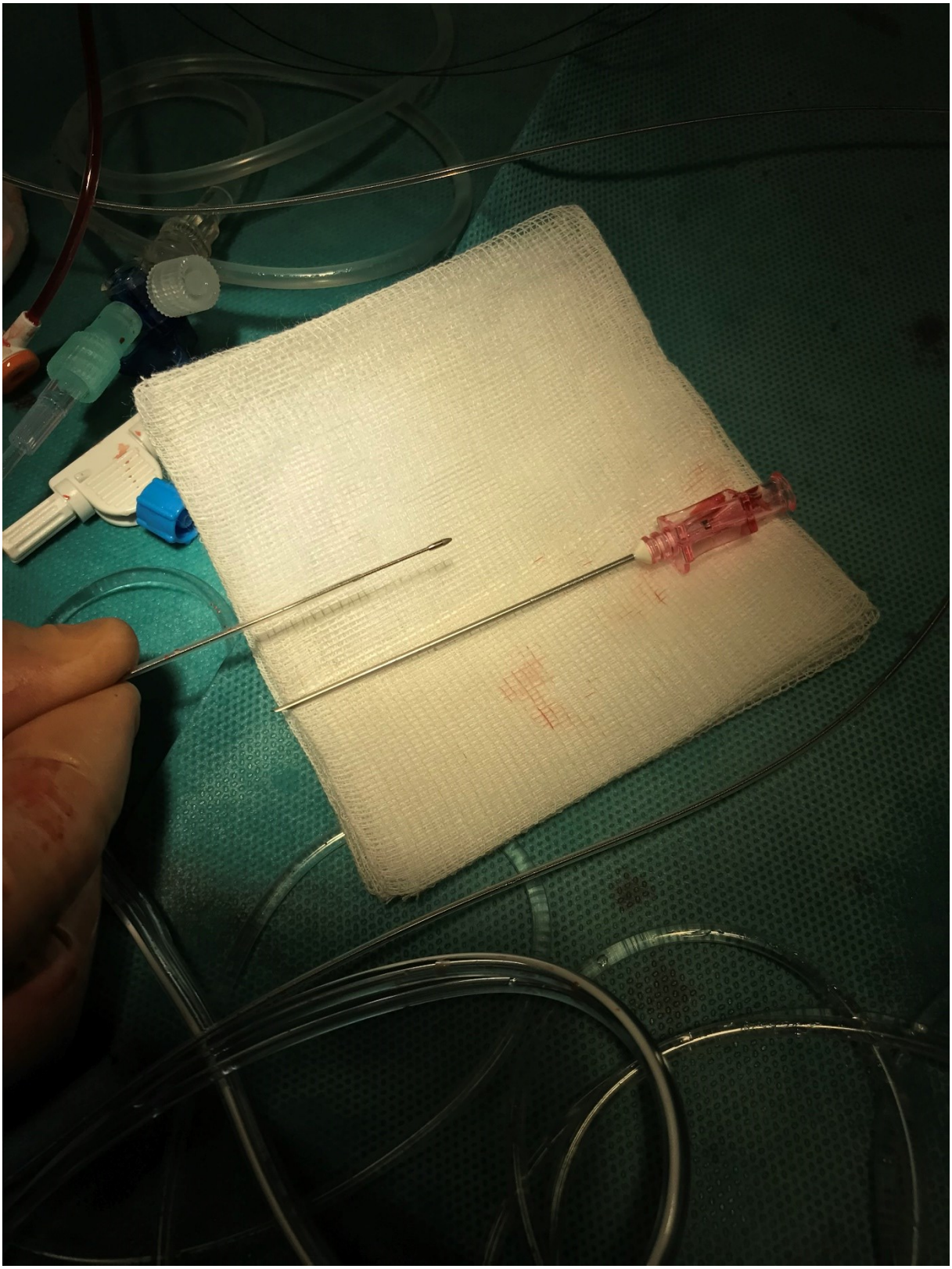


Detailní záběr na balónek Shockwave po použití

Konzole pro rotační aterektomii



Katetr pro rotační aterektomii



Rotablační burr ve srovnání s punkční femorální jehlou

ECMO přístroj

Zavádění VA ECMA za kontinuální KPR

**Univerzita Karlova, 1. lékařská fakulta**

**Kateřinská 32, Praha 2**

**Prohlášení zájemce o nahlédnutí do závěrečné práce absolventa studijního programu**

**uskutečňovaného na 1. lékařské fakultě Univerzity Karlovy.**

Jsem si vědom/a, že závěrečná práce je autorským dílem a že informace získané nahlédnutím do zpřístupněné závěrečné práce nemohou být použity k výdělečným účelům, ani nemohou být vydávány za studijní, vědeckou nebo jinou tvůrčí činnost jiné osoby než autora.

Byl/a jsem seznámen/a se skutečností, že si mohu pořizovat výpisy, opisy nebo kopie závěrečné práce, jsem však povinen/a s nimi nakládat jako s autorským dílem a zachovávat pravidla uvedená v předchozím odstavci.

| **Příjmení, jméno (hůlkovým písmem)** | **číslo dokladu totožnosti vypůjčitele (např. OP, cestovní pas)** | **Signatura závěrečné práce** | **Datum** | **Podpis** |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |