

**Univerzita Karlova
Lékařská fakulta v Plzni**

Dizertační práce

Plzeň 2019

Jiří DOSTÁL

Univerzita Karlova
Lékařská fakulta v Plzni

Studijní program: Chirurgie

Chirurgická problematika mozkové ischemie

Flowmetrie v klinické praxi a experimentu

Dizertační práce

Školitel: doc. MUDr. Vladimír Přibáň, Ph.D.
Neurochirurgická klinika LF UK v Plzni a FN Plzeň

Plzeň, 2019

MUDr. Jiří Dostál (Autor)
Neurochirurgická klinika LF UK v Plzni a FN Plzeň

Prohlášení:

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

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

V Plzni, 7.6.2019

Poděkování

Děkuji školiteli doc. MUDr. Vladimíru Přibáňovi, Ph.D. za vedení práce a konzultace.

Děkuji Ing. Pavlu Kleinovi, Ph.D. (Biomedicínské centrum LF UK v Plzni) za umožnění a pomoc s provedením experimentu, za anestezii a péči o zvířata, za zpracování statistiky a konzultace.

Děkuji Mgr. Tereze Blassové, Ph.D. (Ústav histologie a embryologie LF UK v Plzni) za histologické vyšetření anastomóz.

Děkuji prof. MUDr. Mgr. Zbyňkovi Tonarovi, Ph.D. (Ústav histologie a embryologie LF UK v Plzni) za záštitu histologického vyšetřování.

Děkuji prof. MUDr. Martinu Matějovičovi, Ph.D. (I. interní klinika LF UK v Plzni) za zapůjčení modulu flowmetru.

Tato dizertační práce vznikla za podpory grantu MZ ČR – RVO (Fakultní nemocnice Plzeň – FNPI, 00669806)

Obsah

Poděkování.....	4
Obsah	5
Úvod.....	7
A. Obecná část.....	8
A.1 Historie cerebrovaskulární chirurgie.....	9
A.2 Anatomie mozkových cév.....	11
A.2.1 Přední mozkové povodí	12
A.2.2 Zadní mozkové povodí	16
A.3 Fyziologie mozkového krevního oběhu.....	18
A.3.1 Autoregulace krevního zásobení mozku.....	19
A.4 Vybrané cévní patologie.....	20
A.4.1 Nemoc Moyamoya.....	20
A.4.2 Aterosklerotické onemocnění vnitřní karotidy	23
A.5 Vyšetřovací metody mozkové ischemie	26
A.5.1 Nativní CT mozku.....	26
A.5.2 CT perfuze	26
A.5.3 PET OEF.....	27
A.5.4 Magnetická rezonance	29
A.5.5 MRI NOVA (Non-invasive Optimal Vessel Analysis)	30
A.5.6 Peroperační motorické evokované potenciály	30
A.6 Balón okluzní test	33
A.7 Transit Time Flowmetrie	34
A.8 EC-IC Bypass.....	39
A.8.1 Flow preservation.....	40
A.8.2 Flow augmentation.....	41
A.9 Technické aspekty mikrovaskulární anastomózy	44
A.9.1 Provedení mikroanastomózy.....	44
A.9.2 Použití štěpu.....	50
A.9.3 Allenův test.....	51

A.9.4	Komplikace mikroanastomózy	52
A.9.5	End-to-end anastomóza.....	56
A.9.6	End-to-side anastomóza	57
B.	Klinická část.....	61
B.1	Flowmetrie u operací mozkových aneuryzmat	62
B.1.1	Úvod	62
B.1.2	Soubor a metodika.....	63
B.1.3	Výsledky.....	66
B.1.4	Diskuze.....	68
B.1.5	Závěr.....	71
B.2	Flowmetrie u mozkových bypassů.....	72
B.2.1	Flow Augmentation.....	72
B.2.2	Flow Preservation.....	81
C.	Experimentální část.....	88
C.1	End-to-end anastomóza na karotickém modelu potkana	89
C.1.1	Úvod.....	89
C.1.2	Soubor a metodika	90
C.1.3	Výsledky	98
C.1.4	Diskuze	104
C.1.5	Závěr	106
C.1.6	Přílohy.....	107
	Souhrn.....	113
	Summary.....	114
	Literatura.....	115
	Seznam zkratk	123
	Seznam obrázků a tabulek	124
	Publikační a prezentační aktivita ve vztahu k práci.....	126

Úvod

Cerebrovaskulární chirurgie je významnou součástí neurochirurgie. Jestliže v neurochirurgii obecně platí, že chyby operátora nejsou prominuty, pak v oblasti cerebrovaskulární to platí obzvláště. Vlastní intrakraniální cévní operace se datují od 30. letech 20. století, extrakraniální výkony (operace karotid) pak od 50. let 20. století. Zásadní vliv na snížení morbidit a mortality mělo zavedení operačního mikroskopu a mikrochirurgické techniky v 60. letech. Za dalších asi 20 let byl zaznamenán nástup intervenční radiologie, která se stala komplementární a někdy kompetitivní při chirurgické léčbě cévních onemocnění mozku. Její prudký rozvoj na počátku 21. století byl podpořen intenzivním pokrokem ve vývoji nových technologií a mohlo by se zdát, že klasická cévní mikroneurochirurgie je na ústupu. Důvody, proč tomu tak není, jsou dva. Za prvé některé komplexní léze jsou mimo možnosti ošetření intervenční radiologií. Za druhé technologický pokrok, vedoucí ke zlepšování výsledků, probíhá i na poli klasické mikroneurochirurgie.

Zavedení intraoperační monitorace posloužilo k bezpečnému operování mozkových aneuryzmat. Rutinně je používána ICG videoangiografie (ICG VA), která nahradila peroperační konvenční angiografii. ICG VA je schopna kvalitativně posoudit průtok krve v magistralních tepnách a perforátorech v oblasti zaklipovaného aneuryzmatu, zobrazí i absenci plnění aneuryzmatu krví. Vlastnosti duplexní ultrasonografie (DUSG) se částečně překrývají s ICG. Nemožnost zobrazit perforátory a větší subjektivita vyšetření vedly k tomu, že ultrasonografie při cévních operacích není na našem pracovišti využívána. Zejména u výdutí střední mozkové tepny je peroperační elektrofyziologická monitorace, konkrétně motorické evokované potenciály, které detekují přenos impulzů motorickou dráhou. Flowmetrie (transit-time flow measurement, TTF) je jedinou metodou, která dokáže průtok magistralních tepen posoudit kvantitativně. Za pomoci této metody je chirurg schopen predikovat dlouhodobou průchodnost EC-IC bypassu (*Amin-Hanjani, S. et al., 2005*). Pomocí TTF lze posoudit i průtok experimentální anastomózou při různém typu sutury. To má potenciálně praktický význam pro mikrochirurgii v obecné rovině, zejména v plastické chirurgii a neurochirurgii. V naší práci jsme se zaměřili na klinické využití flowmetrie v operativě elektivních aneuryzmat střední mozkové tepny a dále v experimentu při posouzení vlivu typu sutury na průtok mikroanastomózou.

A. Obecná část

A.1 Historie cerebrovaskulární chirurgie

Okluzivní nemoc karotid byla popsána v roce 1658 Johann Jakobem Wepferem a vertebrálních tepen 1665 Thomasem Willisem. Ten je autorem publikace *Cerebri anatome*, v níž popisuje tepenný okruh na bázi – circulus arteriosus Willisii (*Arráz-Aybar, L. A. et al., 2015*).

První pokusy s cévními anastomózami začaly v 19. století. Nicholas Eck prováděl portokavální side to side anastomózy psů. Na přelomu 19. a 20. století francouzský chirurg Alexis Carrel začal provádět end-to-end cévní anastomózy s použitím tzv. triangulační techniky. Za svou práci v oblasti cévní a transplantační chirurgie obdržel roku 1912 Nobelovu cenu za medicínu.

První přímou cerebrovaskulární operací na výdutí byl wrapping (obalení svalem) aneuryzmatu mozkové tepny Normanem Dottem z Edinburghu v roce 1933. První obliterace mozkové výdutě byla provedena v roce 1937 Walterem Dandym. Švéd Olivercrona byl pionýrem v operativě arteriovenózních malformací a jako první začal používat k uzávěru aneuryzmat opakovaně otevíratelný klip. Dokonalé poznání bazálních cisteren a zavedení mikrochirurgické operativy s využitím mikroskopu Yasargilem v 60. letech 20. století znamenalo revoluci v neurochirurgii a výrazně zlepšilo prognózu operovaných pacientů. Od roku 1990 je alternativou otevřené operace mozkové výdutě endovaskulární obliterace koily.

První úspěšná operace karotické stenózy proběhla roku 1951 v argentinském Buenos Aires. Neurochirurg Raul Carrea a jeho tým přetnuli zúženou vnitřní karotidu nad místem stenózy a provedli její anastomózu na zevní karotickou tepnu. Americký cévní chirurg Michael DeBakey publikoval v roce 1975 článek, ve kterém popisuje svou první karotickou endarterektomii z podélné arteriotomie z roku 1953 (*DeBakey, M. E., 1975*). První publikace o karotické endarterektomii je z roku 1954. Harry H. Eastcott v ní prezentuje operační léčbu stenotické vnitřní karotidy vytnutím postižené části a opětovnou primární end-to-end rekonstrukcí tepny. První zmínka o everzní endarterektomii je z roku 1956 a provedl ji Denton Cooley.

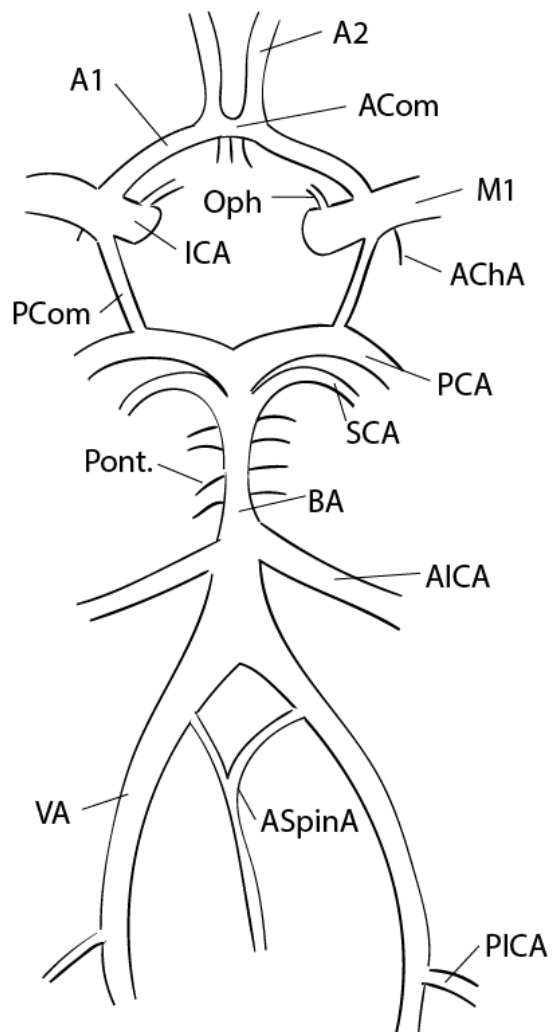
První experimenty s revaskularizací mozku začaly ve 30. a 40. letech 20. století pokusy o encefalomyosynangiózy na primátech a později u člověka. Metoda neměla příznivé výsledky a nebyla zařazena do rutinní praxe. Donaghy a Yasargil po společném experimentálním

tréninku v Burlingtonu (USA) provedli low-flow EC-IC bypass v roce 1967 paralelně v USA a v Evropě.

V současnosti zažívá obor cévní neurochirurgie rozvoj daný vyspělou technikou a novými poznatky. Některé z nich budou předmětem následujících kapitol.

A.2 Anatomie mozkových cév

První anatomické popisy mozkového cévního řečiště se datují do 17. století. Na začátku 20. století došlo k významnému zpřesnění a popisu drobných cév a s nimi spojených syndromů. Cévní řečiště mozku vykazuje významnou variabilitu mezi různými jedinci. Mnoho neurochirurgických výkonů vyžaduje přesné vyšetření mozkových tepen.



Obr. 1. Willisův tepenný okruh. A1 – A1 segment ACA. A2 – A2 segment ACA. ACom – Arteria communicans anterior. Oph – Arteria ophtalmica. ICA – Arteria carotis interna. M1 – M1 segment MCA. AChA – Arteria choroidea anterior. PCom – Arteria communicans posterior. PCA – Arteria cerebri posterior. SCA – Arteria cerebellaris superior. Pont. – Pontinní tepénky. BA – Arteria basilaris. ASpinA – Arteria spinalis anterior. VA – Arteria vertebralis. AICA – Arterica cerebellaris anterior inferior. PICA – Arteria cerebellaris posterior inferior.

A.2.1 Přední mozkové povodí

Vnitřní karotická tepna

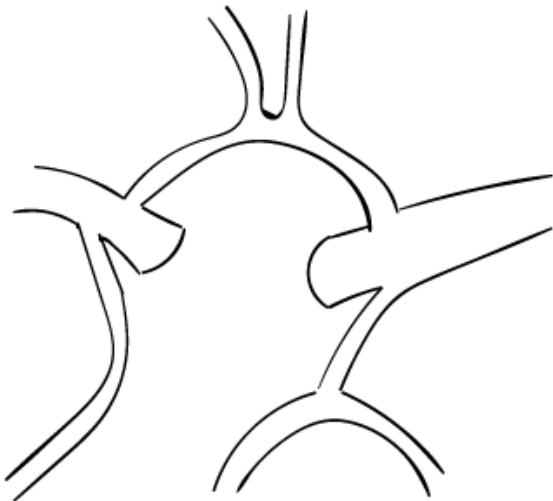
Vnitřní karotida (ICA) vstupuje do lebky karotickým kanálem, probíhá pyramidou, a vstupuje intrakraniálně skrz foramen lacerum. Po krátkém průběhu při okraji tureckého sedla vstupuje tepna do kavernózního splavu. V kavernózním splavu vydává množství drobných větví. V 15 % případů zde může odstupovat oftalmická tepna. V kavernózním splavu probíhá ICA karotickým sulcem kosti klínové a vystupuje po výstupu ze splavu probíhá skrytá mediálně za klinoidním výběžkem. Zde vstupuje intradurálně do karotické cisterny, kde se stáčí laterálně ke své bifurkaci. Probíhá laterálně od nervus opticus, který může vzácně komprimovat (*Jacobson, D. M., 1999*). ICA v karotické cisterně vydává oftalmickou tepnu, zadní komunikující tepnu (PCom), horní hypofyzeální tepnu, přední choroidální tepnu a nekonstantně drobné durální větve. Ve svém konečném průběhu se dělí na střední a přední mozkovou tepnu (MCA, ACA). Ve celém svém intrakraniálním průběhu má ICA na povrchu autonomní nervový plexus. Přítomnost vasa vasorum na povrchu ICA v oblasti karotické cisterny není fyziologické a může být známkou aterosklerotického postižení.

Vnitřní karotida se dělí dle Van Loverena na základě svého průběhu do následujících segmentů (*Bouthillier, A., et al., 1996*):

- C1 – Cervikální segment
- C2 – Petrózní segment
- C3 – Segment foramen lacerum
- C4 – Kavernózní segment
- C5 – klinoidní segment
- C6 – oftalmický segment
- C7 – komunikující segment

Zadní komunikující tepna

Zadní komunikující tepna přestupuje z karotické cisterny do interpedunkulární cisterny, kde probíhá v úzkém vztahu s třetím hlavovým nervem v arachnoidálním rukávci. Vydává množství drobných větví – předních thalamoperforujících artérií. Stupeň vývinu PCom vykazuje značnou variabilitu. Hypoplastická je asi ve 25 % případů, kompletní aplazie je přítomna asi ve 4 % (Gunnal, S., et al., 2018).



Obr. 2. Fetální mozková cirkulace. Je přítomna aplazie P1 (zde vlevo) a P2 je přímým pokračováním PCom.

Střední mozková tepna

ICA se v karotické cisterně laterálně od chiasma opticum dělí na ACA a MCA. Střední mozková tepna se dá považovat za větev bifurkace ICA nebo za přímé pokračování její mateřské tepny. MCA vstupuje mezi čelní a spánkový lalok do Sylviovy cisterny jako horizontální segment M1. Po různě dlouhém průběhu se ohýbá v úhlu až 90 stupňů kranálně a dělí se na spodní a horní větev M2. Ty probíhají na povrchu insulární kůry. Spodní větev může být skrytá pod temporálním operkulem. M3 segment vystupuje z insuly na povrch mozkové hemisféry a označuje se jako operkulární segment. Segment M4 jsou drobné terminální kortikální větve.

MCA vydává v segmentech M1 a M2 množství klinicky významných větví. Lze je rozdělit do skupin dle laloku který zásobují nebo dle orientace jejich odstupu.

Temporální větve vykazují značnou variabilitu. Lze zaznamenat nejčastěji tři větve. Jsou jimi unikální, temporopolární a přední temporální větev. Pokud je nějaká z větví aplastická, sousední větev přebírá její funkci a dochází k její hyperplazii.

Lentikulostriatní větve zásobují zejména bazální ganglia, vnitřní kapsulu, přední komisuru a substantia innominata. Důsledkem jejich uzávěru je ischemie hlubokých struktur s kontralaterální hemiparézou.

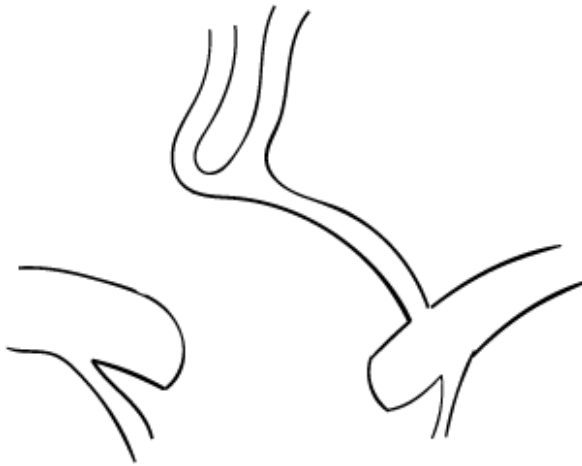
Komplex přední mozkové tepny

Komplex přední mozkové tepny se typicky skládá ze dvou předních mozkových tepen (ACA), jedné přední komunikující tepny (ACom) a dvou rekurentních Heubnerových tepen. ACA se dá rozdělit do segmentu A1, který sahá od jejího odstupu z ICA až k ACom, dále A2 od ACom k bifurkaci ACA a A3-5, jímž je arteria pericallosa. Obě ACA jsou fyziologicky spojeny ACom a poměr krevního průtoku obou stran je přibližně vyrovnaný. Variabilita komplexu přední komunikující tepny je vysoká, typický anatomický obraz s plně vyvinutými všemi tepnami komplexu má asi 60 % mužů a 46 % žen (*Krzyżewski, R. M., et al., 2014*).

Proximální oddíl A1 se nazývá též prekomunikující segment. Je menší než druhá větev karotidy MCA. Po odstupu z ICA prochází do cisterny laminae terminalis. Ve svém průběhu vydává několik menších větví – perforujících arterií (mediální lentikulostriatní arterie). Heubnerova rekurentní tepna typicky odstupuje z proximální části A2 segmentu, ale v 10 % případů může odstupovat z distálního segmentu A1. V případě, že je jednostranná A1 hypoplastická nebo aplastická, může být průměr druhostranné A1 kompenzačně zvětšený i nad rozměr MCA. Jednostranná aplazie či hypoplazie A1 je relativně častá anomálie. Unilaterální aplazie A1 je přítomna asi v 5-6 % případů, hypoplazie A1 v asi 7 % případů (*Krzyżewski, R. M., et al., 2014*). Graficky přítomná aplazie se často peroperačně ukáže jako hypoplazie. Tato anomálie může být podle některých studií spojena se zvýšeným rizikem vzniku aneuryzmatu ACom (*Krzyżewski, R. M., et al., 2014. Rinaldo, L., et al., 2017, Krasny, A., et al., 2013*).

Přední komunikující tepna je krátká spojka mezi levo a pravostrannou ACA. Směr toku krve v ní je závislý na průtoku v obou ACA. Často dochází k dominanci jedné ACA. Směrem dozadu a dolů vydává tepna drobné perforátory směřující k chiasmatu a infundibulu, odkud pokračují parenchymem k hypothalamu. Hypoplazie ACom je přítomna asi v 5 % případů, aplazie až ve 20 % (*Krzyżewski, R. M., et al., 2014*). V embryonálním období se ACom vyvíjí jako několik drobných tepének, které se v průběhu zrání plodu spojí. Fenestrace (zdvojení) ACom není častá, výskyt se odhaduje u 0,5 % pacientů.

A2 segment začínající v úrovni ACom vstupuje společně s druhostrannou tepnou do interhemisférické rýhy, do cisterny corpus callosum, a kopíruje její průběh. Ve své proximální části vydává A2 v 90 % Heubnerovu rekurentní artérii. V asi 1-3 % případů lze zaznamenat tři A2 tepny (trifurkaci), ve 2 % případů je možná jedna A2 společná pro obě hemisféry (ACA azygos) (Krzyżewski, R. M., et al., 2014. Uchino, A., et al., 2006). Při průběhu dvou a více A2 tepen může jejich povodí přecházet na kontralaterální hemisféru. Segment A2 je zakončen bifurkací, kde se tepna dělí na arteria pericallosa a arteria callosomarginalis. Vlastním pokračováním A2 je arteria pericallosa, označovaná jako A3-5 segment. Arteria callosomarginalis je odstupem z ACA. A. pericallosa kopíruje průběhem horní stranu corpus callosum a vydává větve pro mediální oblasti frontálního, parietálního a okcipitálního laloku, corpus callosum a pro bazální ganglia. Může anastomózovat s větvemi zadní mozkové tepny.



Obr. 3. Aplazie A1 ACA vlevo.

A.2.2 Zadní mozkové povodí

Vertebrální tepna

Párová vertebrální tepna (VA) odstupuje na každé straně z arteria subclavia, vstupuje do transverzálního otvoru obratle C6 a stoupá v dalších transverzálních otvorech krčních obratlů až do obratle C1. Po výstupu z páteře vytváří různě velkou kličku, prochází v laterální části atlantookcipitální membrány a vstupuje velkým týlním otvorem intrakraniálně a intradurálně. Cerebellomedulární cisternou stoupá po přední ploše mozkového kmene. S druhostrannou VA se spojuje nejčastěji na spodní hranici Varolova mostu a vytváří jednu bázilární tepnu (BA). Někdy může jako BA pokračovat pouze jednostranná VA a druhostranná VA přechází v zadní spodní mozečkovou tepnu (PICA).

PICA je větví VA s variabilním místem odstupu v cerebellomedulární cisterně. Po svém odstupu vytváří kličku, stáčí se kaudálně a kříží nervy postranního smíšeného systému. Po sestupu k bázi lebny vytváří další kličku a prochází kolem mozečkové tonsily do cisterna magna. Tam se stáčí opět kraniálně a stoupá až k velu čtvrté komory. Ve svém průběhu zásobuje kreví mozeček, prodlouženou míchu a choroidní plexus čtvrté komory.

Bazilární tepna

Po spojení obou VA stoupá z nich vzniklá BA v prepontinní cisterně na ventrální straně mozkového kmene. Dále prochází do interpedunkulární cisterny, kde se dělí na dvě zadní mozkové tepny (PCA). S postupujícím věkem se může bifurkace vlivem elongace tepny posouvat až do těsné blízkosti třetí komory. Drobnými perforujícími tepnami odstupujícími z BA je zásoben Varolův most a mesencephalon. Většími odstupy jsou přední spodní mozečková tepna (AICA), horní mozečková tepna (SCA) a dvě PCA. Je popsáno několik perzistujících embryonálních spojek mezi ICA a BA – jsou jimi optická, trigeminální, proatlantální a primitivní trigeminální tepna.

AICA odstupuje většinou z kaudální třetiny BA. Oblast jejího zásobení je variabilní a překrývá se s povodím PICA. Obtáčí pons, kříží nervus trochlearis a sestupuje do cerebellopontinní cisterny. Často sleduje část průběhu sedmého a osmého hlavového nervu k vnitřnímu meatu, kde vydává větev do vnitřního ucha. Jedná se o labyrintovou arterii, která poskytuje krevní zásobení pro vnitřní ucho a vestibulární aparát. Dále vytváří kličku a stáčí se k mozečkovému pedunklu, který zásobuje. Její konečné větve přechází na mozeček. Ve svém průběhu AICA vydává také perforátory, podílející se na zásobení pontu.

SCA má nízkou variabilitu odstupů a průběhu. Její aplazie je velmi vzácná. Odstupuje z bazilárního hrotu těsně proximálně před odstupem PCA. Probíhá pod třetím hlavovým nervem, který je mezi ní a PCA. Z interpedunkulární cisterny prochází do ambientní cisterny, kde se dělí na dvě větve – mediální a laterální. Jedna z těchto větví zde může křížit nervus trigeminus. Pokud na nerv naléhá dostatečně blízko výstupu nervu z mozkového kmene v oblasti jeho přechodové zóny, může drážděním pulzacemi působit neuralgii trigeminu. Dále obě větve tepny probíhají dorzálně, ve svém průběhu kříží nervus trochlearis, bazální Rosenthalovu žílu a PCA. Laterální větev pak zásobuje superolaterální část mozečkových hemisfér, mediální větev vstupuje do quadrigeminální cisterny, kde míří mediálně a zásobuje vermis. Blízké větve AICA a PICA spolu mohou anastomózovat.

Zadní mozková tepna

PCA po svém odstupu z BA probíhá jako segment P1 nad okohybným nervem a spojuje se s PCom. Asi 15-22 % jedinců mají fetální odstup PCA – P1 segment je hypoplastický a hyperplastická PCom přechází přímo v P2 segment. PCom je v tomto případě považována za odstup z ICA (*Love, B. B., 2007*). Distálně od spojení s PCom obtáčí tepna mozečkový pedunkl a vstupuje do ambientní cisterny. Probíhá pod bazální Rosenthalovou žílou a nad hranou tentoria, trochleárním nervem a SCA. Vydává perforátory zásobující kortikospinální a kortikobulbární dráhu, struktury mesencefala včetně nucleus ruber a substantia nigra, dále thalamus, stěny třetí komory, fornix, nucleus caudatus a choroidní plexus postranních komor. V segmentu P3 přechází odstupem spodních temporálních větví. Jako P3 vstupuje do quadrigeminální cisterny, kde se terminálně větví do P4 segmentu. Větve odstupující z P3 segmentu mohou anastomózovat s větvemi A3 ACA. Z terminálních segmentů PCA je nejčastěji zásoben okcipitální lalok.

A.3 Fyziologie mozkového krevního oběhu

Mozek vyžaduje trvalý přísun kyslíku a živin. Energetickou náročnost charakterizuje spotřeba 20 % O₂ a 15 % srdeční výdeje. Krev je do mozku za fyziologických okolností přiváděna čtyřmi tepnami – dvěma vnitřními karotickými tepnami (ICA) a dvěma vertebrálními tepnami (VA). Dvě VA vystupují ze svého průběhu obratlí pod bází, obtáčí prodlouženou míchu a na přední straně se spojují v jednu bazilární tepnu (BA), která po přední straně mozkového kmene probíhá na bázi lebni. Intrakraniálně na spodině lebni je povodí všech těchto čtyř velkých cév spojeno dohromady do tzv. Willisova tepenného okruhu. Tento anastomotický okruh vykazuje mezi jednotlivci variabilitu, která může být klinicky za určitých okolností významná (obr. 2, 3). V případě uzávěru některé přívodné tepny dojde ke změně směru toku krve okruhem. Vlivem anatomického uspořádání a funkce autoregulace mozkového průtoku je kolateralizací dosaženo kompenzace prokrvení.

Mozková cirkulace spotřebuje 10-15 % srdečního výdeje. Většina krve v mozku je představována objemem v durálních sinech a piálních cévách. Mozkové žíly obsahují malé množství krve, které je klinicky významné. Poskytuje okamžitou kompenzaci v případě zvyšujícího se intrakraniálního tlaku. Větší kompenzaci při nárůstu nitrolebního tlaku poskytují přesuny mozkomíšního moku, které se ale odehrávají pomaleji. Za normální situace se vyskytuje intrakraniálně 50-75 ml krve. Šedá hmota mozková (tvořena vlastními neurony) má vyšší požadavky na prokrvení než bílá hmota (tvořena jejich axony).

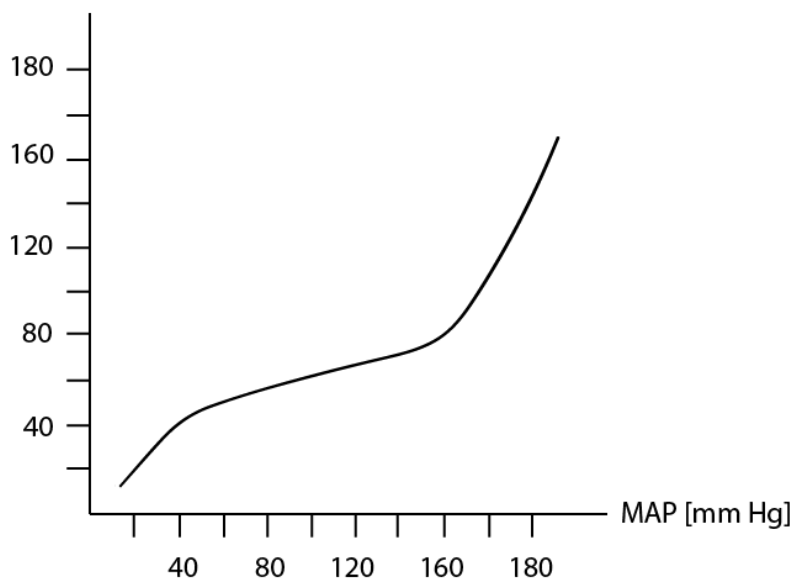
K zamezení vzniku ischemického poškození mozku, musí být udržena dostatečná perfuze, mimo jiné vlivem krevního tlaku. Mozkový perfuzní tlak (CPP) je střední arteriální tlak v daný moment po odečtení intrakraniálního tlaku ($CPP = MAP - ICP$). CPP lze také vyjádřit jako tlakový gradient daný mozkovým krevním průtokem ($CBF = CPP / CVR$). Při CPP v rozmezí 50-150 mm Hg je zachován stabilní průtok krve mozkem (CBF). Normální CBF je průměrně zhruba 55ml/min/100 g mozkové tkáně. Při poklesu pod 20ml/min/100 g ustává synaptický přenos, při poklesu pod 16ml/min/100 g mizí výbavnost evokovaných potenciálů a při poklesu pod 12ml/min/100 g může při jeho delším trvání dojít k nevratnému poškození mozkové tkáně. Pokud naopak dojde k dlouhodobému zvýšení CPP nad hranici 150 mm Hg, hrozí riziko vzniku mozkového krvácení, ale dochází i k poruše role hematoencefalické bariéry a následnému riziku vzniku edému mozku.

A.3.1 Autoregulace krevního zásobení mozku

Mozek se fyziologicky snaží udržet si za všech okolností potřebný průtok. Reaguje na mechanické stimuly – změny v srdečním výdeji, systémovém tlaku, mozkovém perfuzním tlaku, i na změny způsobené vlivem gravitace při vertikální či horizontální poloze těla. Dále reaguje na chemické podněty jako je parciální tlak kyslíku a oxidu uhličitého v krvi. Za normálních okolností dochází při vzestupu CPP k vazokonstrikci mozkových cév a při poklesu CPP k jejich vazodilataci. Tento systém reakcí se nazývá cerebrovaskulární reaktivita.

Při poruše mozkové autoregulace není mozek schopen adekvátně reagovat na změny systémového tlaku. K této situaci může dojít akutně poklesu CPP pod 50 mm Hg nebo chronicky při dlouhodobé poruše perfuze, kdy mozkové cévy ztratí schopnost regulace svého průsvitu a neodpovídají na vazodilatační stimuly organismu.

CBF [ml/100 g/min]



Průsvit arteriál v závislosti na změně MAP

Obr. 4. Mozek je schopen udržovat dostatečný krevní oběh v rozsahu středního arteriálního tlaku (MAP) asi 50–150 mm Hg.

A.4 Vybrané cévní patologie

A.4.1 Nemoc Moyamoya

Nemoc Moyamoya je vzácné progresivní onemocnění, způsobující okluzi magistrálních tepen mozku. Název pochází z japonštiny a v překladu znamená „obláček kouře“. Odkazuje na charakteristický obraz novotvořených drobných cév na angiogramu – kolateralizace stenotických úseků. Postiženy jsou cévy Willisova okruhu a přívodné cévy – karotidy a vertebrální tepny. Idiopatická forma postihující obě strany cévního řečiště se označuje jako nemoc Moyamoya. Sekundární forma způsobená jiným onemocněním je nazýváno syndromem Moyamoya, může být jednostranná. Metodou volby léčby je chirurgická revaskularizace.

První zmínka o nemoci je z 1957 z Japonska (*Takeuchi, K., 1957*), podrobnější popis a název byl publikován v 1969 (*Suzuki, J., 1969*). S největší pravděpodobností je onemocnění způsobeno proliferací hladké svaloviny ve stěně tepen a ztlušťováním tunica intima, predominantně ICA, ACA a MCA (*Chmelova, J., et al., 2010*). Počet zkoumaných vzorků je omezený.

Jedná se převážně o onemocnění mladého věku – postiženy jsou většinou děti a mladí dospělí. Druhý vrchol výskytu je popisován ve východoasijské populaci ve čtvrté dekádě života (*Fukui, M., 1997*). Největší výskyt je v Japonsku, incidence je 0,35 případů na 100.000 obyvatel, téměř dvakrát častěji jsou postiženy ženy (*Wakai, K., et al., 1997*). Četnost onemocnění v západní populaci je výrazně nižší. Familiární podklad byl v Japonsku zjištěn u 10-15 % případů.

Příčina není známa. Onemocnění je multifaktoriální, familiární forma byla popsána, ale netvoří většinu případů. Byly popsány genetické charakteristiky, které jednotlivce k tomuto onemocnění mohou predisponovat (*Guey, S., 2015*).

Příznaky onemocnění jsou odvislé od fáze onemocnění. V časně fázi onemocnění jde o bolesti hlavy, které mohou být způsobeny novotvořenými kolaterálami. Jak kolaterály, tak drobné hemoragie jejich patologickou stěnou mohou být zodpovědné za lokální útlak mozkové tkáně. Dilatované kolateralizující durální cévy mohou taktéž způsobovat migrenózní bolesti. Pozdější fáze nemoci většinou napodobují symptomy klasické symptomatické stenookluzivní nemoci karotid. S chronickou hypoxií je spojován zvýšený výskyt poruchy kognitivních funkcí a epilepsie u dětí. Závažným nebezpečím je zvýšená šance rozvoje aneuryzmatu mozkové tepny v blízkosti kolateralizujících cév, zřejmě vlivem změny hemodynamiky

(Kim, J. H. et al., 2018). Příznaky odpovídající cévní mozkové příhodě bývají u dospělých závažnější a trvalejší než u dětí (Zipfel, G., 2008).

Dle Suzukiho klasifikace se průběh onemocnění dá rozdělit do šesti fází (Tab. 1). V tomto skórovacím systému je zohledněn stav ICA a kolateralizace. Některými autory byl kritizován za nedostatečné zohlednění stavu hemodynamiky celého mozkového parenchymu (Hung, S.-C., et al., 2014). Prognóza závisí na chování choroby, nejtěžší morbidita a mortalita onemocnění je způsobena hemoragiemi.

Diagnostika je založena na charakteristických známkách onemocnění. Stenóza vnitřních karotid je dobře patrná i na CT angiografii. Neovaskularizace tvaru obláčku dýmu na DSA značí vytvořené jemné kolaterály a je patognomickým znakem onemocnění. Konvenční DSA zůstává zlatým standardem diagnostiky. Vyšetření MRI podává informaci o stavu mozkové tkáně, zobrazuje i drobné proběhlé ischemie a hemoragie a vzhledem k věku nemocných je vhodnou metodou pro další jejich sledování.

DSA není metodou volby pro další sledování pacientů vzhledem k radiační zátěži a invazivitě procedury. Předoperačně je ale považována za nezbytnou. Je nejpřesnějším zobrazením stávajícího cévního řečiště mozku včetně drobných kolaterál. Při operaci je nezbytné tyto kolaterály znát a vyhnout se jejich porušení. V pozdních fázích onemocnění jsou pro zajištění přísunu krve mozku klíčové.

Úspěšnost prevence mozkové ischemie mozkovým bypassesem nebyl zkoumán randomizovanou kontrolovanou studií, ale z ostatních provedených studií vyplývá benefit operace (Esposito, G., et al., 2016). Indikací k operačnímu řešení je symptomatická nemoc s porušenou mozkovou hemodynamikou. V tomto případě je metodou volby chirurgický výkon. Farmakologická léčba je neuspokojivá a slouží pouze jako podpůrná terapie. V případě prodělané cévní mozkové příhody lze podávat antiagregaci, v případě hemoragie je nutné udržovat arteriální normotenzi. Antiagregační terapie může zvyšovat riziko krvácení. Nemoc Moyamoya není oficiálně schválenou indikací k jejímu podávání.

K revaskularizaci ischemické hemisféry je používáno množství chirurgických metod. Operace lze rozdělit na přímé a nepřímé. Přímé zásobují parenchym krví okamžitě, nepřímé připravují vhodné podmínky k novotvorbě kolaterál. Klasickou přímou metodou je nízkoprůtokový extra-intrakraniální bypass z STA na MCA. Spojky lze provést vícečetně, i za pomoci štěpů. K dosažení co největšího možného kolaterálního prokrvení bývá nezdědka prováděná i nepřímá metoda, tzv. encefaloduroangiomyosynangióza (EDAMS). Při tomto zákroku je položen živý temporální sval na obnažený kortex mozku oknem v dura mater. Může být provedena jak samostatně, tak v kombinaci s přímou revaskularizací (bypassesem). Je

nutné zohlednit stáří pacienta. U nejmladších pacientů často není přímá spojková operace technicky proveditelná (*Fung, L. E., et al., 2005*).

Stupeň	Definice
I	Zúžení vrcholu ICA
II	Započetí Moyamoya kolateralizace
III	Progrese stenózy ICA se zvýrazněním Moyamoya kolaterál
IV	Vývoj ECA kolaterál
V	Zvýraznění ECA kolaterál a redukce Moyamoya kolaterál
VI	Totální okluze ICA a vymizení Moyamoya kolaterál

Tab. 1. Klasifikace stadií nemoci Moyamoya dle Suzukiho.

A.4.2 Aterosklerotické onemocnění vnitřní karotidy

Ateroskleróza tepen je významný faktor morbidity a mortality ve vyspělém světě. Patofyziologie aterosklerózy je multifaktoriální, roli hrají genetické a environmentální faktory. Ke stenotizaci tepny dochází vlivem ukládání cholesterolových hmot pod tunica intima. Z hlediska patofyziologického mechanismu se ateroskleróza považuje za zánětlivý děj se složkou autoimunitní reakce. Za hlavního původce endotelového poškození, které umožňuje vstup lipidů do stěny cévy, se pokládají volné kyslíkové radikály.

Společně s mírou stenózy je klinicky důležitý i charakter plátu. Nejpokročilejší fáze vývoje ateromu je jeho přeměna v komplikovaný, klinicky nestabilní, exulcerovaný plát. Je riziko nasednutí trombózy na endoteliální defekt a vysoké riziko vzniku CMP.

Vzhledem k nízké ceně a dostupnosti je primární metodou diagnostiky stenózy karotidy dopplerovské ultrasonografické vyšetření (DUSG), jeho metodika byla stanovena studií NASCET v roce 1999. CTA vyšetření je metoda volby pro bližší zobrazení extra a postižených karotid a vertebrálního řečiště v rozsahu od aortálního oblouku na bázi lebni a zobrazení intrakraniální cirkulace. Tyto informace jsou důležité při zvažování operačního řešení. Možnostmi jsou karotický stent (Carotid Artery Stenting, CAS) (*Mudra, H., et al., 2016*) nebo karotická endarterektomie (Carotid Endarterectomy, CEA). Jedním z cílů grafické diagnostiky je odhalit pacienty s nestabilním plátem, a tedy s vysokým rizikem iktu. Rutinní screening u běžné populace se nedoporučuje, může mít benefit u pacientů s více rizikovými faktory.

Léčba a prevence aterosklerózy

Z velké míry je vznik aterosklerotického postižení tepen preventabilní, ale recentně se přikládá stále větší důležitost genetickým predispozicím jedince. Eliminace rizikových faktorů je klíčová. Medikamentózní terapie (Best medical therapy, BMT) prošla v posledních desetiletích významným zdokonalením. Při léčbě symptomatické i asymptomatické stenózy karotidy jsou doporučena hypolipidemika k dlouhodobé prevenci ischemické příhody. Kontrola arteriální hypertenze a normoglykémie je rovněž klinicky významná. Antiagregace je doporučována ke snížení rizika vzniku infarktu myokardu a CMP (*King, A., et al., 2013*). Nedostatečný účinek antiagregace je zřejmě nejvíce ovlivněn nedostatečnou compliance pacientů. Rezistence v populaci se odhaduje u preparátů s kyselinou acetylsalicylovou na 25 % a u preparátů obsahujících jako účinnou látku clopidogrel 5-44 % (*Ray S., 2014*). Vzhledem k polypragmzii cílové skupiny pacientů mohou lékové interakce hrát důležitou roli.

Karotická endarterektomie je ve většině případů preventivní výkon. U asymptomatické karotické stenózy je CEA primární prevencí, u symptomatické stenózy karotidy se jedná o sekundární prevenci. Vyjimku tvoří off-label experimentální výkony jako akutní tromendarterektomie a akutní EC-IC bypass při selhání jiných způsobů rekanalizace akutně zavřené karotidy.

Za symptomatickou stenózu považujeme prodělanou ischemickou CMP v ipsilaterálním povodí ke stenotické karotidě v posledních 6 měsících. Konzervativní léčba (BMT) se doporučuje u asymptomatické stenózy menší než 60 % a u symptomatické stenózy menší než 50 %. Chronicky uzavřená nebo téměř uzavřená karotida se k přímé intervenci nedoporučuje. Za specifických okolností mohou tito pacienti těžit z revaskularizační operace EC-IC bypassem. U asymptomatické stenózy větší než 60 % je na zvážení operační výkon – ať již CEA nebo CAS. Musí být zváženo očekávané přežití pacienta. Díky zvýšenému riziku CMP profitují muži z výkonu již po 5 letech, ženy až po 10 letech. U symptomatické stenózy je operace na zvážení mezi 50-69 %, od 70 % stenózy a těžší je plně indikována. Zda lze pracovišti doporučit provádět operace karotid závisí zejména na míře komplikací. U asymptomatických stenóz je maximální hranice komplikací pracoviště stanovena na 3 %, u symptomatických na 6 %. Při věku nad 70 let je favorizována CEA nad CAS. Po výkonu na karotidě je pacient indikován k dlouhodobé antiagregační terapii. V případě CEA k dočasné monoantiagregaci a v případě CAS dočasně k duální léčbě a pak doživotně k monoantiagregaci.

Pokud je pacient po prodělané ischemické CMP invalidní (Modified Rankin Score, mRS \geq 3), revaskularizace není doporučena. Pokud je jádro ischemie po CMP větší než 1/3 povodí postižené tepny, není revaskularizace doporučena pro vysoké riziko vzniku intracerebrálního hematomu. Po prodělané intravenózní trombolýze (IVT) je výkon na karotidě možný při dodržení přísných kritérií, riziko krvácivé komplikace není zanedbatelné. Pacient by měl být v dobrém stavu (mRS 0-2), s jádrem ischemie menším než 1/3 povodí postižené tepny, mozek bez nálezu intracerebrálního hematomu nebo edému. Pokud byla okludovaná MCA, musí být IVT již způsobilá a stenóza ICA musí být větší než 50 %.

Volba ischemie je odvislá od konkrétní situace. Důvodem pro volbu lokoregionální anestezie je nemožnost elektrofyziologicky monitorovat pacienta v celkové anestézii, polymorbidita a preference pacienta. Důvodem pro volbu celkové anestezie je preference operátora a pacienta, složitá anatomická situace a neurologický deficit, který nedovoluje klinické monitorování jeho stavu. Diskutabilně je pro celkovou anestezii preferenční předpoklad nutnosti zavedení shuntu a druh podávané antiagregace (*Mracek, J., et al., 2019*). Spokojenost pacientů na našem pracovišti je vysoká s lokoregionální i s celkovou anestézií. Po

první zkušenosti by v případě další operace většina pacientů preferovala narkózu (*Mracek, J., et al., 2019*).



Obr. 5. Způsoby karotické endarterektomie – podélnou arteriotomií (vlevo) nebo everzí (vpravo).

A.5 Vyšetřovací metody mozkové ischemie

A.5.1 Nativní CT mozku

Dostupnost CT je dobrá. Jeho nevýhodou je omezená senzitivita i specifita při diferenciální diagnostice CMP. Rozdíl čerstvě ischemického parenchymu a zdravého mozku je na nativním CT zanedbatelný. Podezření na CMP dává mírné smazání hranice mezi šedou a bílou hmotou, kortikální edém a mírná hypodenzita oblasti. Nativní CT mozku slouží v akutní fázi především k vyloučení jiné příčiny neurologické symptomatologie pacienta. Hemoragické CMP nebo jiné na CT zachytitelné expanzivní léze, například nádory, mohou imitovat symptomy CMP. Vysoce specifickým příznakem probíhající tromboembolické CMP je *dense artery sign* – silně hyperdenzní okrsek mozkové tepny, nejčastěji MCA, reprezentující intraluminální trombus. Za několik hodin až desítek hodin se vlivem petechií v ischemické kůře původní lehká kortikální hypodenze přetváří v izodenzní oblast. V řádu dní dochází k rozvoji otoku a ischemických změn postižené oblasti. Na CT se změny projeví jako hypodenzní okrsek tkáně. Za několik týdnů až měsíců dojde k rozvoji postmalatické pseudocysty viditelné jako výrazná hypotenze. Může být přítomen negativní přetlak (Negative Mass Effect).

A.5.2 CT perfuze

CT perfuze rozliší v postižené oblasti mozku místo s hraničním prokrvením a nevratně poškozené místo, zónu kritické perfuze (penumbra) a jádro ischemie. Poměr jejich velikosti je důležitý indikační faktor další léčby. Stanoví se porovnáním velikosti grafických map několika parametrů.

Hodnoceny jsou parametry Cerebral Blood Flow (CBF, průtok krve mozkovou tkání), Cerebral Blood Volume (CBV, objem krve v mozkové tkání) a Mean Transit Time (MTT, čas průchodu krve mozkovou tkání).

- MTT je průměrný čas, který erytrocyty stráví v daném objemu kapilární cirkulace. Udává se ve vteřinách.
- CBV je objem krve v daném objemu mozkové tkáně. Udává se v ml krve ve 100 g mozkové tkáně.
- CBF je objem krve protékající daným objemem mozkové tkáně v jednotce času. Udává se v ml krve za minutu ve 100 g mozkové tkáně.

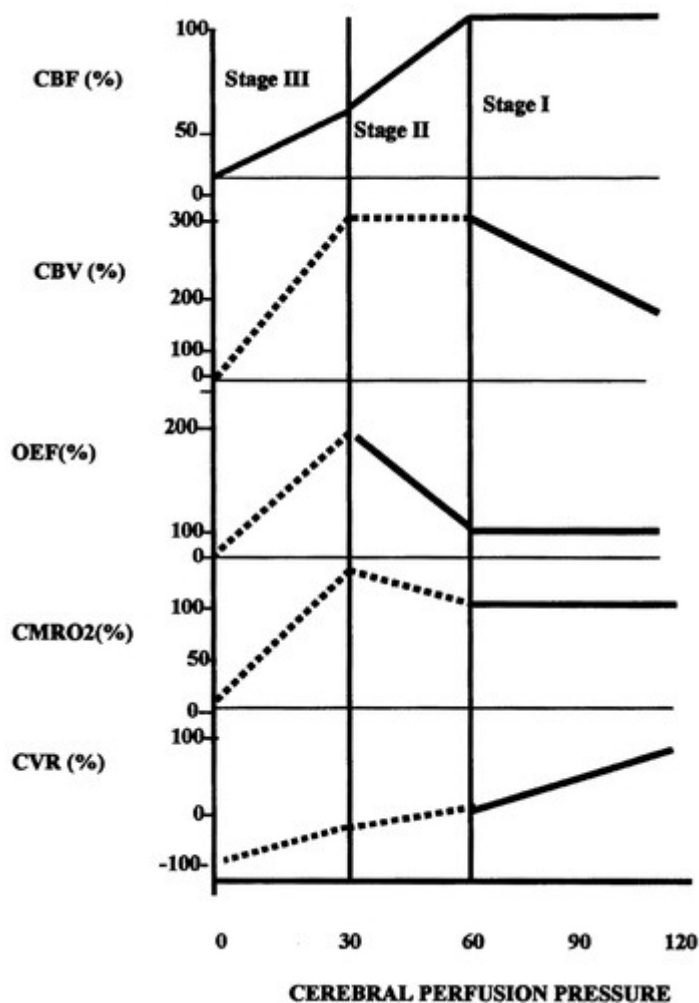
MTT je prodloužený jak v oblasti jádra, tak v oblasti penumbry. Zónu penumbry identifikuje srovnání map CBV a CBF. Místo se sníženými oběma parametry je ischemické jádro. Místo se zachovaným nebo zvýšeným CBV je zóna penumbry. Penumbra je okresek mozkové tkáně postižený ischemií se stále zachovanou autoregulací. Je odlišitelný vzestupem MTT nad 145 % se zachovaným CBV. Naopak dokonaná nevratná ischemie – jádro – je dáno poklesem CBV pod 2ml (*Tong E., et al., 2014*).

A.5.3 PET OEF

Pozitronová emisní tomografie (PET) zobrazuje pochody tělního metabolismu. Radioaktivně označená látka uměle vpravená do organismu pacienta se kumuluje v metabolicky aktivních místech a vyzařuje pozitrony zachytitelné detektorem.

Extrakční frakce kyslíku (OEF) je množství kyslíku extrahované z krve protékající mozkovým parenchymem nutné k udržení jeho funkční a morfologické integrity. Podává nepřímou informaci o metabolickém stavu mozkové tkáně. V případě buněčné dysfunkce při ischemii jsou narušené metabolické pochody mozkové tkáně a snižuje se utilizace kyslíku tkání a OEF klesá (*Xie, S., 2014*). Naopak při hemodynamické insuficienci s rizikem iktu OEF stoupá. V případě měření extrakční frakce kyslíku (Oxygen Extraction Fraction, OEF) je použitým radioligandem izotop kyslíku O^{15} . Tento atom obsahuje ve svém jádře 8 protonů, 7 neutronů a v atomovém obalu obíhá 8 elektronů. Má velice krátký poločas rozpadu, a proto je práce s ním technicky náročná. Vzhledem ke svému poločas rozpadu 122 s musí být vpraven do těla pacienta přímo po vynětí z cyklotronu. Po dvou minutách se polovina atomů rozpadne za vyzáření pozitronu a vyzářený pozitron okamžitě anihiluje s elektronem za vyzáření dvou fotonů. Původní atom se přeměňuje na izotop dusíku N15. Vzniklé gama záření s energií 511 keV je zachycené detektorem a přenesené algoritmem do konečného zobrazení.

Ve skupině pacientů s chronickým okluzivním postižením karotidy a vyčerpanou CVR rozlišujeme dvě stadia hemodynamické insuficience. Stadium I se vyznačuje neporušenou OEF, ve stadiu II je extrakce kyslíku zvýšena. Podle studie STLCOS právě podskupina pacientů s hemodynamickou insuficiencí II. typu má vysoké riziko iktu a je předpoklad, že může profitovat revaskularizační operace (Hokari, M., et al., 2009).



Obr. 6. Graf ukazuje změny jednotlivých parametrů mozkového oběhu a metabolismu v závislosti na stadiu hemodynamické poruchy mozku. CMRO₂ je míra metabolismu kyslíku v mozku. Ve stadiu I se OEF nemění, ve stadiu II dochází k vzestupu OEF (není známo, zda je lineární) a ve stadiu III OEF klesá. Plná linka zobrazuje známé parametry, tečkovaná linka znázorňuje předpokládané parametry (dle Nemoto, E. M., et al., 2003).

A.5.4 Magnetická rezonance

Ačkoliv se MRI vyšetření se stává stále dostupnějším, v rutinní diagnostice akutní CMP svoje místo nemá. Přístroj je často dostupný jen ve větších zdravotnických zařízeních a cena vyšetření je v porovnání s CT vyšetřením vysoká. Jedná se o vysoce senzitivní a vysoce specifickou metodu.

Zobrazení MRI v terénu akutní mozkové ischemie je založeno na detekci cytotoxického edému vlivem selhání membránového přenosu postižených buněk (dobře patrné v DWI sekvencích. Porucha hematoencefalické bariéry nastává do čtyř hodin od začátku ischemie a je následována vazogenním edémem. V tomto terénu může taktéž dojít k hemoragické transformaci. Každý z těchto fenoménů má v různých sekvencích MRI odlišný obraz.

Nejčastěji používané sekvence:

- T1WI (T1 Weighted Imaging)
- T2WI (T2 Weighted Imaging)
- DWI (Diffusion Weighted Imaging)
- PWI (Perfusion Weighted Imaging)
- GRE (Gradient Echo Imaging)

A.5.5 MRI NOVA (Non-invasive Optimal Vessel Analysis)

MRI NOVA je metoda, která neinvazivně podává přesné informace o průtoku mozkovými cévami v ml za minutu (*Amin-Hanjani, S., et al., 2005*). Jedná se o kvantitativní MRA vyšetření. Software využívá stávající 3T MR zařízení. Metoda je založena na zpracování informací podaných vyšetřením metodou fázového kontrastu. Užitečnost vyšetření autoři ukázali roku 2010 ve studii VERiTAS, která se zabývala ischemií v zadním povodí mozkové cirkulace (*Amin-Hanjani, S., et al., 2010*). Jeho dostupnost v České republice je omezená.

A.5.6 Peroperační motorické evokované potenciály

Jako metoda monitorace integrity kortikospinální dráhy jsou používány motorické evokované potenciály. Principem je přímá nebo nepřímá stimulace motorického kortexu (dominantně uloženého v precentrálním gyru – Brodmannova area 4) a snímání vyvolaného signálu přeneseného na periferii. Přímá stimulace je prováděna přímo na mozkové kůře, nepřímá stimulace je prováděna skalpovou elektrodou přes intaktní kůži hlavy.

A.5.7 ICG videoangiografie

Vyšetření cévního řečiště za pomoci intravenózního podání indocyaninové zeleně je známé relativně dlouho. Původně sloužila obdobná metoda s podáním fluoresceinu v oftalmologii k vyšetření retinálního cévního zásobení. V šedesátých letech Feindel a kol. poprvé vyzkoušeli fluorescenční angiografii při otevřené operaci mozku (*Feindel, W., et al., 1968*). Jejich závěrem bylo, že tato metoda umožňuje přesnější a jemnější zobrazení mozkového řečiště než konvenční angiografie. Do běžné praxe uvedli tuto metody Raabe a kol. po roce 2000 (*Raabe A., et al., 2003*). Jako fluorescenční agens použili indocyaninovou zeleň. Dokázali, že při inkorporování do operačního mikroskopu se může stát standardní součástí operací mozkových cév.

ICG videoangiografie (ICG VA) dnes poskytuje přímou vizuální kvalitativní kontrolu cévního řečiště v reálném čase. Slouží ke zvýšení bezpečnosti operace. Usnadňuje orientaci operátora a dává možnost včasné odhalit a napravit chybu. Metoda může být využita u jakékoliv cévní operace – mozkové aneuryzma, AVM, EC-IC bypass, operace tumorů a poruchy průchodnosti cév mozku i míchy. Podmínkou je tolerance pacienta k podávané látce a vhodný přístup k vyšetřované oblasti. Tímto vyšetřením jsou zachytitelné i drobné cévy menší než 0,5mm (např. perforátory).

Princip metody

ICG byla původně vyvinuta během druhé světové války jako fotografická barva. V lékařské praxi byla poprvé testována na přelomu padesátých a šedesátých let na Mayo Clinic (*Fox, I. J., et al., 1960*). První využití bylo v kardiologii ke zjištění srdečního výdeje a ke stanovení jaterních funkcí, později v oftalmologii. ICG postupně nahradilo fluorescein kvůli svým lepším optickým vlastnostem a dobré snášenlivosti pacienty.

ICG má schopnost emitovat světlo po ozáření světlem určité vlnové délky. Absorpční spektrum je u vlnové délky 600–900 nm, tedy zhruba v rozsahu vlnové délky infračerveného záření (700 nm–1 mm). Při osvětlení emituje záření o vlnové délce mezi 750–950 nm. Excitační maximum je při vlnové délce 788 nm a emisní maximum při 813 nm. Za pomoci vhodného zařízení může být tato emitovaná radiace zaznamenána. Parametry se mohou v reálném použití mírně lišit v závislosti na ředění podaného kontrastu.

ICG je podávána intravenózně v dávce 0,2–0,5 mg/kg. V krevním oběhu je vázána na globuliny a odstraňována z oběhu játry. Poločas látky je do 3 minut.

Komplikace

Podání ICG je považováno za bezpečné (*Boni, L., 2014*). Hlavním rizikem metody je nebezpečí anafylaxe. Roztok obsahuje malé množství jodidu sodného. Vedlejší příznaky jsou velice vzácné, méně než 1 z 10 000 podání.

Limity metody

Limitem metody je zobrazení úzké části operačního pole. V porovnání s konvenční angiografií je použito menší množství kontrastní látky, která je rychle eliminována z organismu. Metoda se dá považovat za spolehlivou pouze pokud lze zajistit dobrý osvit zkoumané cévy. Tomu mohou bránit faktory jako nedostatečná vizualizace vyšetřovaných struktur, např. při hluboko uložených lézích, masivním SAH, ateroskleróze, intraluminárním trombu nebo arachnoidálních adhezích. Je vhodné kombinovat ICG VA s další metodou peroperační monitorace. Při selhání této metody může dojít k mylnému úsudku operátora a těžkému poškození pacienta.

Využití ICG VA v klinické praxi

Metoda je dnes rutinně používána při operacích mozkových aneuryzmat. Po preparaci vaku může sloužit k lepší vizualizaci anatomických poměrů. Po zasvorkování výdutě slouží k ověření vyřazení vaku z cirkulace a průchodnosti přilehlých cév, které mohou být zavzaty do svorky nebo jí komprimovány. Jsou známy případy selhání této metody a autoři doporučují perforaci vaku po provedení ICG VA jako definitivní důkaz vyřazení aneuryzmatu (*Přibán V., et al., 2013*).

Rozlišení arterializovaných odtokových žil od přítokových tepen u arteriovenózních malformací může být obtížné. U povrchových lézí lze tyto cévy od sebe rozlišit fluorescenční angiografií. Na rozdíl od TTF vyšetření není potřebná preparace a manipulace vyšetřované cévy. Vyšetření poresekční plochy kontrastní látkou dá operátorovi informaci o radikalitě zákroku.

Při možnosti využití TTF je ICG VA u operace EC-IC bypassu doplňková metoda peroperačního zobrazení průchodnosti bypassu.

Doplňkovou roli má ICG VA u operací mozkových nádorů. S různou mírou úspěšnosti lze zobrazit např. průchodnost durálních splavů. Pro jejich relativně tlustou stěnu vyšetření nepřinese vždy očekávanou kvalitu výsledku.

A.6 Balón okluzní test

Hunterova ligatura neboli podvaz periferní tepny, je výkon, prováděný již od 18. století. Je pojmenována na počest po Johnu Hunterovi, který proceduru zavedl a rozšířil. Sir Victor Horsley jako první použil Hunterovu ligaturu ICA v indikaci léčby mozkového aneuryzmatu v roce 1885. (*Al-Shatoury H.A., et al., 2000*). Do doby přímého operování na výduti byla ligatura ICA jedinou možností, jak snížit riziko ruptury. Obětování karotidy však nebylo beztestné. V případě nutnosti obětování vnitřní karotidy pro tumor báze lební nebo komplexního aneuryzmatu této tepny je i u pacienta s dobře vyvinutým Willisovým okruhem nezanedbatelné riziko fatální ischemie. Akutní uzávěr ICA je spojen s neurologickým deficitem ve 49 procentech (*Nishioka H., 1966*). Při uzávěru CCA je riziko poněkud nižší a činí 29 procent. (*Swearingen B, Heros R.C., 1987*). Opožděná ischemie vlivem nedostatečné kolateralizace a proměnných nároků mozkové tkáně na prokrvení se může rozvinout i u pacientů s dobrou iniciální tolerancí okluze ICA. Situace je velmi odlišná od chronického uzávěru na podkladě stenookluzivního aterosklerotického procesu. Zde je hemodynamický hemisferální iktus výjimkou a je vždy odrazem anatomické anomálie Willisova okruhu s nemožností redistribuce toku krve.

Riziko ischemie po uzávěru ICA se dá testovat provedením balónkového okluzního testu (BTO). Principem BTO testu je dočasná okluze ICA v karotickém sífonu, za současného testování tolerance tohoto stavu.

Falešná negativita klasického BTO s hodnocením klinického stavu se pohybuje mezi 5-20 % (*deVries, et al., 1990*). Ve srovnání s paušální okluzí ICA přinesl BTO zásadní snížení morbidity/mortality; nicméně potenciálních 20 % komplikací je stále příliš. Od 90. let 20. století byly proto hledány modifikace, které by senzitivitu BTO zlepšily. Kombinace BTO a SPECT nepřinesla jednoznačné zlepšení senzitivity. Ve své práci autoři měli 22 % ischemií při kombinaci obou technik. (*Origitano T.C., et al., 1994*).

Další snahou o zlepšení senzitivity BTO bylo zavedení „zátěže v hypotenzi“ Standard a kol. dosáhli ve své studii zásadního zlepšení senzitivity – ischemické komplikace nastaly jen u 5 % pacientů (*Scott SC et al 1995*). Tuto metodiku využíváme na našem pracovišti. V poslední době dochází k dalšímu vývoji v „precizování“ BTO testu. Někteří autoři považují za cenné hodnocení venózní fáze během BTO (*Zhu Chenet, et al., 2019*).

Nezanedbatelná četnost falešné negativity BTO s potenciálním rizikem velkého infarktu v ICA teritoriu vede některé význačné neurochirurgy k filozofii paušální revaskularizace při obětování ICA (*Spetzler R.F., 2018*)

A.7 Transit Time Flowmetrie

Transit time flowmetrie (TTF) je metoda kvantitativního stanovení průtoku krve cévou, založená na principu ultrazvukového vlnění. Získané výsledky jsou zaznamenány v ml za minutu. Jedná se o invazivní měření, je nutný přímý přístup sondy k cévě. Operačnímu týmu dává měření aktuálního průtoku možnost okamžitě reagovat na případné omezení a tím pozitivně ovlivnit výsledek zákroku (*Pafitanis, G., 2017*)

Céva by měla vyplňovat 75-100 % prostoru sondy. Jako akustické medium je použita tekutina, např. fyziologický roztok nebo mozkomíšní mok. Přítomnost krve mezi sondou a cévou nepříznivě ovlivňuje výsledek měření.

Fyzikální princip

Měření průtoku je založeno na principu ultrasonografického vlnění, je ale rozdílné od běžněji užívaných USG metod. Sonda flowmetru, objímající měřenou cévu, se skládá ze dvou komponent. Na jedné straně cévy jsou dva transduktory fungující zároveň jako přijímač i vysílač signálu. Na druhé straně cévy proti těmto transduktorům je odrazová plocha (reflektor) pro ultrazvukové vlny. V první fázi měření je vyslán ultrazvukový puls distálně uloženým transduktorem. Puls putuje šikmo proti proudu krve směrem k reflektoru na druhé straně cévy. Vlna se po průchodu cévou odrazí od reflektoru pod úhlem 90 stupňů k druhému transduktoru, který funguje v tuto chvíli jako přijímač a je zaznamenán čas, za kterou vlna dorazila od vysílače k přijímači. Poté se proces opakuje v opačném směru – ultrazvuková vlna je vyslána po proudu. Velikost průtoku kapaliny (krve) je vypočtena z rozdílu integrovaných časů průchodu ultrazvukových vln cévou.

Metodika měření průtoku TTF sondou

Pro dosažení validních hodnot průtoku a zároveň zachování bezpečnosti měření je nutné dodržovat specifická pravidla měření.

Vypreparování měřené cévy v dostatečném rozsahu je nutné k přehlednosti pole a zachování dostatečného manipulačního prostoru. Měřicí okno sondy je ve tvaru písmene „C“ a neopatrná manipulace by mohla cévu poškodit. Při nepřehlednosti operačního pole může být kromě cévy zavzat v měřicím okně sondy další materiál, což zhoršuje kvalitu signálu.

Céva by měla vyplňovat 75-100 % obsahu příčného průřezu měřicího okna sondy. Ke zvolení správné velikosti sondy lze použít sterilní zkušební makety. K zajištění dobré síly signálu musí být pole měření vyplněno vhodným vodičem, např. fyziologickým roztokem nebo mozkomíšním mokem. Při nedostatečné síle signálu byly naměřené hodnoty v našem experimentu vyšší než hodnoty, naměřené při plné síle signálu.

Měření je nutné provádět v místě cévy, kde není omezena prostupnost pro ultrasonografické vlnění. Měření nad suturou v případě end-to-end anastomózy může vést ke změně v prostupu ultrazvukových vln cévou a odchylkám měření.

Využití flowmetrie v praxi

Operační metoda s použitím TTF se označuje jako FAST – Flowmetry Assisted Surgical Technique. Jedná se o operace aneuryzmat, arteriovenózních malformací a revaskularizačních operací.

Při klipingu aneuryzmatu na mozkové tepně v segmentu M1/2 střední mozkové tepny se tepna dělí ve dvě i více větví. Po zaklipování výdutě je důležité ověřit, že krevní průtok do periferie není omezen naloženým klipem. Při anatomicky příznivé situaci lze pomocí TTF bezpečně zjistit průtok ve větvích distálně od vaku před zaklipováním a opakovat měření po zaklipování. Porovnání hodnot poskytne objektivní informaci o případném omezení krevní dodávky do periferie. Omezení průtoku o více než 25 % je považováno za významné (*Amin-Hanjani, S., 2006*).

Naměřené hodnoty po zaklipování výdutě mohou být i vyšší než původní. To je podmíněno postischemickou hyperperfüzí. Před klipováním aneuryzmat je hojně využívána technika dočasného uzavěru krevního proudu v magistralní tepně. Důsledkem je následná reaktivní hyperemie po puštění svorek. Při operaci mozkového aneuryzmatu předpokládáme stále hodnoty krevního tlaku. Samostatná FAST technika neposkytuje informaci o vyřazení výdutě z cirkulace. To je nutné ověřit za pomoci dalších metod jako např. ICG videoangiografie. FAST

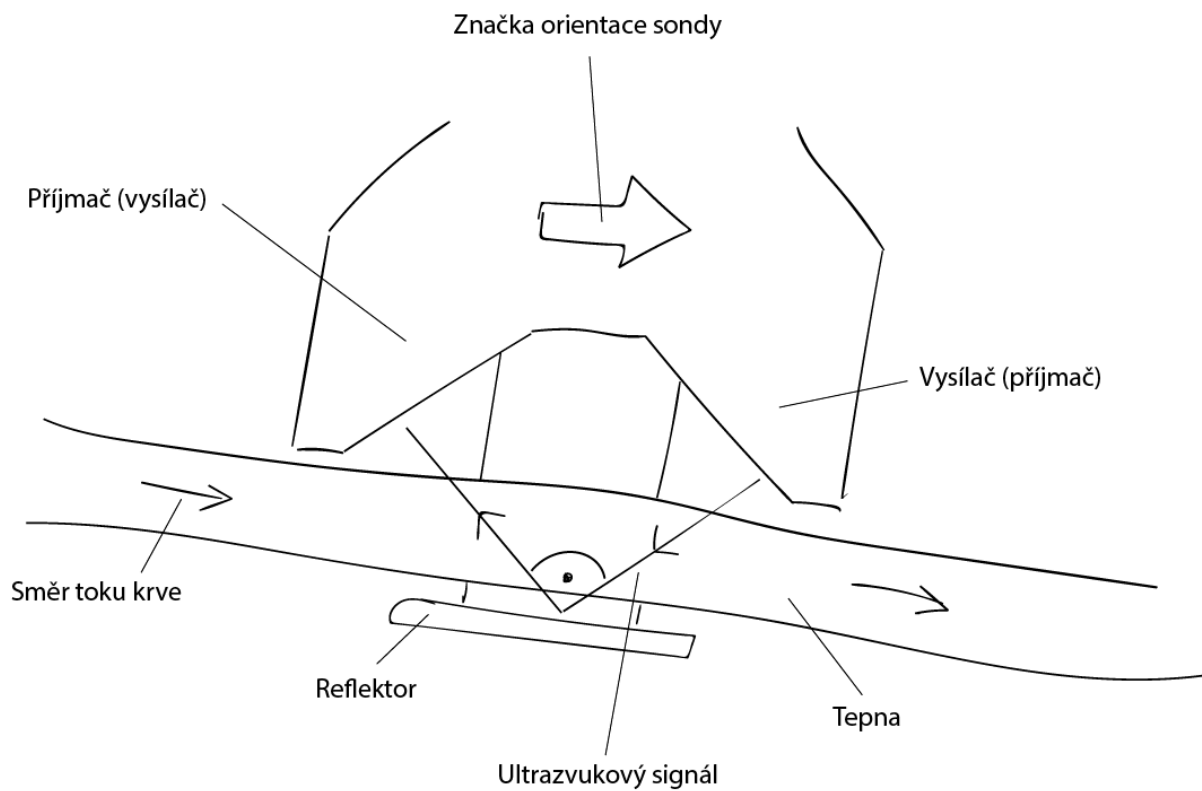
techniku je možné využívat i při operaci výdutí jiných tepen, měření je však technicky náročnější. Problémem může být jak úzký hluboký koridor, tak množství odstupujících perforujících arterií nebo velký vak výdutě omezující manipulační prostor a přehlednost terénu.

Při resekci vysokoprůtokových arteriovenózních malformací (AVM) je pro nekomplikovanou operaci jednou z klíčových věcí rozlišení cév vstupujících (feeding) a vystupujících (draining) z malformace. V případě uzavření odtoku krve před uzavřením přítoku může dojít ke katastrofální ruptuře AVM. FAST metoda umožňuje identifikaci směru toku krve cévou. Po dočasném zaklipování feederu lze na vystupujících žilách ověřit předpokládaný pokles průtoku. V případě procházející tranzientní tepny lze měřit průtok na více místech této cévy, skoková změna může značit skrytý feeder. Po dokončení resekce malformace lze FAST metodou ověřit na vystupujících cévách zánik průtoku, který značí dokončenou resekci.

Srovnání s dalšími metodami měření

Běžně užívanou metodou hodnocení průtoku je ultrasonografie, využívající Dopplerův efekt (DUSG). Hodnotí tok kapaliny nepřímo na základě pohybu elementů, v ní obsažených. V medicíně se jedná o krevní buňky unášené tokem krve v cévách. Vysílačem sondy jsou vysílány pulzy ultrazvukových vln, které se odrážejí od krevních elementů. Protože tyto elementy jsou v pohybu vzhledem k nehybné sondě, je možno na základě změny frekvence odrazu odvodit charakteristiky pohybu kapaliny. Dopplerův efekt je jev, kdy se snižuje, respektive zvyšuje, frekvence zvukové vlny podle toho, zda se zdroj zvuku (krevní element) pohybuje od pozorovatele (sondy), nebo k němu. Pokud je známý úhel vyslaného signálu ke směru toku kapaliny, je možno hodnotit rychlost průtoku. Rychlostí toku v cévě lze nepřímo odhadnout např. míru stenózy, ve které se průtok zrychluje.

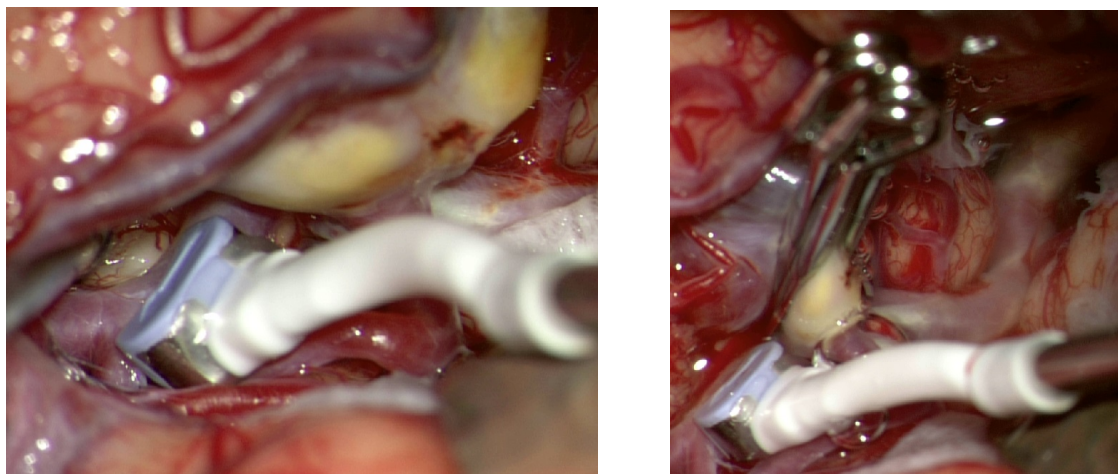
Obě metody nabízejí rychlou a relativně levnou možnost zhodnocení krevního průtoku. Dopplerovská ultrasonografie ve stanovení průtoku malými cévami není přesná a na rozdíl od kvantitativní TTF neposkytne absolutní hodnotu průtoku. Rychlost průtoku u DUSG je vyjádřena buď zvukově (frekvence tónu orientačně určuje rychlost toku) nebo barevně. Hodnocení průtoku dopplerovskou ultrasonografií je subjektivní a záleží na hodnotiteli. Množství průtoku změřené TTF je objektivní, minimálně závislé na hodnotiteli a snadno reprodukovatelné.



Obr. 7. Měření krevního průtoku cévou TTF sondou.

Tepna	Očekávaný průtok [ml/min]
ICA intrakraniálně	120-170
A1 ACA	40-60
A2 ACA	40-50
M1 MCA	80-110
M2 MCA	50-80
VA	100-200
PICA	10-15
SCA	18-20
PCA	26-30

Tab. 2. Průměrné průtoky naměřené TTF sondou na jednotlivých mozkových tepnách (zpracováno dle F. Charbela, 2013).



Obr 8. Vlevo sonda flowmetru měřící tok v M2 větvi. Vpravo měření po zaklipování aneuryzmatu (*Archiv Neurochirurgické kliniky FNPlzeň*)

A.8 EC-IC Bypass

Extra-intrakraniální bypass je procedura používaná k zajištění zachování nebo ke zlepšení krevního průtoku mozkem. První úspěšné operace provedli paralelně Yasargil a Donaghy roku 1967. V následujících dvaceti letech se stal výkon oblíbeným a hojně prováděným pro symptomy mozkové ischemie a jako prevence CMP. Byla přítomna nízká míra komplikací a vysoká míra průchodnosti.

Z pohledu indikace jsou rozeznávány dva druhy bypassů – zachování průtoku krve mozkem – flow preservation a posílení průtoku krve mozkem – flow augmentation. Flow preservation bypassy jsou indikovány u komplexních aneuryzmat nebo u tumorů, kde je nutné obětovat důležitou mozkovou tepnu. Bypass musí dodávat dostatečné množství krve, aby nahradil obětovanou tepnu. Tzv. pojišťovací bypass je procedura, již je zahajována operace mozkového aneuryzmatu, kde se předpokládá riziko obětování tepny nebo její dlouhý dočasný uzávěr. Vzhledem k rozvoji endovaskulárních výkonů počet prováděných flow preservation bypassů klesá (*Esposito, G., et al. 2016*). Indikaci bypassu předchází balon okluzní test (BTO). Při něm je do předpokládané obětované tepny instalován intervenčně balóněk, po jehož rozepnutí se zastaví dočasně průtok krve tepnou. V případě rozvoje neurologického deficitu a/nebo grafických změn je BTO pozitivní a bypass indikován.

Jednoznačná indikace flow augmentation bypassů je pro hemodynamicky nestabilní onemocnění Moyamoya. U symptomatické steno-okluzivní nemoci magistrálních mozkových tepen je jejich význam sporný. Po prvotním vzestupu operace po roce 1967 přinesly publikované výsledky prospektivních randomizovaných kontrolovaných studií strmý pokles provádění bypassů v této indikaci. Jedná se zejména o EC-IC bypass trial z roku 1985 a COSS s roku 2005 (tyto studie jsou detailněji diskutovány v další kapitole). Cochrane review z roku 2010 hodnotilo 2 randomizované kontrolované studie a 19 nerandomizovaných ve stejné indikaci. Celkem bylo zahrnuto 2591 pacientů. Nebyl prokázán přínos operace proti konzervativní terapii.

A.8.1 Flow preservation

Mozková aneuryzmata

Při operaci mozkového aneuryzmatu je cílem spolehlivě vyřadit lézi z krevního oběhu a neporušit fyziologický přísun krve v blízkosti probíhajícími cévami. Gigantická aneuryzmata nemusí poskytovat dostatečnou přehlednost nebo prostor k jejich primárnímu ošetření. Komplexní aneuryzmata mohou zasahovat i do odstupu větvení mateřské tepny a definitivní uzavření výdutě v tomto případě není možné. Pokud je jedinou možností ošetření léze uzavření probíhající tepny, je nutné zajistit dostatečné zásobení periferie. Průtok teritoriem obětované cévy a přítok krve plánovaným bypassesem by měl být vyrovnán. V tomto případě je velmi pomocná preoperačně nepřímá a peroperačně přímá kvantitativní flowmetrie – MRI NOVA a FAST. Rozvoj endovaskulární operativy použitím bypassu v této indikaci částečně nahrazuje.

Nádory mozku

V případě obrůstání magistrální tepny tumorem, kdy není možná jeho bezpečná separace, je vysokoprůtokový bypass jedinou možností, jak dosáhnout radikality resekce. Poslední dobou je příklon k parciální resekcí tumoru a adjuvantní chemo a radioterapii (*Esposito, G., et al. 2016*).

A.8.2 Flow augmentation

Nemoc Moyamoya

Indikací k operačnímu řešení je klinicky nestabilní onemocnění s porušenou mozkovou hemodynamikou. Nemoc Moyamoya je popsána v kapitole A.4.1

EC-IC bypass v terénu aterosklerotického stenookluzivního postižení ICA

Za fyziologické situace je uzávěr jedné přívodné krční tepny asymptomatický. Willisův tepenný okruh je schopen vyrovnat omezení průtoku. Soudí se, že úzká skupina pacientů se symptomatickou okluzí karotidy a vyčerpanou CVR má profit z revaskularizační operace. Pacienti s hemodynamickou ischemií mají roční riziko CMP asi 25 %, které stoupá každoročně o 2 % (*Amin-Hanjani, S., 2011*). V případě operace nemá, na rozdíl od nemoci Moyamoya, nepřímá revaskularizace význam. Není přítomna dostatečná aktivita neoangiogenetických faktorů a kolaterální síť se při myosynangióze nevytvoří. Je nutné použít metodu přímé revaskularizace mozku. Smysl EC-IC anastomózy v této indikaci je diskutovaný.

Po zavedení bypassu u chronické mozkové ischemie v roce 1967 byl strmý vzestup provádění této operace. Útlum v používání bypassu a přehodnocení indikačních kritérií přinesla multicentrická randomizovaná studie provedená skupinou EC/IC Bypass Study Group. Tato studie probíhala od roku 1977 a výsledky byly publikovány v 1985. Studie prokázala, že riziko CMP u operovaných pacientů nebylo rozdílné od pacientů léčených konzervativně. Indikacemi prováděných bypassů byla symptomatická chronická okluze extrakraniální ICA, stenóza intrakraniální ICA a stenóza nebo okluze MCA. Po zveřejnění byla studie vystavena vlně kritiky (*Ausman, J. I., et al., 1986*). Kritizováno bylo zejména, že v této studii nebyla identifikována podskupina pacientů s hemodynamickou ischemií mozku z důvodu nedostatečné kolateralizace (*Powers, W. J., et al., 2011*). Crossover pacientů byl rovněž vysoký. Po této studii byla operace bypassu z indikace chronické ischemie mozku na většině pracovišť opuštěna. Její význam přetrval při nutnosti obětování mozkové tepny u operace aneuryzmatu či tumoru a u disekce či idiopatické okluze mozkové tepny (Moyamoya nemoc) (*Smith, R. D., 2003*).

Další významnou studií byla STLCOS (St. Louis Carotid Occlusion Study), která používala k identifikaci pacientů s porušenou hemodynamikou PET OEF vyšetření. Bylo zjištěno, že pacienti s okluzí ICA a elevací OEF jsou ve výrazně zvýšeném riziku CMP. Z tohoto poznatku bylo vycházeno při designování studie COSS.

Studie COSS byla rozšířeným pokračováním STLCOS. Data získaná STLCOS dala částečný základ metodice této novější studie. Zahájena byla roku 2002. Zařazení pacientů do studie probíhalo ve dvou krocích. Obecná selekce zahrnovala pacienty s proběhlou TIA nebo CMP v povodí uzavřené ICA v posledních 120 dnech. Tito pacienti podstoupili PET vyšetření a do dalšího kroku byli vybráni ti se zvýšenou OEF v hemisféře ipsilaterálně k uzavřené krkavici (OEF hemisféry ipsilaterálně k uzavřené ICA v poměru ke kontralaterální $>1,13$). Pacienti byli randomizováni do chirurgické nebo do konzervativní skupiny. Bylo plánováno do studie zahrnout 372 pacientů. Hodnocena byla smrt nebo jakákoliv CMP pacienta v prvních 30 dnech po operaci a dále CMP v hemisféře ipsilaterálně k uzavřené karotidě v průběhu dvou let. Byl předpokládán 24 % výskyt ve skupině operovaných a 40 % výskyt ve skupině konzervativně léčených pacientů. Tyto předpoklady byly odvozeny z předešlé studie STLCOS. Ve studii COS bylo zhodnoceno 195 randomizovaných pacientů. Mezi silné stránky studie patří, že se ke kontrolám dostavilo 99 % pacientů a crossover mezi skupinami byl zcela minimální.

Jedním z důvodů k předčasnému zastavení studie bylo, že po dvou letech sledování nebyl významný rozdíl výsledků mezi oběma sledovanými skupinami. Míra nežádoucích událostí byla 21 % v chirurgické skupině a 22,7 % v konzervativně léčené. Zatímco mezi operovanými pacienty byla souhrnná míra nežádoucích událostí očekávaná, v medikamentózní skupině byla téměř poloviční oproti očekávané hodnotě. Samotný pokrok v konzervativní léčbě nemůže být důvodem tak výrazného poklesu očekávané morbiditě (*Amin-Hanjani, S., et al., 2012*). Na vině jsou zřejmě nevhodně nastavená kritéria PET OEF – zobrazovací metody použité k selekci pacientů zařazených do studie (*Carlson, A. P., et al., 2011*). Vlivem této metodické chyby nebyli do studie zařazeni pouze pacienti ve vysokém riziku CMP.

Dvouletá morbidita operovaných pacientů byla 21 %, tři procenta pod očekávanou hodnotou. 15 % z toho ale tvořila časná pooperační morbidita. Velmi diskutovaná je zkušenost center a operatérů. Ve snaze zahrnout co největší počet center a chirurgů byla pro vstup do studie nastavena relativně mírná kritéria. Pro možnost zahrnutí operátora do studie bylo absolvování dvoudenního kurzu. Chirurgové se zkušeností méně než 10 provedených EC-IC bypassů se mohli aktivně účastnit studie pod dohledem zkušenějšího lékaře. 93 operovaných pacientů třiceti chirurgů nedovoluje bližší individuální analýzu. Ačkoliv průchodnost bypassů ve studii COSS byla vysoká, míra komplikací není nejlepším výsledkem, kterého šlo dosáhnout (*Amin-Hanjani, S., et al., 2012*). Výsledky příznivější pro provádění bypassů v této indikaci oproti výsledkům studie COSS demonstrovalo množství autorů, včetně tuzemských (*Radovnický, T., et al., 2016*).

Po uplynutí relativně rizikových 30 dní po operaci míra následné morbidity výrazně poklesla. V období mezi 30 dny a 2 roky po operaci byla morbidita pouze 6 %. Hodnocený poměr OEF se navíc u operovaných pacientů zlepšil při PET kontrole během 2 měsíců po výkonu. Pokud bude předpokládána stálá míra komplikací u konzervativně léčených pacientů a pozorovaný trend u operovaných pacientů, po 5 letech by byl jasně patrný benefit operace (*Esposito, G., et al., 2016*). Ve spojení se snížením časné pooperační morbidity by tento fenomén byl pozorovatelný výrazně dříve. Kontrolní PET OEF vyšetření nebylo u konzervativně léčené skupiny prováděno, v tomto ohledu není možné porovnání.

Postavení operace EC-IC bypassu v indikaci symptomatické okluzivní aterosklerotické nemoci karotidy dnes zůstává nadále kontroverzní.

A.9 Technické aspekty mikrovaskulární anastomózy

V klinické praxi je technicky nejjednodušší a nejhojněji využívaná forma bypassu EC-IC bypass, který vyžaduje pouze jednu end-to-side anastomózu a prováděná sutura je v přehledném operačním poli. IC-IC bypass vyžaduje odběr štěpu, dvě anastomózy, mobilita štěpu je omezená a operace je prováděna hlubším a užším koridorem než v prvním případě. End-to-end anastomóza slouží většinou k rekonstrukci řečiště po vytnutí léze. Prakticky vždy je nutné použít štěp.

Rozvaha mezi provedením low-flow nebo high-flow bypassu se odvíjí od vyžadované potřeby průtoku povodím operované tepny. Low-flow bypass má přítok krve donorem menší než 40 ml/min. Při vytváření high-flow anastomózy je téměř vždy nutná interpozice štěpu. Zvláštní situaci tvoří side-to-side anastomóza zhotovovaná vzácně mezi oběma A2/3 ACA nebo oběma PICA.

A.9.1 Provedení mikroanastomózy

Ergonomie

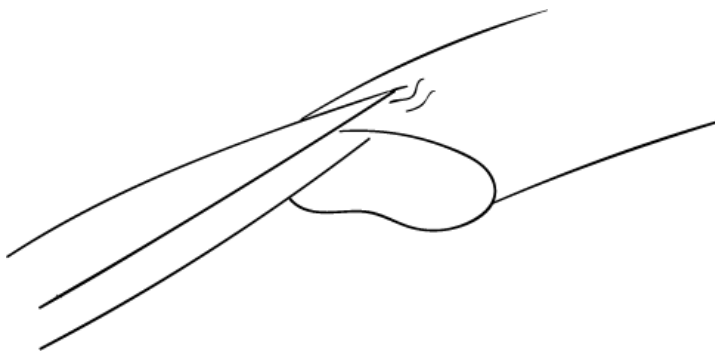
K minimalizaci tremoru rukou operátora je důležitá správná poloha těla – především pevně opřené obě nohy o zem a vzpřímené držení trupu. Lokty by měly být na područkách operační židle a celá malíková hrana ruky a 5. prstu by měla být opřena o pevnou podložku. Je výhodné používat co nejkratší nástroje daná situace umožňuje.

Manipulace s cévou

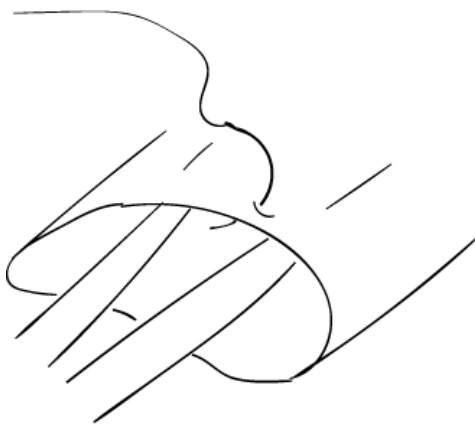
Používané mikronástroje jsou velmi jemné a ostré. Chytání cévní stěny do pinzety může traumatizovat endotel a zvyšovat riziko trombózy. Při hrubém zacházení může až porušit všechny vrstvy cévní stěny a způsobit trhlinu, jejíž oprava může být obtížná a může vyústit v omezení průsvitu cévy v místě sutury, tedy v omezení průtoku a zvýšení pravděpodobnosti uzavěru spojky. Místo toho by mělo být pinzetou manipulováno cévní stěnou pouze ve smyslu podpírání a vyvíjení jemného protitlaku z lumina proti zapichované jehle. Pokud je nutné cévní stěnou manipulovat výrazněji, je vhodné uchopit ji jemně za tunicu externu, nebo používat pouze tlak nástroje s jemným kontaktem s endotelem – nadzdvihávání a everzi cévní stěny.



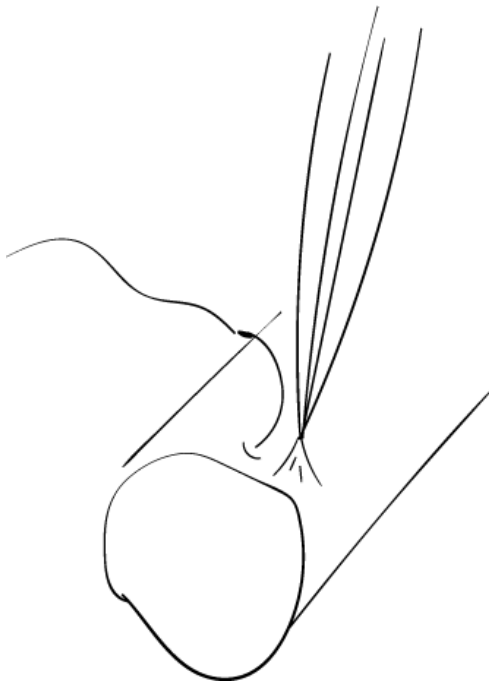
Obr. 9. Vázání uzle



Obr. 10. Chytání cévy za celou tloušťku stěny mikropinzetou může vést k jejímu poškození.



Obr. 11. Při propíchování stěny cévy je vhodné používat pinzetu jako podporu bez chytání celé tloušťky cévní stěny. Tato technika vede k minimalizaci poškození endotelu a minimalizuje pravděpodobnost vzniku trombózy.



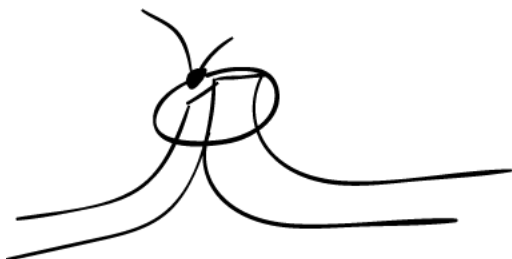
Obr. 12. V případě nutnosti je možné manipulovat s cévou za její adventicií.



A



B



C

Obr. 13. Při sutuře cév o různé tloušťce (např. žilní štěp a tepna) je nutné zajistit souvislé pokrytí lumina cévy endotelem (B, C), aby se předešlo vystavení smáčivé vrstvy krvi (A).

Příprava cévních ústí

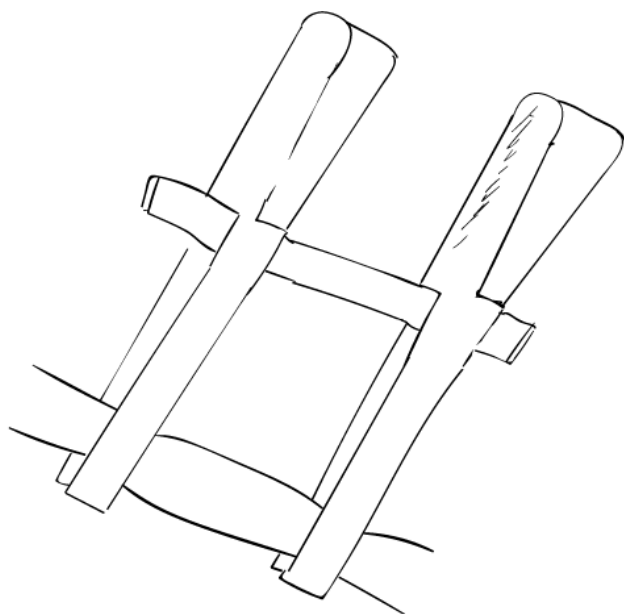
Oba konce anastomózovaných cév musí být zbaveny adventicie a vypláchnuty roztokem heparinu. Adventicie může být vmezeřena do lumina linií sutury a její trombogenní povrch může způsobit uzávěr spojky. Heparin vypláchne zbytky koagul vytvořených v luminu po zasvorkování cévy. Jemná dilatace ústí donoru (v případě end-to-end anastomózy i recipienta) na 150 % původního průměru zlepšuje výsledný průtok.

Fishmouth úprava donoru je kolmá incize v místě předpokládané paty (heel) ústí cévy, která slouží ke zvětšení jeho plochy (Obr. 19). Může sloužit ke korekci nepoměru velikostí anastomózovaných tepen. Někteří chirurgové doporučují používat *fishmouth* úpravu konců cév i při end-to-end anastomóze. Provedením *fishmouth* zastřížení dojde k mírnému zkrácení cévy. Za situace, kdy lze očekávat problém se sblíživáním donoru a recipientu, je každé zkracování cév riskantní. Je nutné arteriotomii přizpůsobovat aktuální situaci.

Aproximace konců cévy

Aproximační svorka jsou dva klipy uchycené na společné kolejnici, po které se mohou posouvat. Usnadňuje aproximaci konců rekonstruované cévy a jejich orientaci. Je využívána především v laboratorní práci, klinické použití je omezené. Svorka je prostorově náročná na umístění i manipulaci. Při přístupu na zadní část cévní stěny je nutné otočit celou svorku i s kolejnicí. Není vhodná na práci v hlubokém a úzkém koridoru.

Pokud je plánována anastomóza tepen, kde je nutné použít dva samostatné klipy, je výhodné je nasadit na cévní konce pod shodným úhlem, aby nedošlo k torzi a tím omezení průtoku anastomózou. Je výhodné klipy naložit na operovanou cévu tak, aby vzdálenost mezi klipem a otevřeným ústím byla co nejdelší. Po přestřížení tepny vždy dojde k retrakci pahýlu. Dostatečný volný úsek pahýlu cévy je důležitý pro dobrou manipulaci a přehlednost operačního pole.



Obr. 14. Aproximační svorka usnadňující provedení zejména end-to-end anastomózy.

Sutura

Cévní steh musí procházet celou tloušťkou stěny, aby nedošlo ke kontaktu krve v cévě s jinou vrstvou stěny, než je tunica intima, která je nesmáčivá a není trombogenní. Pokud nesouhlasí tloušťka cévní stěny donoru a recipientu (např. při end-to-end anastomóze), je nutné zajistit, aby v nivěu byly linie cévní stěny v lumen, a nikoliv na zevním povrchu cév. Kontakt krve s jinou tkání než s endotelem, může způsobit agregaci trombocytů a uzávěr spojky. Ze stejného důvodu je nutné provádět suturu cévní stěny v everzi, a ne v inverzi okrajů.

Utahování stehu

Při utahování stehu je nutné vyvarovat se nadměrné manipulaci s vláknem. Vyvíjení nadměrné síly v tahu i hrubější zmáčknutí vlákna nástrojem může steh přetrhnout nebo vytvořit místo oslabení. Toto částečně porušené místo se projeví zlomem nebo zkroucením vlákna. V tomto místě se může steh přetrhnout později v průběhu procesu šití. Zejména při použití pokračovacího stehu může přetržení vlákna vyústit v nepříjemnou komplikaci sutury. Při uzlení by se měl chirurg vyvarovat tahu za jehlu místo tahu za vlákno samotné. Jehla se může odlomit od stehu, který je v ní nalisovaný. Pokud dojde k přetržení vlákna při jednotlivých stezích a uzel je dokončený, nepůsobí tato mechanická komplikace zásadní problém, je nutné použít nové vlákno. Pokud naopak uzel dokončený není a délka zbylého vlákna to neumožňuje, musí být odstraněn. Při odtržení části vlákna s jehlou při pokračovacím stehu se dá sutura zachránit

založením jednotlivého stehu vedle posledního vpichu sutury a zauzlení konců pokračovacího a jednotlivého stehu dohromady. Od jednotlivého stehu se dá novým vláknem opět pokračovat pokračovacím stehem. Nutnosti použít nadměrný tah lze zabránit dokonalou aproximací sešíváných okrajů cév.

Před konečným zauzlením pokračovacího stehu je výhodné ověřit a případně upravit utažení všech otáček vlákna v průběhu sutury.

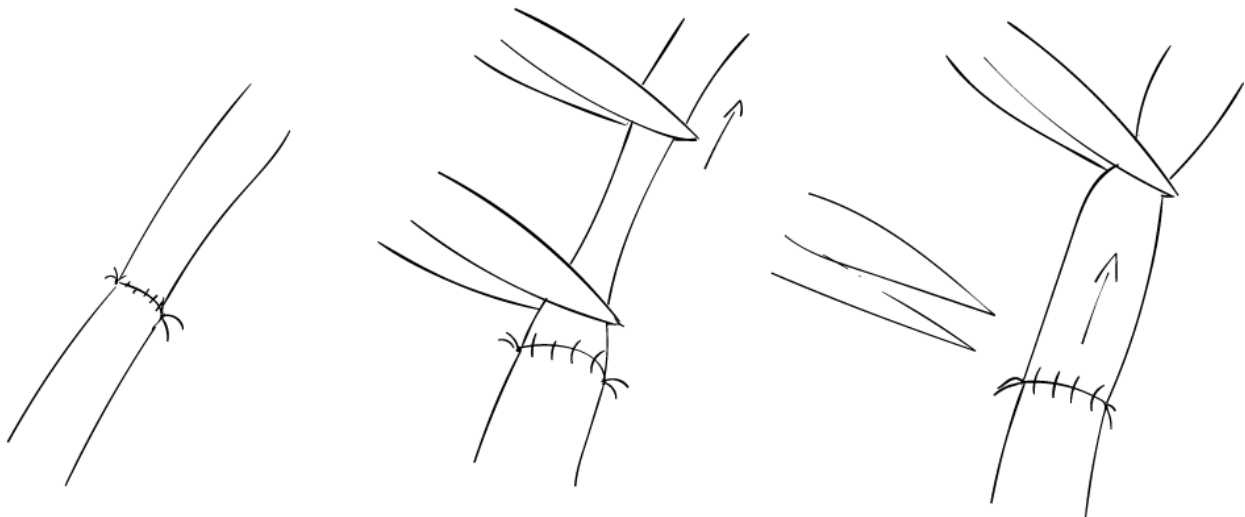
Průchodnost anastomózy

V případě technicky nezdařilé anastomózy je možné neprůchodnost spojky odhalit vizuálně. Je patrné oploštění cévy, jasné prošíání obou stěn, chybí pulzace. Při odstranění svorek není přítomno žádné krvácení z linie sutury. V případě trombózy anastomózy může být trombus viditelný.

Nejpřesnější test průchodnosti je metodou TTF. Průtok měříme na donoru. I nenulové hodnoty blízké nule (např. 0,2 ml/min) pokládáme za kompletní uzávěr spojky.

DUSG ověření toku mikrosondou ukáže rychlost proudění krve. Senzitivita při uzávěru anastomózy je vysoká.

Čínský (Aclandův) test je mechanický test patence spojky. Traumatizuje endotel cévy, a proto by měl být použit pouze výjimečně jako poslední možnost ověření průchodnosti. Dvěma pinzetami vedle sebe je uchopena a komprimována céva distálně za anastomózou. Zatímco pinzeta blíže anastomóze ponecháme sevřenou na místě, distálnější pinzeta stále sevřenou posunujeme dále distálně a tím vytlačujeme krev z úseku cévy mezi pinzetami. Toto by mělo být provedeno v tak dlouhém úseku, aby byla jasně přehledná vyprázdňená část cévy. Jeden centimetr je při pohledu do mikroskopu většinou dostačující. Distální pinzeta ponecháme na místě a uvolníme pinzeta proximálně (Obr. 15). Pokud se prázdný úsek naplní krví, je spojka průchodná. Pokud naopak zůstane prázdná, je jasné, že krev nemá kudy do tohoto místa přitéct a je tedy místo anastomózy neprůchodné. Pomalé plnění taktéž značí technický problém v místě anastomózy.



Obr. 15. Provedení Aclandova testu patence anastomózy.

A.9.2 Použití štěpu

Závažným technickým problémem může být aproximace konců cévy určených k sutuře. Nadměrný tah může vést k prořezávání stehů okrajem cévní stěny nebo neprůchodnosti spojky vlivem oploštění tažené cévy. V některých případech je nezbytné použít štěp. Při zhotovování high-flow bypassů je nutné použít štěp téměř vždy. Vyjímkou jsou side to side anastomózy.

Možností náhrady je vena saphena magna nebo arteria radialis. V případě odběru štěpu arteria radialis je nutné vyšetřit krevní zásobení horní končetiny pacienta. Pokud by povodí ulnární tepny nebylo schopné zajistit dostatečné prokrvení části končetiny, může mít odebrání radiální tepny pro pacienta katastrofální následky. V případě odebrání vena saphena je nutné znát původní směr průtoku krve, žila má chlopně.

A.9.3 Allenův test

Allenův test je klinický test, sloužící k ověření kolateralizace krevního zásobení ruky, např. před odběrem štěpu arteria radialis. Ruka je zásobena ulnární a radiální tepnou, které v ruce anastomózují hlubokým a povrchovým tepenným obloukem. Zásobení ulnární tepnou je většinou dominantní. V současnosti je používána modifikovaná verze testu navržená v roce 1952 Irvingem S. Wrightem.

Průběh testu

1. Vyšetřovaný zdvihne vyšetřovanou ruku a sevře ji v pěst na 30 s
2. Vyšetřující manuálně komprimuje zároveň ulnární i radiální tepnu
3. Pacient zdvihne ruku a narovná prsty, minimálně jejich konečky jsou bledé
4. Je uvolněn tlak nad ulnární tepnou – pokud se prokrvení periferie obnoví nejpozději do 15 s, test je pozitivní. Výsledek značí dobré prokrvení ruky ulnární tepnou.

Pokud nedojde k návratu barvy do prstů do 15 s, krevní zásobení pouze ulnární tepnou není dostatečné a není bezpečné invazivně zasahovat do radiální tepny. Test je v tomto případě negativní. Vyšší objektivitu může při obdobném provedení přinést použití pulzního oxymetru.

A.9.4 Komplikace mikroanastomózy

Komplikace před provedením anastomózy

Mechanické poranění donoru – Může být velmi obtížně řešitelné, v případě nevelkého poranění lze ošetřit přímou suturou. Pokud nelze ošetřit suturou, musí být donor zkrácen za místo poranění. V případě nedostatečné délky donoru musí být použit štěp.

Nedostatečná délka donoru – Může nastat z anatomických důvodů nebo chybou odhadu chirurga. Lze nastavit délku donoru štěpem. Pokud by byl donor našit pod nadměrným tahem, může dojít k jeho uzávěru.

Torze či zalomení donoru – Torze může nastat již před samotným zhotovením anastomózy na volné tepně, proto je třeba dbát na správnou orientaci nasazené svorky. Po zhotovení bypassu může dojít k zaškrcení tepny o okraj durotomie.

Vazospasmus donoru – Nadměrnou nebo nešetrnou preparací nebo manipulací donorem může dojít k jeho spasmu s omezením průtoku. Pokud byl průtok již iniciálně nízký, tato situace může vyvolat jeho uzavření. Často pomůže sejmutí svorky, minimalizace kontaktu s tepnou a její ponoření do papaverinu na několik minut. Viditelný průtok (cut flow) nebo TTF poskytne vizuální kontrolu účinnosti zvoleného postupu.

Trombóza donoru – dle lokalizace trombu lze zvažovat trombektomii Fogartyho katetrem volným koncem přeřáté cévy nebo z pomocné incize. Pokusy o vymasírování trombu zevním tlakem jsou nevhodné, může dojít k poranění křehké tunica intima, ztrátě nesmáčivosti cévní stěny a opětovnému uzávěru.

Komplikace při a po zhotovení anastomózy

Vytržení (proříznutí) stehu – Vznikne hrubou manipulací nebo nedostatečným záběrem stehu do stěny. Pro opravu je nutné použít dva stehy, každý na okraji trhliny na úrovni jejího nejhlubšího místa, aby byl defekt přitažen k druhé anastomózované cévě. Touto opravou dojde k mírné konstrikci anastomózy. Tato konstrikce izolovaně většinou není klinicky významná.

Přetržení vlákna – Způsobeno hrubým zacházením – nadměrnou tenzí nebo porušením vlákna při nešetrné manipulaci. Délka zbývajícího vlákna může umožňovat zauzlení stehu. Pokud neumožňuje, je nutné steh vyjmout a založit nový. Při pokračovacím stehu je nutné získat dostatečnou délku vlákna k zauzlení i za cenu vytažení několika otáček vlákna. Poté se v blízkosti poslední obrátky vlákna v cévní stěně založí jednotlivý steh novým vláknem a zauzlí se k přetrženému vlákně. Tímto novým návlekiem lze pokračovat v sutuře.

Poškození jehly – Vznikne nešetrnou manipulací. Princip opravy je obdobný jako v případě přetržení vlákna. Výhoda je v možnosti zachování dostatečné délky poškozeného návleku k jeho zauzlení.

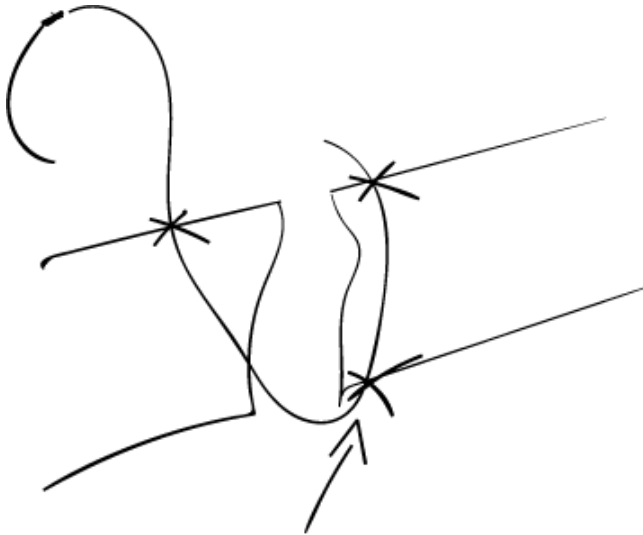
Two wall stitch (Through stitch) – Prošití přední i zadní stěny cévy. Při neopatrné manipulaci a při nepřehledné situaci může hrot jehly zachytit okraj stěny na protilehlé straně cévy a při utažení uzlu jsou obě stěny přitaženy k sobě, dojde k omezení nebo uzavření lumina. V případě jednotlivých stehů je řešením vystřížení celého chybného stehu. V případě pokračovacího stehu je možností drobné klínovité vystřížení zachycené části okraje protilehlé stěny. Místo s chybějícím klínem musí být následně k dosažení co nejlepšího výsledku šito po jeho okrajích, a nikoliv vrcholu tohoto chybějícího trojúhelníku. Zachycení protilehlé stěny, na které je již část anastomózy hotová představuje vážný problém a většinou je jediným vhodným řešením přestřížení celého chybného stehu s jeho novým založením, v případě nedokončeného pokračovacího stehu odstřížení jehly a vypáření vlákna až před chybnou otáčku stehu.

Poranění cévní stěny – Nastává při nadměrně hrubé manipulaci s cévou, vytržení stehu atd. Oprava je podobná jako v případě proříznutí stehu cévní stěnou. Pokud je defekt rozsáhlý a anastomóza by nebyla zdařilá, je nutné poraněný donor zkrátit o místo s defektem. Pokud následně není možné zhotovit anastomózu bez napětí, je nutné použít štěp.

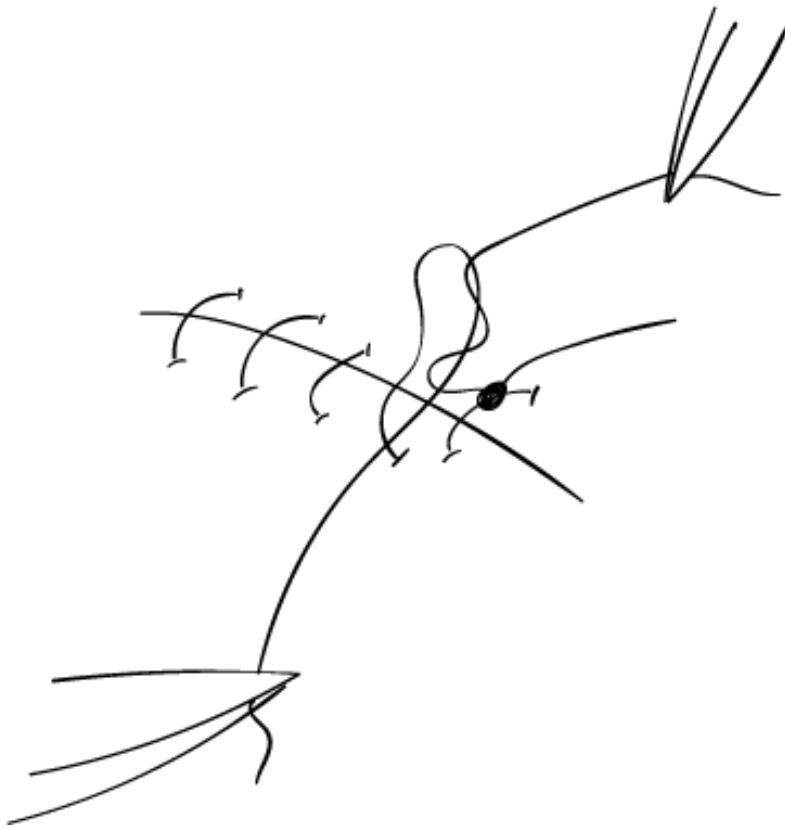
Trombóza anastomózy – Vznikne nejčastěji technickou chybou chirurga. Dojde ke kontaktu krve se smáčivou tkání, na které se shlukují trombocyty. Trombóza spojky musí být řešena okamžitě.

Tzv. bílý uzávěr vzniká agregací trombocytů. Lze ho často odstranit opakovanou lehkou zevní kompresí uzavřeného místa mikropinzetou. Dojde k mechanickému rozrušení uzávěru a jeho odplavení. Po obnovení toku anastomózou je nutné ji několik minut sledovat, může dojít k obnovení uzávěru. Zevní kompresí cévy je riskováno poranění endotelu a následné zhoršení situace.

Tzv. červený uzávěr je závažnější komplikací, kdy na agregované trombocyty nasedá pravý trombus. Vyžaduje částečné rozpuštění anastomózy, extrakci trombu, výplach lumina cév a opětovnou anastomózu. Další možností je trombektomie malou podélnou arteriotomií donoru nebo kompletní rozpuštění anastomózy a její opětovné zhotovení. V extrémním případě je nutné zrušit původní spojku se zkrácením donoru a uzavřením arteriotomie recipienta a přesazení donoru na jiné místo recipienta, může být nutné použít štěp. Po provedení trombektomie je vhodné zvážit podání heparinu a trvalé antiagregace.



Obr. 16. Záběr cévních stěn vláknem při tzv. two wall stitch vedoucí k neprůchodnosti anastomózy.



Obr. 17. Záchrana sutury při přetržení pokračovacího stehu – je založen samostatný jednotlivý steh blízko konce pokračovacího stehu a volné konce vláken jsou svázaný dohromady.



Obr. 18. Strategie opravy příčné trhliny cévní stěny v místě anastomózy. Křížek – místo záběru stehu.

A.9.5 End-to-end anastomóza

Lawton tvrdí, že end-to-end anastomóza je svým způsobem náročnější než jiné typy napojování drobných cév, protože je trojrozměrná (Lawton, M. T., Probst, K. X., 2018). Okraje cév při end-to-side a side-to-side anastomóze přirovnává k dvěma rovnými liniím, zatímco při end-to-end anastomóze jsou napojované linie kruhové (Lawton, M. T., Probst, K. X., 2018). V neurochirurgii je end-to-end anastomóza používána vzácně. V plastické chirurgii při transferech volných laloků je tento druh sutury standardní nebo běžný. Při možnosti dostatečné manipulace s operovanou cévou má operatér jasný přehled o napojovaných plochách. Při použití triangulační techniky anastomózy je navíc možnost prošívat protilehlé stěny cévy stehem minimalizována.

Využití end-to-end anastomózy při cévních operacích mozku může být při nutnosti excize cévní léze. Například po vytnutí aneuryzmatu lze zbylé pahýly mateřské cévy opět napojit. Primární sutura je možné jen vzácně, většinou je nutné použít k přemostění štep.

A.9.6 End-to-side anastomóza

Nejčastěji zhotovovaným EC-IC bypassem je EC-IC bypass označovaný jako STA-MCA bypass (napojení arteria temporalis superficialis na arteria cerebri media). Pro léze v zadní části Willisova okruhu se využívá napojení a. occipitalis na a. cerebellaris posterior inferior (OA-PICA bypass).

V případě STA-MCA EC-IC bypassu se průtok STA se pohybuje kolem hodnot 20 - 40ml/min, spojka s jeho použitím je tedy tzv. nízkoprůtokový (low-flow) bypass. Tento menší průtok nemusí být vždy dostačující a může být nutné zhotovit vysokoprůtokový (high-flow) bypass – napojení tepen většího kalibru, často s použitím štěpu.

Anatomie a preparace STA

Arteria temporalis superficialis (STA) je konečná větev zevní karotidy. Prostupuje v pojivové tkáni mezi fascií temporálního svalu a kůží. Anatomicky je zřejmě pokračováním zevní karotické tepny v místě odstupu arteria maxillaris. Začíná za ramus mandibulae v příušní žláze a přes processus zygomaticus stoupá kraniálně, kde se dělí ve frontální a parietální větev. Na základě předoperačního klinického a grafického (DSA nebo CTA) vyšetření lze předpovědět, která z těchto větví je vhodnějším donorem na základě její velikosti. Mnohdy může být jedna i obě větve insuficientní k uspokojivé funkci bypassu. Tepna je ve svém průběhu doprovázena žilou, která je snadno vizuálně odlišitelná.

Preparace tepny donoru je klíčová. Chirurg musí postupovat natolik jemně, aby vyloučil poranění, torzi, zalomení i nadměrnou manipulaci s kmenem STA.

Při preparaci STA ke zhotovení EC-IC bypassu je veden kožní řez vertikálně nad temporální krajinou posazený blíže k místu zvolené větve STA. Při kožním řezu se tepna nesmí poškodit. Tepna leží mezi kůží a fascií. Její preparace probíhá za použití operačního mikroskopu a při jejím uvolňování jsou všechny její drobné větve koagulovány a přerušovány. Za určitých situací je výhodné preparovat cévu v určité vzdálenostní rezervě od její stěny, je tím omezena možnost vzniku spasmu nebo traumatu tepny. Nevýhodou tohoto postupu je kratší získaný průběh donoru. STA je po vypreparování ponechána na místě se zachovaným průtokem co nejdéle je to možné. Pokud je předpokládána nutnost co nejdelšího donoru, je možné cévu preparovat přímo ve vrstvě vně od její stěny. Pečlivou preparací je možné získat až 8 cm cévy (*Lawton, M. T., Probst, K. X., 2018*).

Způsob otevření dura mater záleží na preferenci operátora. Vodotěsný uzávěr není možný, musí být dbáno na ponechání dostatečného vstupního otvoru pro donor, aby nedošlo k jeho zaškrcení nebo zalomení o hranu durotomie.

Sutura

Sutura je prováděna vláknem s označením 10-0, jehož tloušťka je 0,020–0,029 mm. Velikost jehly se odvíjí od aktuální situace, pohybuje se v délce 3,8–6,5 mm. Recipientní tepna na povrchu mozku je kortikální větev MCA. Musí splňovat požadavky ohledně velikosti a umístění. Nepoměr velikosti v neprospěch recipientní tepny je částečně vyrovnán vytvořením fishmouth úpravy donoru. V operovaném segmentu recipientní tepny mezi svorkami je nutné tepnu zbavit všech drobných větví, které by krvácením zneřehledňovaly situaci po arteriotomii. Pro snadnější orientaci je zevní stěna recipientní tepny obarvena tmavou barvou.

Před uzavřením a arteriotomií recipientní tepny je výhodné pro urychlení sutury založit dva stehy v donoru. Steh prvním vláknem se založí a volně ponechá ve špičce otevřeného konce cévy (*toe stitch*), druhý ve vrcholu fishmouth (*heel stitch*) (Obr. 19). Poté je recipientní tepna uzavřena svorkami v dostatečném rozsahu a provedena podélná arteriotomie odpovídající velikosti *fishmouth* donoru. Jako první je dokončen *heel stitch*, který je technicky nejnáročnější. Poté je dokončen *toe stitch*. Při sutuře jednotlivými stehy je třetí steh umístěn uprostřed linie sutury cévní stěny. Čtvrtý steh je rohový steh. Je umístěn vedle *toe stitch*. Tento steh je rizikový a většina chyb vzniká při zakládání tohoto stehu. Riziko netěsnosti nebo *double wall stitch* je zde nejvyšší z celé sutury (Lawton, M. T., Probst, K. X., 2018). Jako první je sešita dostatečným počtem stehů zadní stěna. Při její sutuře je vyšší riziko chyby a je technicky náročnější. Nesešitá přední stěna umožňuje kontrolu bezchybně zhotovené sutury zadní stěny. Po jejím dokončení je donor otočen tak, aby byla zpřístupněna k operátorovi přivrácená přední stěna anastomózy a je sešita obdobným způsobem. Pokud průběh a orientace donoru zneřehledňuje linii sutury přední stěny anastomózy, měla by být jako technicky náročnější zhotovena ona.

Vpuštění krevního toku do anastomózy

První je sejmout distální klip na recipientní tepně. Retrográdně se naplní anastomóza pod nízkým tlakem a koagulační kaskáda má možnost reagovat v místě drobných netěsností sutury, aniž by byly její elementy odnášeny krevním tokem. V tento moment je možné aplikovat hemostatikum na suturu. Jako druhý je odstraněn proximální klip na recipientní tepně. Poslední

je uvolněn klip na donoru, krev přitékající donorem do anastomózy má dobrý odtok a vyvíjí menší tlak na linii sutury.

Menší krvácení suturou je očekávané. Dochází k němu drobnými netěsnostmi v linii sutury a otvory po vpichu jehly do cévní stěny. Zastaví se během cca 2 minut. Pokud je krvácení významnější, je nutné zrevidovat anastomózu a hledat poranění cévní stěny nebo netěsnost mezi stehy. Pokud není přítomné žádné krvácení z linie sutury po povolení všech svorek, anastomóza je podezřelá z okluze.

Uzávěr rány

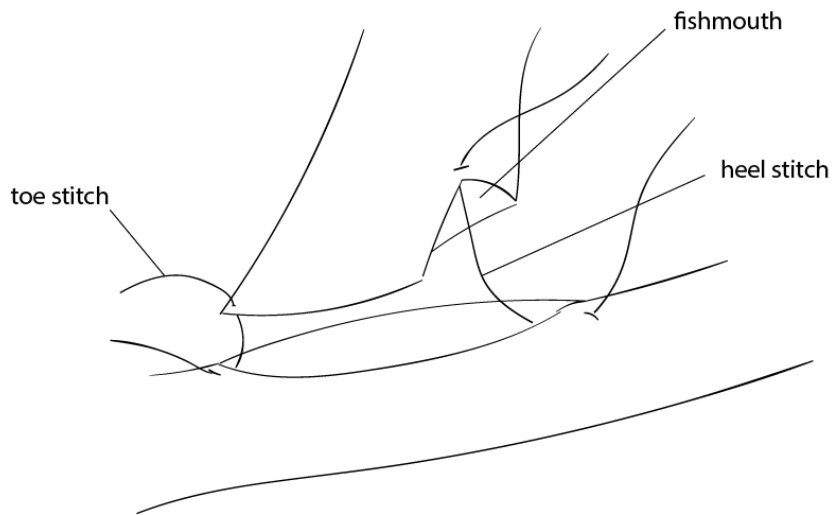
Pro porušení cévního zásobení části skalpu přerušením STA musí být kladen zvláštní význam zavírání rány. Z vlastní zkušenosti nedoporučujeme použití pokračovacího kožního stehu, který za těchto okolností může způsobit okrajovou nekrózu rány. Nejšetřenější se jeví použití kovových kožních svorek, které působí nejmenší traumatizaci a ischemizaci kožních okrajů. Při použití jednotlivých kožních stehů musí být brán zvláštní ohled na hloubku záběru stehu. Zejména u starších pacientů a žen bývá kůže a podkoží temporální krajiny slabé a hrozí poranění donoru.

EC-IC bypassy s použitím arteria occipitalis

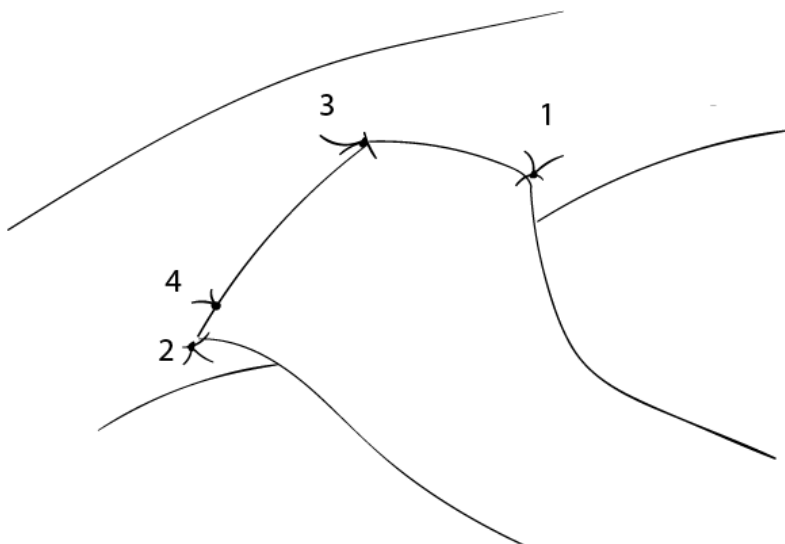
Tyto spojky jsou relativně vzácné v poměru k počtu prováděných STA-MCA anastomóz. Jsou využívány k augmentaci toku v mozečkových tepnách nebo v zadní mozkové tepně.

Arteria occipitalis je větví vystupující dorzálně z a. carotis externa. Zanořuje se pod zadní břicho m. digastricus a m. stylohyoideus a je křížena dvanáctým hlavovým nervem. Dále se kříží s vnitřní karotidou a vnitřní jugulární žílou a desátým a jedenáctým hlavovým nervem. Poté se zanořuje mezi šíjové svaly, které společně se skalpem a dura mater zadní jámy vyživuje.

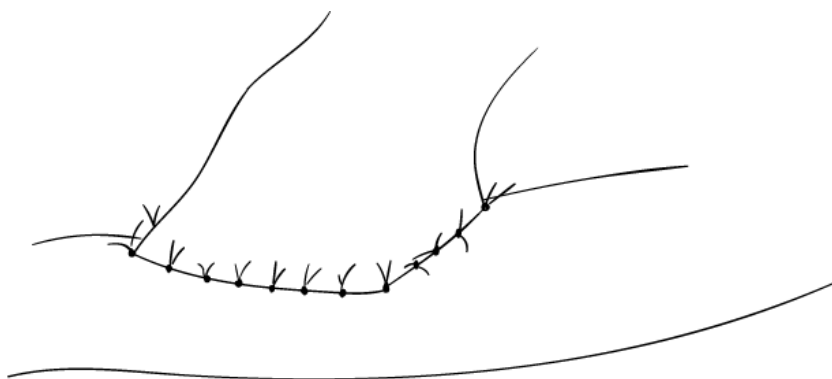
Preparace donoru je vzhledem ke složité anatomii oblasti a jeho relativně hlubokému uložení náročná a riziko jeho poškození je vysoké. Situaci dále znesnadňuje určitá variabilita průběhu tepny vzhledem k okolním svalům. Pro uvolnění co nejdelšího úseku tepny je nezbytná disekce několika velkých svalů šíje, zejména m. sternocleidomastoideus a m. splenius capitis.



Obr. 19. Založení stehů před započítím vlastní sutury end-to-side anastomózy



Obr. 20. Pořadí stehů end-to-side anastomózy dle doporučení M. Lawtona



Obr. 21. Dokončená end-to-side anastomóza

B. Klinická část

B.1 Flowmetrie u operací mozkových aneuryzmat

B.1.1 Úvod

Mikrochirurgická operace/zaklipování aneuryzmatu má dva cíle. Za prvé kompletní uzávěr krčku vaku výdutě s eliminací vtoku krve a tím rizika ruptury. Druhým cílem je vyhnout se omezení průtoku krve v tepnách komplexu výdutě a perforátorech. Riziko reziduálního plnění vaku není zanedbatelné. Historické studie prokázaly patologické plnění ve 4-19 procentech (*Alexander, T. D., et al., 1996*). Při hodnocení kompletnosti uzávěru krčku se uplatňuje mikrovaskulární ultrasonografie, při které se kromě zobrazení hodnotí akustický signál (*Neuloh, G., et al., 2006*). Další možností je využití intraoperační angiografie. Tato metoda je využívána výjimečně pro složitou logistiku a invazivitu u komplexních lézí (*Katz, et al., 2006*). V posledních letech v této indikaci dominuje ICG videoangiografie, která kromě potenciálního reziduálního plnění vaku dokáže zobrazit také perforátory v okolí aneuryzmatu. (*Raabe, A., et al., 2005*). Iatrogenní okluzi tepny komplexu aneuryzmatu tyto kvalitativní metody zachytí. Hemodynamicky významná stenóza však zůstává mimo možnosti uvedených technik. Hodnocení rizika potenciální stenózy nabízí dvě modality: funkční vyšetření motorické dráhy v podobě intraoperačního snímání motorických evokovaných potenciálů (*Szelényi, A., et al 2007.*) a/nebo vyšetření hemodynamické – flowmetrie, která dokáže zhodnotit průtok krve magistralními tepnami kvantitativně v ml/min. Technologii TTF v medicíně zavedla chicagská skupina (F. Charbel a S. Amin-Hanjani). Z jejich výzkumu vyplývá, že pokud nastane omezení průtoku v magistralní tepně o 25 %, je významné riziko teritoriální ischemie. Při poklesu o 50 % je teritoriální ischemie jistá (*Amin-Hanjani, S., et al., 2008*).

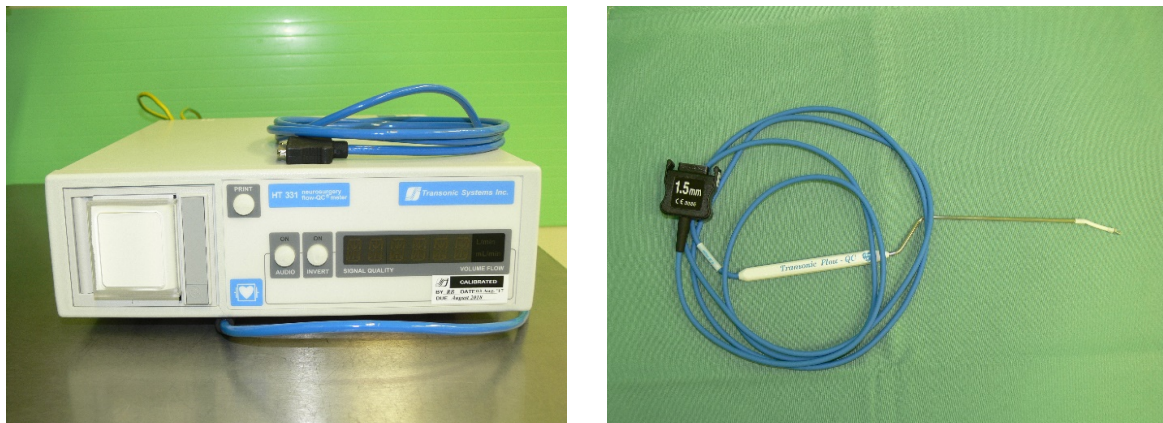
Na Neurochirurgické klinice FN Plzeň je technologie TTF při operacích mozkových aneuryzmat využívána od roku 2013. Flowmetrie je aplikována u aneuryzmat střední mozkové tepny, prasklých i neprasklých. Důvodem je obecně složitá anatomická situace v této lokalitě s rizikem chyby při klipování výdutě a následným špatným pooperačním klinickým výsledkem (*Rinne J., et al., 1995*). Technologie je využita, pokud anatomická situace umožní vyšetření. Rozhodnutí, zda profit vyšetření převáží riziko rozsáhlejší preparace a manipulace s přilehlými tepnami, vždy závisí na operátérovi.

Naše první zkušenosti s TTF u operací aneuryzmat jsme publikovali v roce 2014 (*Přibáň V., et al., 2014*). Soubor zahrnoval výdutě více lokalizací, prasklé i neprasklé, operované akutně i plánovaně. Hodnocení prokázalo význam TTF v prevenci teritoriální ischemie u dvou pacientů v souboru. Soubor byl nesourodý a hodnocení metody tak limitované.

Následně jsme se rozhodli prospektivně hodnotit vliv TTF na klinický výsledek u pacientů s neprasklými výdutěmi MCA. Ty reprezentují, jak již bylo zmíněno, anatomicky složitou situaci s potenciálním rizikem chyby při zaklipování. Kontrolní skupinu tvořili retrospektivně hodnocení pacienti bez použití TTF. Standardem monitorovacích technik u incidentálních aneuryzmat MCA na našem pracovišti je 1. TTF, 2. ICG a 3. MEP. Tyto tři modalitty přinášejí potenciálně redukci perioperačních komplikací.

B.1.2 Soubor a metodika

Principy flowmetrie, její klinické využití a limity jsou rozebrány v obecné části. Podmínky stability monitorace jsou shrnuty v kapitole A.7.



Obr 22. Vlevo je přístroj flowmetru Transonic, vpravo je 1,5 mm sonda



Obr 23. Detail TTF sondy s okénkem pro vložení tepny.

Velikost výdutí byla rozdělena na malá (1-7 mm), střední (8-14 mm), velká (15-24 mm) a gigantická (nad 25 mm). Ke klinickému hodnocení stavu pacientů před a po operaci (30. a 90. den) byla využívána modifikovaná Rankinova škála (mRS) (Tab. 3)

0	Žádné symptomy
1	-lehký deficit - zvládá všechny aktivity jako před CMP
2	Pacient není schopen zvládnout všechny předchozí aktivity -je plně soběstačný bez cizí pomoci
3	Vyžaduje pomoc při některých aktivitách schopen chůze bez pomoci druhé osoby
4	Chůze jen s pomocí druhé osoby neschopen bez cizí pomoci zvládnout své tělesné potřeby
5	Pacient upoután na lůžko vyžaduje trvalou péči
6	Smrt

Tab. 3. Modifikovaná Rankinova škála použitá k hodnocení stavu pacientů.

Hodnoceny byly dva soubory: Soubor 1 tvořili prospektivně hodnocení pacienti s měřením TTF. Soubor 2 byl retrospektivní soubor pacientů, homogenní z hlediska operatérů a časového období. Podmínkou TTF byla dosažitelnost technologie (iniciálně nebyla na klinice k dispozici) a v situaci možnosti využití vždy rozvaha operátéra, zda přínos vyšetření převažuje riziko potenciálně nepříznivé anatomické situace.

Statistické zhodnocení bylo provedeno softwarem StatSoft STATISTICA. Ve všech případech byl použit t-test pro nezávislé náhodné výběry. V jednom případě byl použit navíc Kolmogorov-Smirnovův test pro dva výběry (analýza 6: srovnání mRS skóre ve 30. dnu v obou skupinách)

V souboru 1 bylo hodnoceno 34 pacientů. Průměrný věk v souboru 1 byl 54,7 roku (34-76). Mužů bylo 15, žen bylo 19. Lokalizace výdutí MCA byla: M1 jedenkrát, M1/2 29krát, M2-3 čtyřikrát. Velikost výdutě: malé 24, střední 7, velké tři.

V souboru 2 bylo hodnoceno 20 pacientů. Průměrný věk v souboru 2 byl 54,9 roku

(37-68). Muži byli čtyři, žen bylo 16. Lokalizace výdutě byla M1/2 18krát, M2-3 dvakrát. Velikost výdutě: malé 15, střední 5. Z hlediska proporcionálního zastoupení mužů a žen se skupina bez měření významně liší (16 žen / 4 muži) od skupiny s měřením (19 žen / 15 mužů). V ostatních parametrech jsou soubory homogenní.

Srovnání obou souborů z hlediska věkové struktury pacientů:

T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka1)											
Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky											
Skup. 1 vs. skup. 2	Průměr skup. 1	Průměr skup. 2	Hodnota t	sv	p	Poč.plat. skup. 1	Poč.plat. skup. 2	Sm.odch. skup. 1	Sm.odch. skup. 2	F-poměr Rozptyly	p Rozptyly
věk s měřením vs. věk bez měření	54,74286	54,85000	-0,036997	53	0,970626	35	20	10,30803	10,37342	1,012728	0,944696

Závěr: skupiny jsou věkově prakticky zcela vyrovnané (54,74 vs. 54,85)

Srovnání obou souborů z hlediska lokalizace aneuryzmatu:

T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka6)											
Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky											
Skup. 1 vs. skup. 2	Průměr skup. 1	Průměr skup. 2	Hodnota t	sv	p	Poč.plat. skup. 1	Poč.plat. skup. 2	Sm.odch. skup. 1	Sm.odch. skup. 2	F-poměr Rozptyly	p Rozptyly
lokalizace s měřením vs. lokalizace bez měření	2,088235	2,100000	-0,117763	52	0,906709	34	20	0,378806	0,307794	1,514656	0,341530

Závěr: lokalizace aneuryzmatu je v obou skupinách srovnatelná

Srovnání obou souborů z hlediska velikosti aneuryzmatu:

T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka6)											
Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky											
Skup. 1 vs. skup. 2	Průměr skup. 1	Průměr skup. 2	Hodnota t	sv	p	Poč.plat. skup. 1	Poč.plat. skup. 2	Sm.odch. skup. 1	Sm.odch. skup. 2	F-poměr Rozptyly	p Rozptyly
velikost an s měřením vs. velikost an bez měření	2,088235	2,100000	-0,117763	52	0,906709	34	20	0,378806	0,307794	1,514656	0,341530

Závěr: Velikost aneuryzmat v obou skupinách je prakticky stejná (2,088 vs. 2,10)

B.1.3 Výsledky

Číslo	Iniciály	věk	pohlaví	lokalizace	velikost AN (mm)	iniciální mRS	flow před	flow post	mRS 30 d	long-term FU	poznámky
1	BZ	61	žena	M2/3 f dx	4	0	30/26	30/28	0	0	
2	FJ	45	žena	M1/2 dx	5	0	46/21	35/22	0	0	
3	ŠM	60	muž	M1/2 sin	5	0	16 t	109 t	0	0	flow f nejde - malý kalibr. T hyperperfuze?
4	HJ	41	muž	M1/2 a M2t vpravo	9 a 6	0	16f/34t	14f/28t	0	0	
5	PM	76	muž	M2f dx	6	0	M2f 22	M2f 30	0	0	hy, lip, DM PAD. Po operaci transientní motor afazie
6	ŠJ	70	žena	M1/2 sin	15	0	f 31/t27	f35/t25	3	2	fatická porucha embolizační Wernicke
7	KM	60	žena	M1/2 vpravo	4	0	fA12/fB21/t9	fA10/fB29/t9	0	0	
8	VI	48	žena	M1/2 vpravo	8	0	f29/t49	f91/t101	0	0	úprava iCMP z pravého povodí.
9	HA	61	žena	M1/2 vpravo	6	0	f12/t34	f11/t20	0	0	pokles na m2t o 42 %, vizuálně a ICG dobře. Svorka in
10	MJ	62	žena	M1/2 dx	4	0	M1 82	M1 80	0	0	
11	ŠZ	64	muž	M1/2 dx (mirror)	8	0	M2f36/M2t29	M2f42/M2t30	0	0	0.den epi parox. Dále norm hy
12	ŠZ	64	muž	M2/3 t sin (mirror)	6	0	M2t 47	M2T68	0	0	hy
13	HJ	67	žena	M1 vlevo	7	0			0	0	stenosy ACI bilat, hy
14	ŠJ	54	žena			0	F12/t30	f8/t15	0	0	Pokles flow při norm. MEP a ICG, falšená pozitivita svorka ponechána
15	RH	66	žena	M1/2 sin	19	0	23f/35t	70f/61t	0	0	Poop DSA s TIA fat a hemiparézy - spasmus
16	PB	42	žena	M1/2sin	3	0	25 f/54t	51f/48t	0	0	
17	PV	54	muž	M1/2 dx	6	0	8f/ 11t	12f/neize t	0	0	stp. SAH z AN ACoA před 7 měs s dobrým průběhem
18	OL	62	žena	M1/2 da M2t	4 a 4	1	3f/ 37t	7/53	1	0	úprava,
19	ZJ	34	žena	M1/2 vlevo	3	0	6f/25t	8f/23t	0	0	
20	JH	45	muž	M1/2 dx	7	0	M1 30	M1 33,8	0	0	
21	PR	55	muž	M1/2 sin	7	0	30f/18t	35f/25t	0	0	
22	PN	50	muž	M1/2 dx	5	0	22f/7,1t	22f/1->7t	0	0	repozice klípu vedla k normalizaci flow v temporální větvi, ICG selhání - má normální flow i přes jasnou patologii TTfM
23	KO	55	žena	M1/2 dx	10	0	13,2f/29,8t	14f/30t	0	0	
24	FM	60	žena	M3f dx	4	0	M2f 8,8	M2f 2,2->10	0	0	vazospasmus M2f, papaverin-normalizace flow z 2,2 na 10 ml/min
25	PV	35	muž	M1/2 sin	6	0	25f/20t	24f/25t	0	0	
26	AD	65	žena	M1/2 sin	10	0	30f/15t	30f/18t	0	0	
27	JC	42	muž	M1/2 sin	12	0	20f/22t	20f/20t	0	0	
28	JO	55	žena	M1/2 dx	7	0	3,2f/37t	6,6f/53t	0	0	výrazná asymetrie větví M2, stp. SAK z aneuryzmatu MCA sin, ICG verifikace
29	PP	54	muž	M1/2 dx	6	0	8,8f/11t	13f/x	0	0	stp. SAK z aneuryzmatu A-comm, skleróza vaku, M2t post. nelze měřit, vadí klípu, ICG verifikace
30	VR	50	žena	M1/2 dx	19	0	22,5f/35,2t	50,6f/70t	0	0	ateroskleróza vaku a větví. hyperperfuze, selhání ICG neprokázalo průtok krve do vaku, TIA po kontrolní
31	MK	52	muž	M1/2f dx	8	0	8,8f/25,5t	11,1f/25,7t	0	0	ICG-průtok do vaku - přidány dva klípy
32	JK	44	muž	M1/2 sin		0	63f/21,4t	71f/20,1t	0	0	ICG průtok do vaku - přidán klípu
33	IP	40	žena	M1/2 dx		0	33,6f/2,76t	30,3f/2,3t	0	0	výrazná asymetrie M2f - M2t
34	KR	67	muž	M1/2 sin		0	6,76f/24t	7,1f/24,3t	0	0	

Tab 4. Charakteristika souboru pacientů s měřením flow a klinické výsledky.

Číslo	Iniciály	věk	pohlaví	lokalizace	velikost AN (mm)	iniciální mRS	mRS 30 d	long-term FU	poznámky
1	RM	60	žena	M1/2	5	0	0	0	flow NA 2010
2	HJ	68	žena	M1/2 dx	4 a 5	1	0	0	NA
3	HJ	68	žena	M1/2 sin	3	0	0	0	
4	JR	40	žena	M1/2	9	0	0	0	
5	HM	67	žena	M1/2	5	0	0	0	St.p. iCMP v povodí pravé PICA, st.p. TIA s levostrannou symptomatikou
6	VF	56	muž	M1/2	8	1	1	1	Asthenický nemocný se zpomaleným psychomotorickým tempem.
7	HM	37	muž	M1/2	5	0	0	0	
8	TM	62	žena	M1/2	4	0	0	0	st.p. po SAH a klippingu aneurysmatu MCA(M1) sin.
9	JB	61	žena	M1/2	5	1	1	1	St.p. Ischemická CMP vlevo hemisferálně, pravostranná hemiparesa, expresivní dysfasie
10	BE	47	žena	M1/2	10	1	1	1	St.p.iCMP vpravo hemisferálně s reziduální lehkou levostrannou hemiparézou
11	VH	62	žena	M1/2	12	0	0	0	
12	DM	57	žena	M1/2	4	0	0	0	St.p. coilingu AN SCA vlevo
13	ŠV	44	muž	M1/2	5	4	4	4	epileptik po úrazu r. 2000 s poraněním LDK, s disociovanou poruchou osobnosti, posttraumatická plegie LDK.
14	BP	63	žena	M2/3t	4	0	0	0	Stp. SAH a zaklipování aneurysmatu A-Co-A
15	SJ	38	žena	M1/2	4	0	0	0	stp.po coilingu symptomatického aneurysmatu ACM
16	KA	58	žena	M1/2	2 a 3	2	2	6	úmrtí na LDN pro status epilepticus
17	ZD	57	žena	M1/2	10	0	0	0	
18	SB	62	žena	ATA (M2-3)	5	0	0	0	
19	JM	50	žena	M1/2	5	0	0	0	bolesti hlavy měsíc trvající, TIA 14. den po operaci.
20	JD	40	muž	M1/2	5	0	0	0	

Tab 5. Charakteristika souboru pacientů bez měření flow a klinické výsledky.

Srovnání změny mRS skóre mezi dnem 0 a dnem 30:

		T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka20)										
		Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky										
Skup. 1 vs. skup. 2		Průměr skup. 1	Průměr skup. 2	Hodnota t	sv	p	Poč.plat. skup. 1	Poč.plat. skup. 2	Sm.odch. skup. 1	Sm.odch. skup. 2	F-poměr Rozptyly	p Rozptyly
rozdíl0_30_s měřením vs. rozdíl0_30_bez měření		1,1428571	1,000000	0,981650	53	0,330732	35	20	0,601119	0,324443	3,432773	0,006029

Závěr: změna skóre mezi dnem 0 a 30 se ve skupině měřených i neměřených pacientů statisticky neliší.

Srovnání změny mRS skóre mezi dnem 0 a dnem 90:

T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka22)											
Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky											
Skup. 1 vs. skup. 2	Průměr skup. 1	Průměr skup. 2	Hodnota t	sv	p	Poč. plat. skup. 1	Poč. plat. skup. 2	Sm.odch. skup. 1	Sm.odch. skup. 2	F-poměr Rozptyly	p Rozptyly
0_90 s měřením vs. 0_90 bez měření	1,057143	1,150000	-0,509156	53	0,612756	35	20	0,416064	0,933302	5,031809	0,000044

Závěr: změna skóre mezi dnem 0 a 90 se ve skupině měřených i neměřených pacientů statisticky neliší.

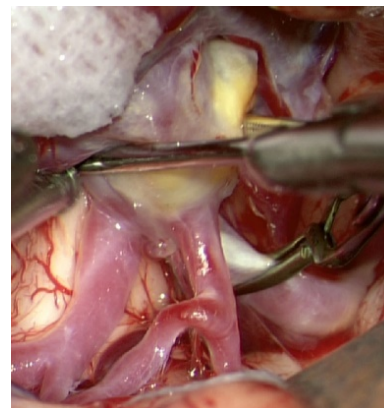
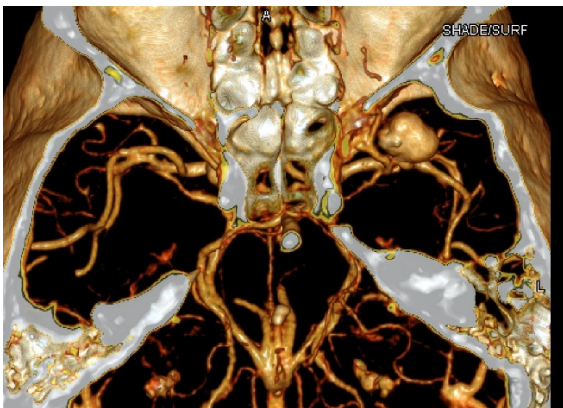
B.1.4 Diskuze

Hodnocení vlivu TTF při operaci mozkových aneurysmat se věnovala podrobně Amin-Hanjani (Amin-Hanjani et al 2008). Zjistili pokles průtoku o více než 25 % u 31 pacientů. Repozice klipu vedla k úpravě u 27 pacientů. Okamžité posouzení toku na TTF s možností korekce se ukázalo jako velký přínos metody. Kirk využil metodu při operaci 21 aneurysmat. Korekci klipu provedl ve 14 % případů. (Kirk et al 2009)

Při porovnání našich souborů 1 (flow) a 2 (non flow) nebyl zaznamenán rozdíl v 30denní a 90denní morbiditě/mortalitě. To přináší otázník o významu peroperační metody TTF.

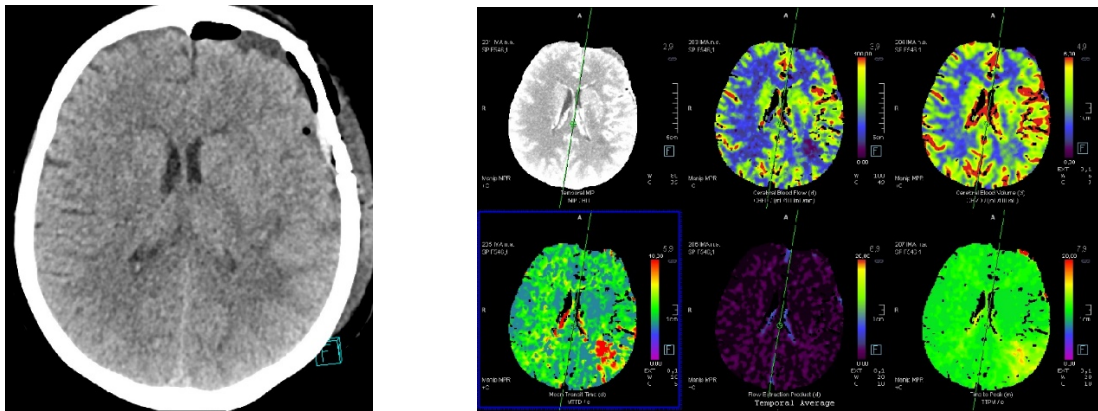
Detailní rozbor ukazuje několik výstupů:

1. Peroperační metoda TTF pomohla ve skupině 1 identifikovat patologické snížení průtoku po zaklipování ve dvou případech. V našem souboru 1 jsme repozici klipu provedli u pacienta 25, kde došlo k redukci toku z 7,1 na 1 ml/min a po repozici klipu se průtok vrátil k původním hodnotám. Lze předpokládat, že TTF v tomto případě zabránila rozvoji teritoriální ischemie. U pacienta 27 se jednalo o vazospasmus, který pominul po lokálním podání papaverinu.
2. Byly zaznamenány dva případy falešné positivity. Pacient 11 měl po klipu pokles flow na M2(t) o 42 %. ICG, MEP a vizuální situace v operačním poli svědčila pro optimální polohu klipu. Ten byl ponechán in situ. Klinický výsledek byl příznivý. Pacient 16 měl po klipu pokles flow na M2(t) o 50 %, Ostatní parametry byly příznivé. Postupováno bylo stejně jako v případě 11, opět s příznivým efektem.
3. V souboru byly zaznamenány dva případy (pacienti 20 a 32), kdy technicky nebylo možno po zaklipování měřit temporální větev M2.
4. Kombinace všech perioperačních monitorovacích modalit nemusí zabránit ischemickému deficitu. Příkladem je pacientka 8 - 61letá žena, s incidentálním aneuryzmatem M1/2 vlevo.



Obr. 24. Objemná výduť M1/2 vlevo na CTA, vpravo peroperační fotografie s patrnou sklerózou krčku.

Na CTA je objemné 15 mm AN MCA v oblasti M1/2 vlevo. Peroperačně byly monitorovány MEP, TTF a provedena ICG VA. Krček vaku byl sklerotický. Dvojitý klip v oblasti sklerózy krčku byl nezbytností, vzhledem k průsaku do vaku po zaklipování na ICG. Peroperační hodnoty MEP byly fyziologické, flow před a po klipu bez patologie a ICG prokázalo vyřazení výdutě z cirkulace. Navzdory příznivým monitoračním parametrům se pacientka probudila s poměrně těžkou senzoricou afází, která se v průběhu času upravila jen částečně.



Obr. 25. Nativní CT a CT perfuze prokazuje ischemii temporálně ve Wernickeho oblasti.

Distální embolizace do elokventní řečové oblasti nemůže být kombinací TTF, ICG a MEP zachycena. Riziko manipulace s výdutí při skleróze vaku/krčku bude vždy přítomno. Tento případ ukazuje limity multimodálního peroperačního monitoringu při operacích mozkových aneuryzmat.

B.1.5 Závěr

1. Současná operativa mozkových aneuryzmat je spojena s multimodálním peroperačním monitoringem k zajištění bezpečnosti. Na našem pracovišti využíváme kombinace TTF, MEP a ICG při operativě incidentálních MCA aneuryzmat.
2. Zhodnocení souborů incidentálních MCA aneuryzmat s TTF monitorací (soubor 1) a bez ní (soubor 2) neprokázal rozdíl v 30denní a 90denní morbiditě/mortalitě souborů hodnocených dle mRS.
3. Detailní rozbor souboru 1 ukazuje na konkrétních případech profity metody TTF. Zároveň ukazuje její limity.
4. Multimodální intraoperační monitoring nezajišťuje eliminaci technické chyby s dopadem na klinický stav pacienta.

B.2 Flowmetrie u mozkových bypassů

Historický soubor flowmetrie u mozkových bypassů v ischemické indikaci byl publikován na pracovišti školitele v roce 2011 (*Fiedler, J., et al., 2011*). Bylo to před publikací COSS studie. Ve skupině 10 pacientů flowmetrie vedla u tří pacientů k modifikaci operačního postupu.

U prvního pacienta byl dobrý průtok bypassem alterován útlakem donoru při sutuře dury; povolení stehu vedlo k obnovení adekvátního krevního toku. U dalšího pacienta průtok v obou větvích STA vedl ke změně původně zvažovaného donoru. V rozporu s DSA měla parietální větev významně vyšší průtok a byla proto zvolena za donor. V posledním případě byl flowmetrií zaznamenán insuficientní cut flow 2,14 ml/min donorem. Po endarterektomii (desobliteraci) ústí donoru došlo ke zlepšení toku na 14 ml/min. Ve všech třech případech byl bypass dlouhodobě patentní a CVRC upravena.

B.2.1 Flow Augmentation

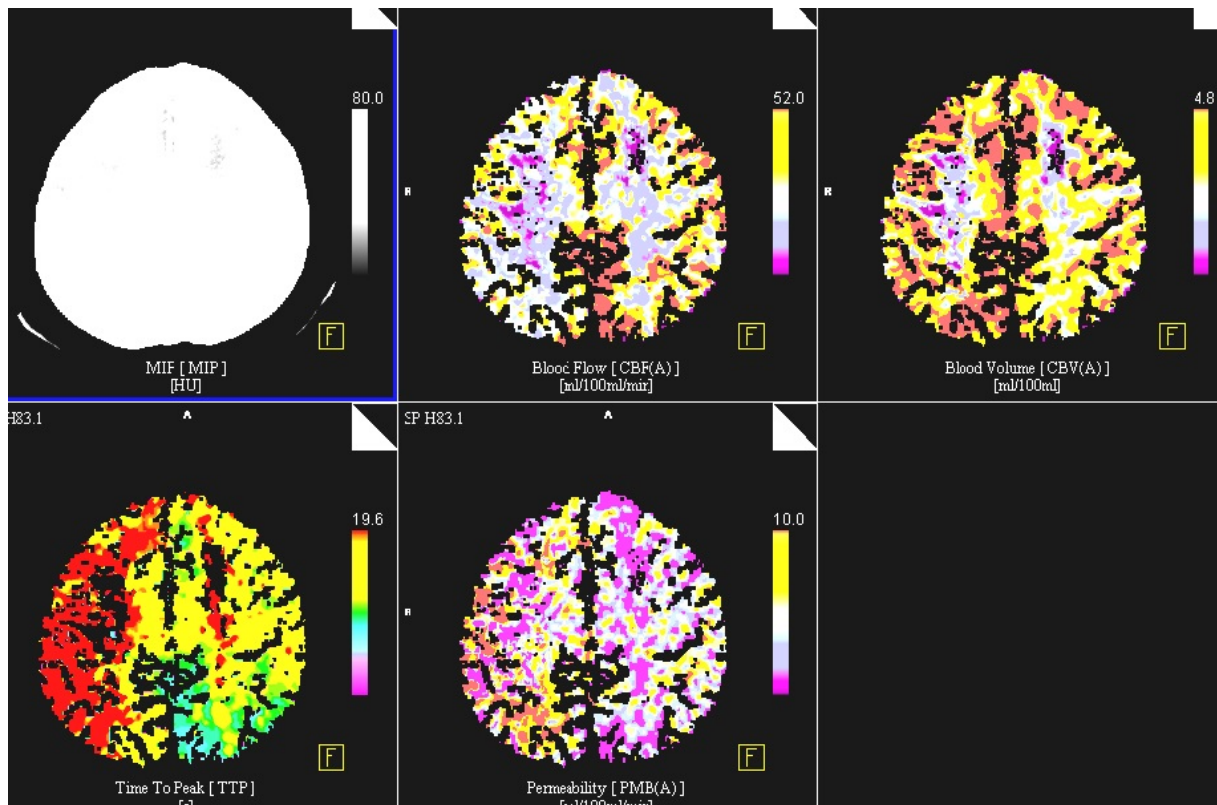
(zvýšení perfuze po bypassu)

B.2.1.1 Flow Augmentation v ischemické indikaci (uzávěr ICA)

Vývoj indikací nízkoprůtokového bypassu u chronického uzávěru vnitřní karotidy je podrobně popsán v obecné části. Historická skupina pacientů, u kterých byla provedena peroperační flowmetrie pak v předchozí kapitole. Četnost operací na naší klinice se v důsledku extrémně přísného indikačního síta snížila na jednotky za rok. Vybraní pacienti musí být klinicky nestabilní, musí mít vyčerpanou cerebrovaskulární reaktivitu, prokázanou na bazálním a zátěžovém perfuzním CT a zároveň na MR NOVA. Z těchto důvodů jsme se omezili na dva kazuistické příklady bypassu, u kterých flowmetrie prokázala úspěšnost, respektive neprůchodnost.

Kazuistika 1

60letý muž byl vyšetřován pro opakované TIA z oboustranného karotického povodí. Na CTA byl prokázán oboustranný uzávěr extraniálních karotid. Pacient absolvoval CT perfuzní vyšetření bazální a se zátěží diamoxem s průkazem vyčerpané reaktivity. MRI NOVA prokázala nedetekovatelné toky M1 úseku MCA vpravo.



Obr 26. Perfuzní CT s průkazem vyčerpané CVRC.

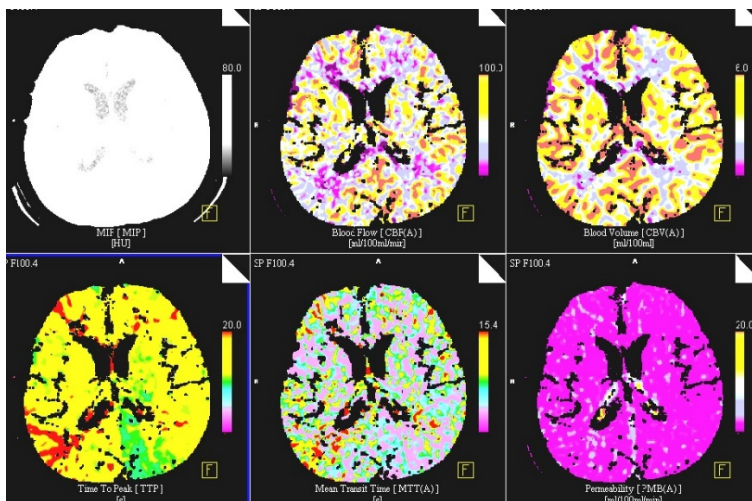
Operace

Byl proveden konvenční bypass STA–M4. Donorem byla frontální větev temporální tepny. Průtok donorem po jeho protěti distálně (cut flow) byl peroperačně 20 ml/min. End-to-side sutura byla provedena 12 jednotlivými stehy. Poté byl znovu změřen průtok v donoru (bypass flow) který byl 47 ml/min. Vyšší toky vidáme někdy v důsledku postischemické hyperemie. Cut flow index (CFI) tak dosahoval 2,35. Z prací Amin-Hanjani je známo, že CFI pod 0,5 znamená riziko neprůchodnosti bypassu v delším časovém úseku. V našem případě byl CFI velmi příznivý.

Pacient je po operaci bez přetrvávající klinické symptomatologie.



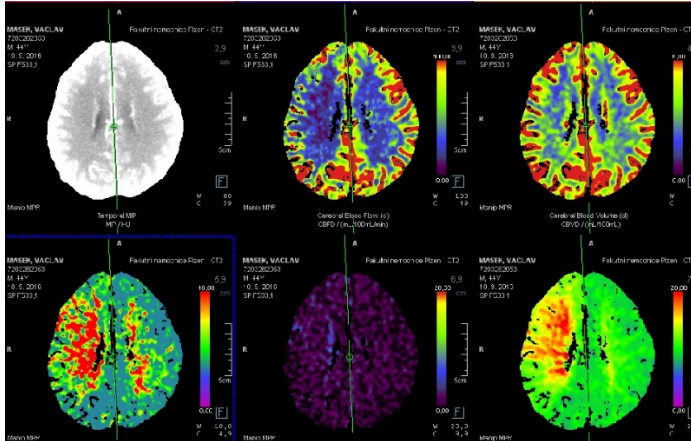
Obr 27. Na kontrolní CTA je dobře patrný v místě defektu kraniotomie dobře patentní bypass.



Obr 28. Kontrolní perfuzní CT prokazuje úpravu CVRC

Kazuistika 2

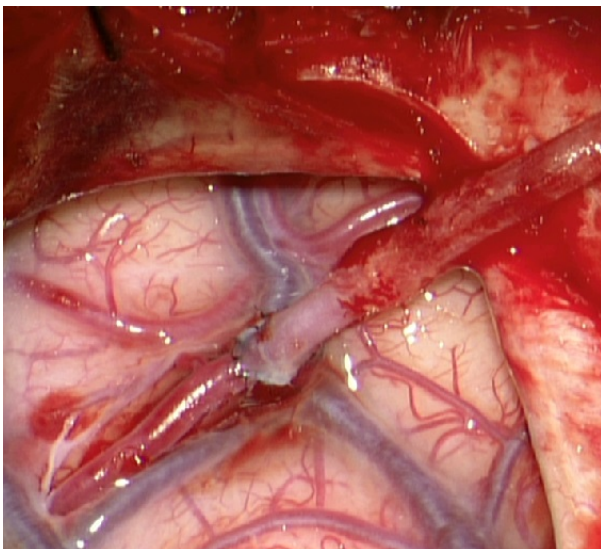
44letý pacient byl přijat s uzávěrem ICA vpravo, opakované TIA z pravostranného povodí, finálně lehká levostranná centrální hemiparéza. Vyčerpaná CVR.



Obr. 29. Vyčerpaná CVR.

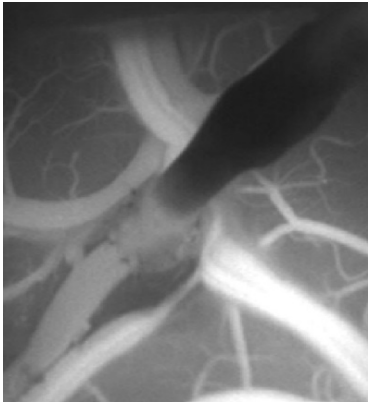
Operace

Konvenční STA-MCA bypass. Donorem je parietální větev STA, recipient M4 adekvátní velikosti. Cut flow je 14 ml/min. Vlastní anastomóza je provedena technikou 12 jednotlivých stehů Ethilonem 10/0.

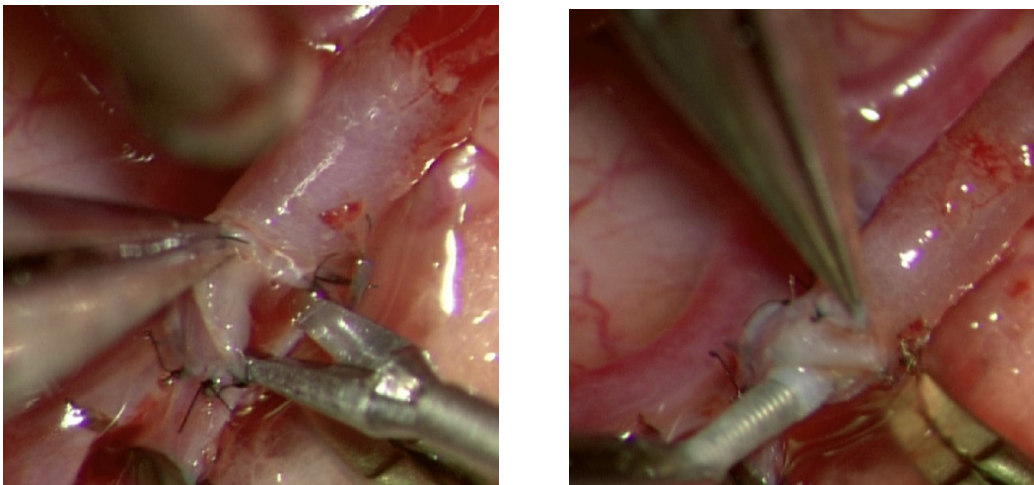


Obr. 30. Stav po našíbypassu. Není patrna komplikace v technice sutury.

Po našití bypassu bylo provedeno měření flowmetrem, které prokázal nulový průtok. Byla provedena verifikace neprůchodnosti donoru pomocí ICG videoangiografie. Bylo přistoupeno k revizi anastomózy povolením několika stehů v anastomóze. Nález neprokazuje technickou chybu v podobě „double wall stich“.



Obr. 31. ICG videoangiografie. Není viditelný průtok krve donorem.



Obr. 32. Parciální rozpuštění sutury mikroanastomózy (vlevo) a zavedení Fogartyho katétru č. 2 do donoru (vpravo). Po jeho vytažení byl extrahován bílý trombus a obnoven průtok tepnou.

Po opětovném zašití anastomózy se bohužel průtok vrátil k nule. Nepříznivý nález neprůchodnosti bypassu následně prokázala CTA. Příčina neúspěchu nebyla v tomto případě zjištěna. Technická chyba nalezena nebyla. Na vině by mohl být potenciální prokoagulační stav. Flowmetrie jasně predikovala patologický stav.

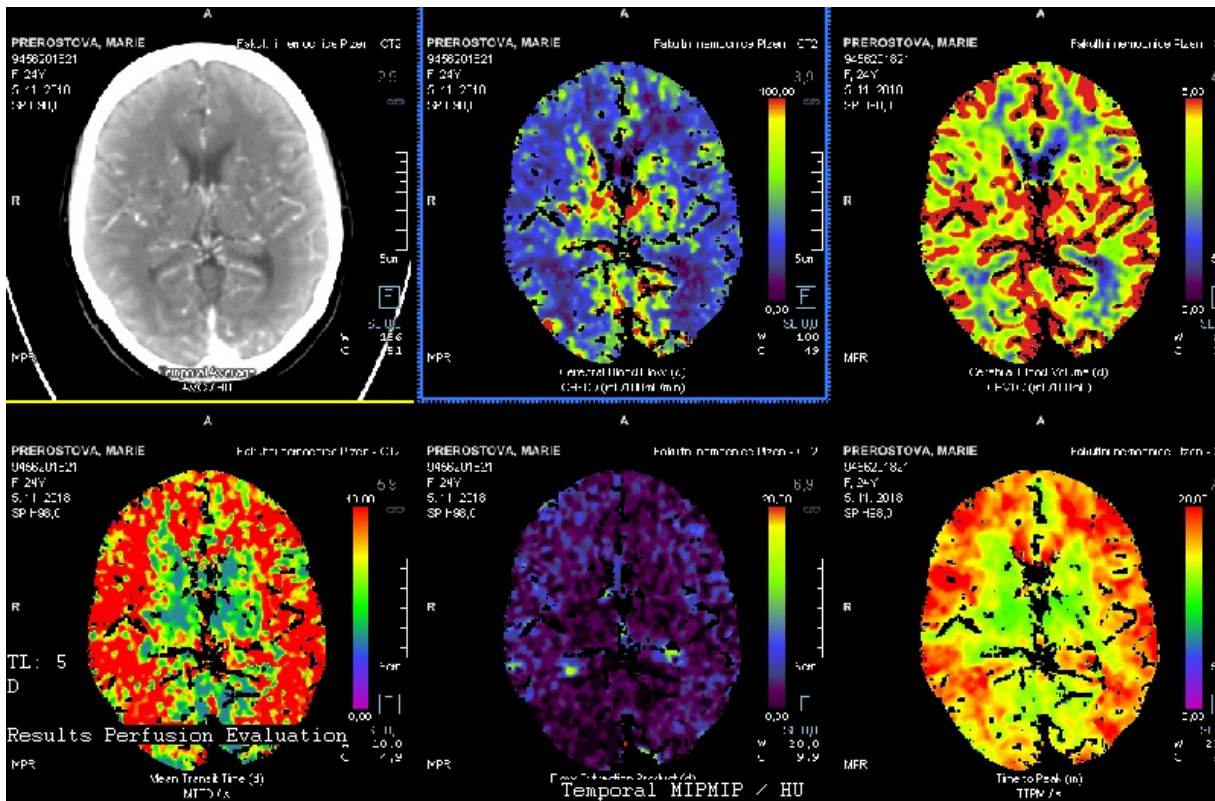
B.2.1.2 Flow augmentation EC-IC bypass u pacientky s nemocí Moyamoya.

Rozbor nemoci Moyamoya je proveden v obecné části. Při její steno-okluzivní formě u mladistvých je chirurgická léčba v podobě kombinace přímé a nepřímé revaskularizace jedinou účinnou terapeutickou modalitou. Výskyt je u nás zcela raritní a naše kazuistika je ukázkou velmi časně revaskularizace – kolateralizace. Z těchto důvodů považujeme za vhodné jí zařadit do práce, i když bohužel pro technické problémy se sondou zde přímá flowmetrie nemohla být provedena.

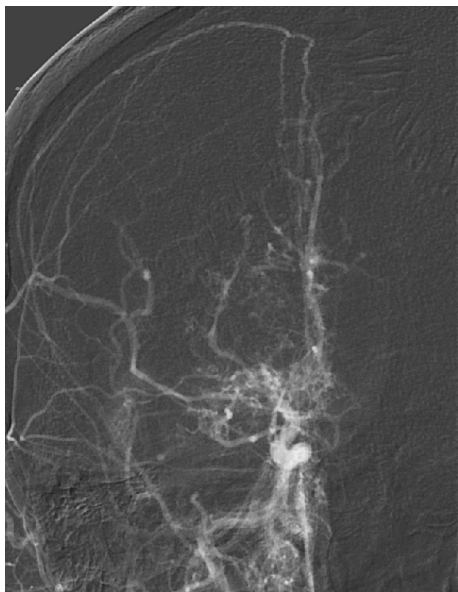
Kazuistika

24letá pacientka byla 2 roky ambulantně sledována neurologem pro iritační kvadrusymptomatologii s lehkou levostrannou hemiparézou, vaskulární epilepsii a lehkou kognitivní poruchu. Byla zjištěna Moyamoya vaskulitida a zahájena konzervativní léčba imunosupresivy (cyklofosfamid, kortikosteroidy) a antiepileptiky. V září 2018 byla hospitalizována pro TIA z pravostranného karotického povodí. Na provedené DSA byla prokázána progresivní vaskulitida, t.č. ve stadiu III dle Suzukiho (Tab.2). Pacientka byla prezentována k neurochirurgickému posouzení. Na doplněném CT perfuzním vyšetření (klidové a zátěžové s použitím acetazolamidu) byla patrná kritická perfuze a vyčerpaná cerebrovaskulární reaktivita obou hemisfér s převahou vpravo. Byla indikována revaskularizační operace.

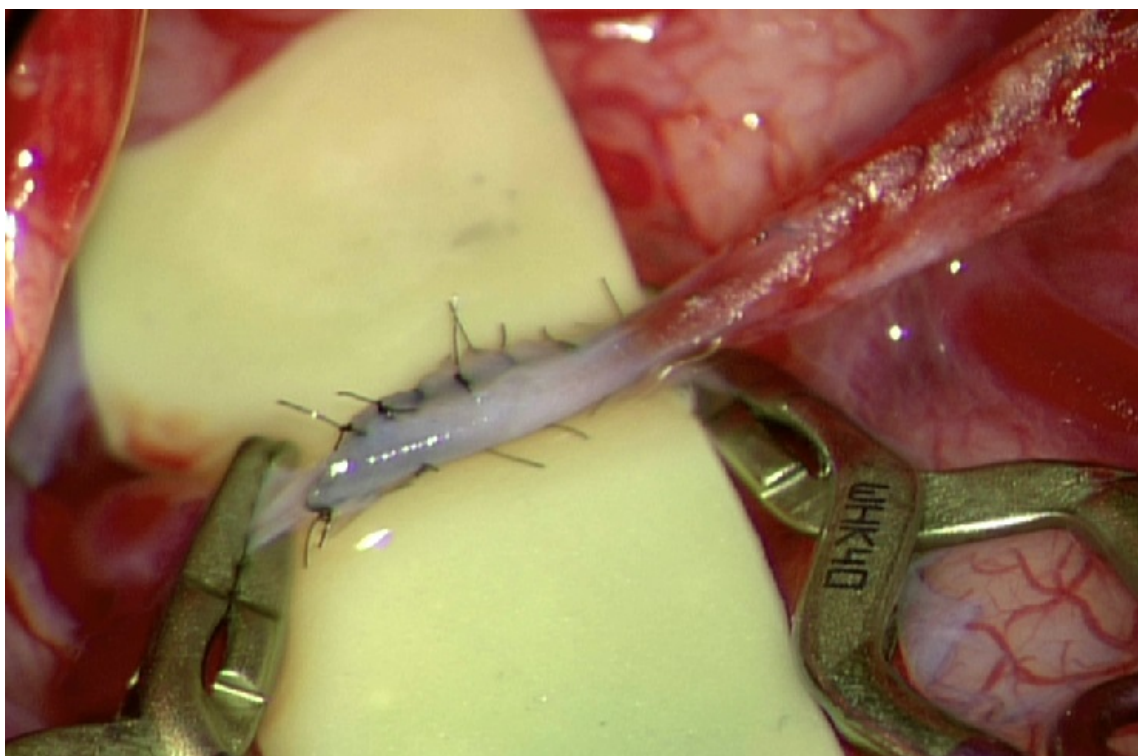
V únoru 2019 byla na naší klinice provedena kombinovaná přímá a nepřímá revaskularizace pravé hemisféry – EC-IC bypass (STA–M4 MCA) a EDAMS (encefalo-duroarterio-myo-synangióza). EDAMS, tedy nepřímá revaskularizace, dá v ideálním případě vznik neokapilár mezi donorem (sval, dura, tepna) a povrchem mozku. Na rozdíl od ischemických pacientů cirkulují u pacientů s nemocí moyamoya v krvi cévní růstové faktory, které vznik kolaterál podporují. Hospitalizace proběhla bez závažných komplikací, pacientka byla 16. pooperační den propuštěna do domácího ošetřování. Měsíc po operaci byla provedena kontrolní DSA, kde byl patrný dobře průchodný bypass. Po třech měsících po operaci bylo zopakováno klidové a zátěžové perfuzní vyšetření (za použití acetazolamidu), na něm bylo patrné zlepšení perfuze v pravé mozkové hemisféře s obnovením původně vyčerpané CVR. V levé hemisféře trval nález poruchy perfuze i vyčerpané CVR. Je plánována revaskularizace levé hemisféry obdobným postupem.



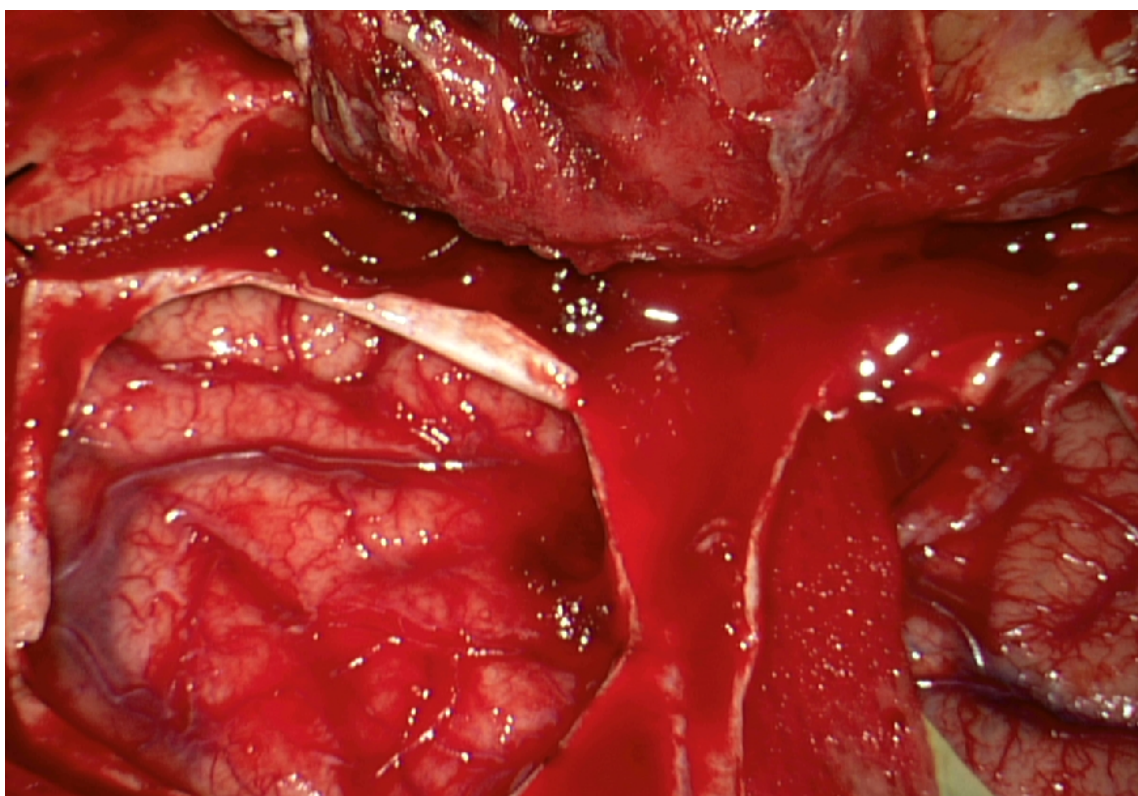
Obr. 33. Porucha perfuze v obou hemisférách pacientky před operací.



Obr. 34. Předoperační DSA ukazuje bazální kolaterály charakteru obláčků dýmu. Je patrná okluze MCA a chabá perfuze její periferie.



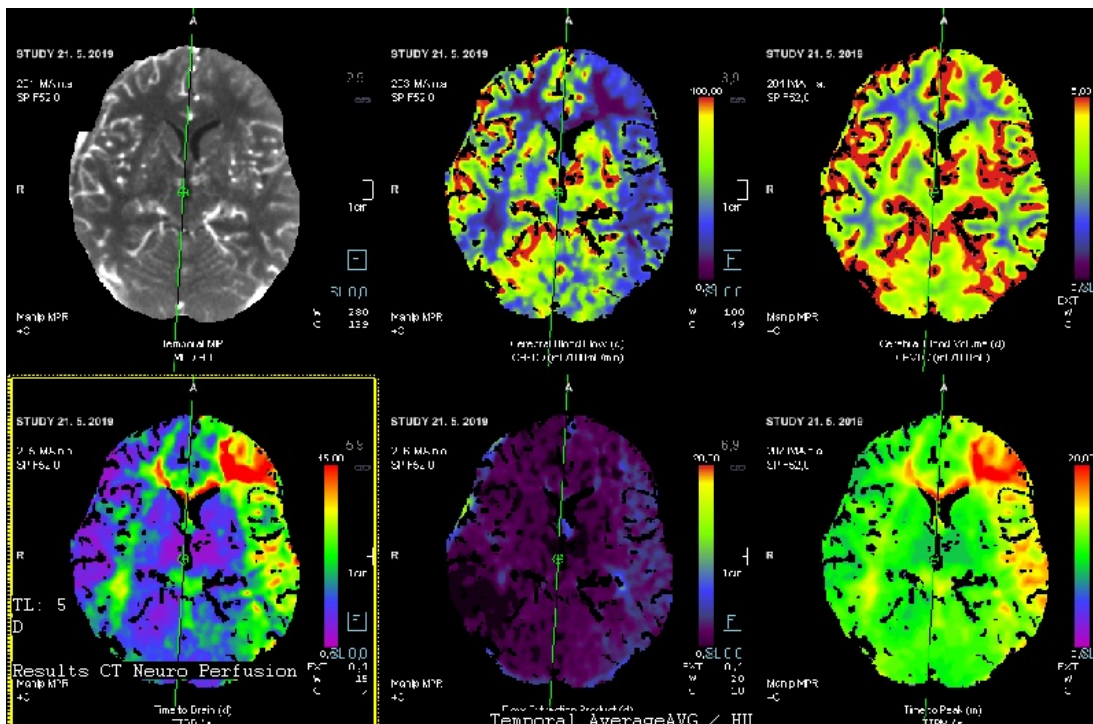
Obr. 35. EC-IC bypass (STA-M4 MCA) provedený jako přímá revaskularizace



Obr. 36. Příprava na EDAMS – mozek je zbavený arachnoidey v místě sulkálních tepének. Jsou vytvořena dvě durální okna pro naštíhí m. temporalis s ponechaným středovým můstkem dury, šetřícím a. meningeal media



Obr. 37. Pooperační DSA ukazuje patentní EC-IC bypass vpravo a bohatou kolateralizaci nepřímou v oblasti střední mozkové tepny.



Obr. 38. CT perfuze s odstupem 3 měsíců od operace ukazuje úpravu perfuze pravé mozkové hemisféry spolu s trvající vyčerpanou cerebrovaskulární rezervou vlevo.

B.2.2 Flow Preservation

(zajištění perfuze bypassem po obětování magistrální tepny)

B. 2.2.1 Balón okluzní test (BTO)

Obecné principy BTO jsou zpracovány v kapitole A.6. Jak bylo zmíněno, možných modifikací metodiky je celá řada.

Na naší klinice využíváme BTO v normotenzi a hypotenzi s hodnocením klinického stavu pacienta (*Scott, S.C., et al. 1995*).

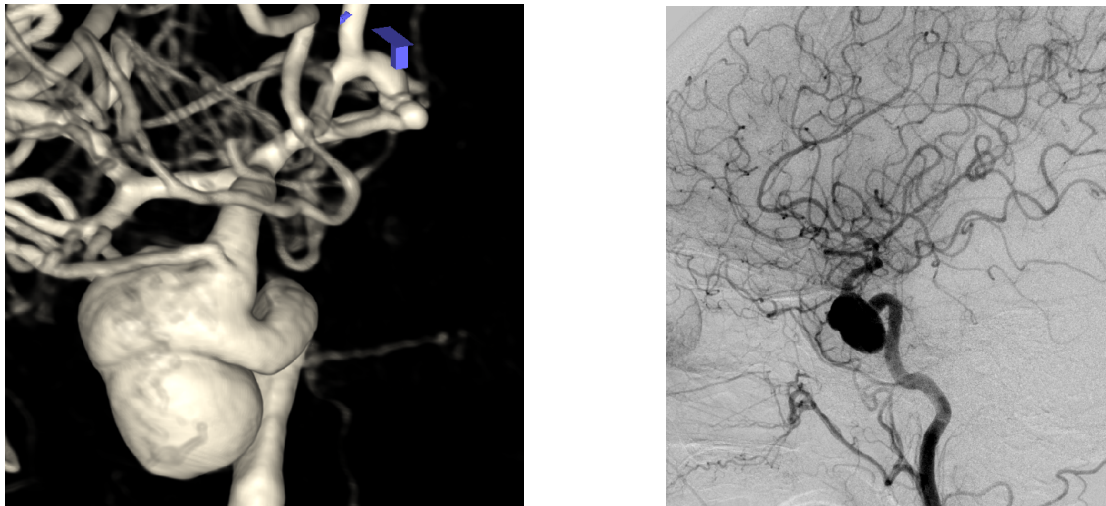
Intervenční radiolog u dobře hydratovaného, hemodynamicky stabilního pacienta zavede katétr do intrakavernózní porce ICA a po heparinizaci inflací silikonového balónku dosáhne uzávěru průtoku krve tepnou. Následně jsou po dobu 20 minut každých 5 minut hodnoceny neurochirurgem nebo neurologem funkce hlavových nervů, motorické funkce a řeč. Pokud dojde k poruše hybnosti, poruše řeči nebo parézám hlavových nervů, je pokus ihned ukončen a balónek odstraněn. BTO je hodnocen jako pozitivní. V opačném případě je za pomoci intravenózních hypotenziv (nitroprusid sodný) indukována hypotenze. Další klinické hodnocení probíhá po dosažení 2/3 normotenzního středního arteriálního tlaku pacienta. Znovu jsou po dobu 20 minut každých 5 minut hodnoceny výše uvedené parametry. Neurodeficit během vyšetření opět značí pozitivitu testu. Pokud je BTO negativní, je riziko uzávěrů ICA relativně nízké. V případě positivity v normotenzi je indikován high-flow bypass, optimálně s předchozím protektivním nízkoprůtokovým bypassem. Pozitivita v hypotenzi nabízí více možností. Pokud rozdíl průtoku před a po uzávěru ICA je v MCA potenciálně dostatečně kompenzován tokem v STA (hodnoceno podle cut flow), pak je možno použít STA jako donor i ve smyslu flow preservation (*Amin-Hanjani, S., 2010*). V opačném případě je řešením vysokoprůtokový bypass se štěpem a. radialis bez protektivního nízkoprůtokového bypass.

B.2.2.2 Klinická aplikace

Nutnost obětování ICA při ošetření neklipovatelného aneuryzmatu je situace relativně vzácná. Indikace vysokoprůtokového bypassu při BTO pozitivitě v těchto situacích je pak skutečně raritní. V dalším textu uvádíme dvě kazuistiky z našeho pracoviště, které dokumentují komplexitu rozhodování včetně užití flowmetrie.

Kazuistika 1

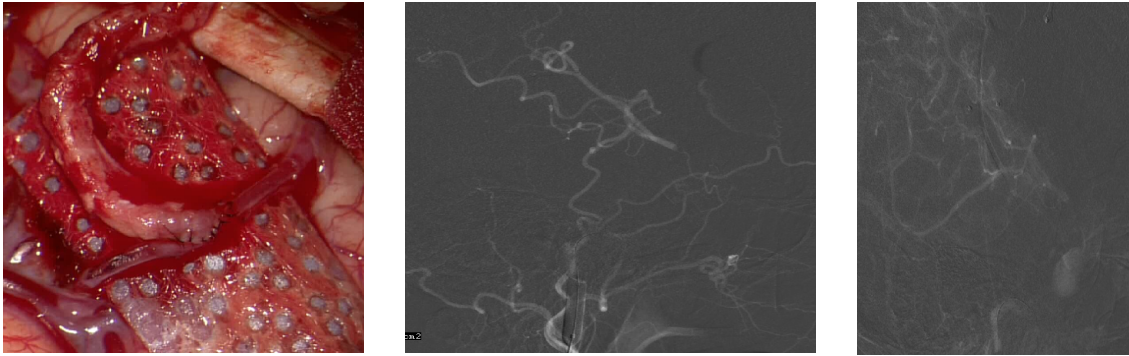
59letá pacientka byla přijata do spádové nemocnice pro tři dny trvající bolesti hlavy a dezorientaci. Provedené CT prokázalo subarachnoidální krvácení s šířením podél tentoria vlevo. CT angiografie a následná DSA zobrazila gigantické intrakavernózní karotické aneuryzma vpravo.



Obr. 39. DSA 3D a bočný snímek intrakavernózního aneuryzmatu. Na 3D snímku je v místě modré značky patrné drobné aneuryzma ACom.

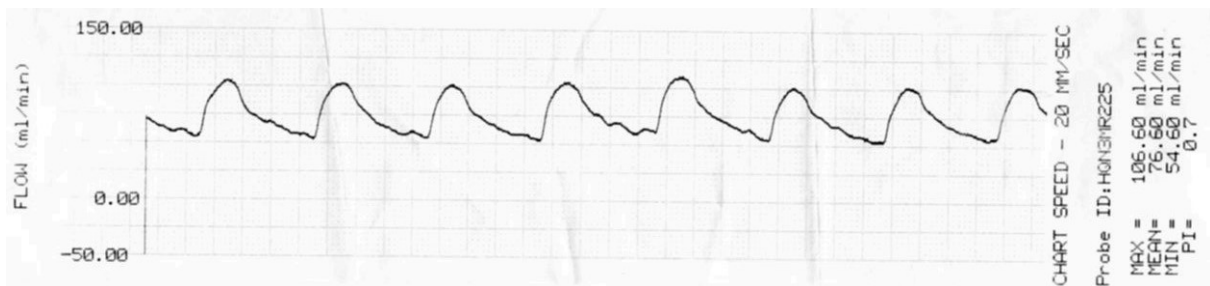
Další neprasklé aneuryzma velikosti 3 mm bylo na přední komunikující tepně. Intervenční radiologové kontraindikovali po diskuzi na národní a mezinárodní úrovni použití stentu/flowdiverteru. Důvodem byl významně rozdílný průsvit ICA ve vstoku a výtoku z výdutě. Byl proveden balón okluzní test (BTO), který pacientka netolerovala. Po dvou minutách uzávěru v normotenzi došlo k plegii levé horní končetiny.

Byl proto indikován high-flow bypass ECA-M2(t). Z důvodů zajištění bazální perfuze po dobu uzávěru MCA byl nejprve našit low-flow bypass STA-M4 v povodí dolní M2 větve.



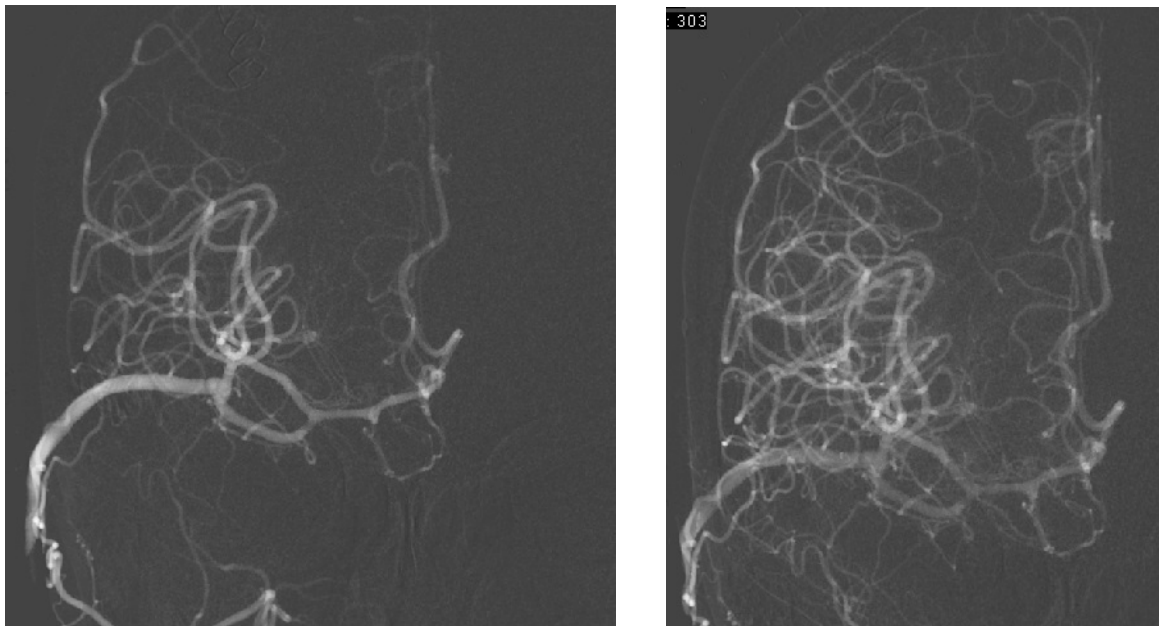
Obr. 40. Low-flow bypass peroperačně a na DSA následný den – arteriální a kapilární fáze.

Den po operaci byl opakován BTO, který byl negativní. V odstupu 2 dnů proběhla další operace: zaklipování aneuryzmatu ACom a high flow ECA-M2(t) bypass vpravo s radiálním štěpem. Po ověření průchodnosti štěpu (krevní průtok 77 ml/min) byla uzavřena ICA na krku a nad odstupem a. ophthalmica.



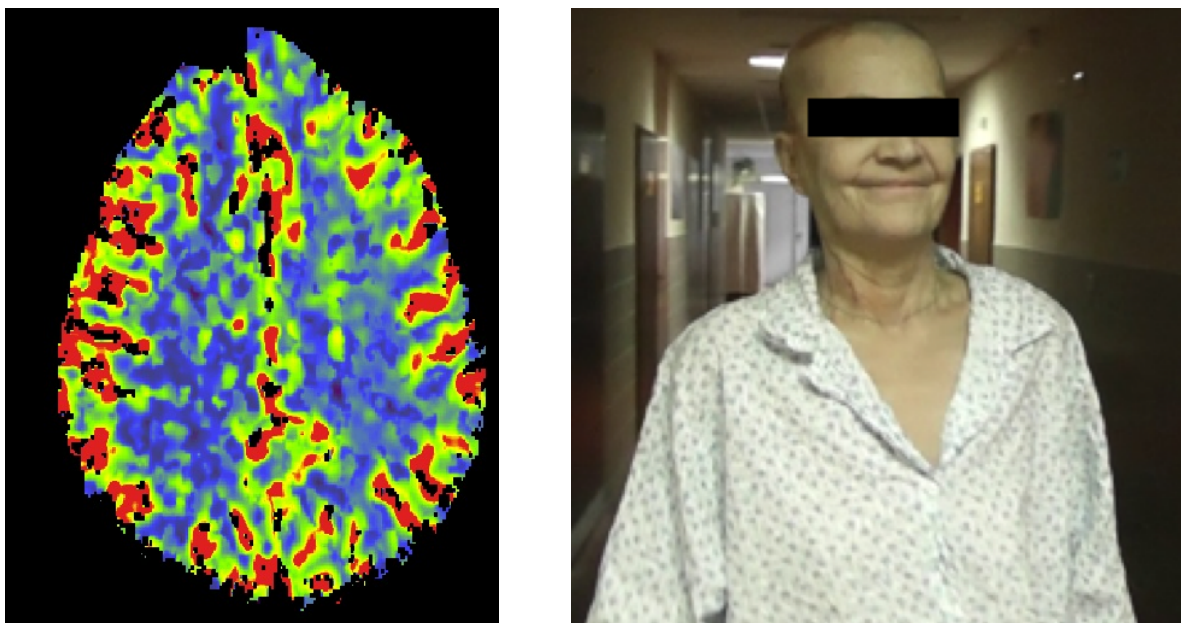
Obr 41. Flowmetrie štěpu a. radialis. Průtok je 77 ml/min

Došlo tím k vyřazení výdutě z cirkulace a zároveň zajištění perfuze vysokoprůtokovým štěpem. Pacientka byla před výkonem upozorněna na riziko slepoty v důsledku uzavření průtoku v a. ophthalmica. To se literárně pohybuje v jednotkách procent. Pacientka riziko akceptovala. K zhoršení vizu po operaci však nedošlo.



Obr. 42. Arteriální a kapilární fáze DSA ukazuje dobrou perfuzi hemisféry, zajištěnou radiálním štěpem.

Kontrolní perfúzní CT jen potvrdilo příznivý grafický nález, který je v korelaci s dobrým klinickým stavem 6 měsíců po operaci.



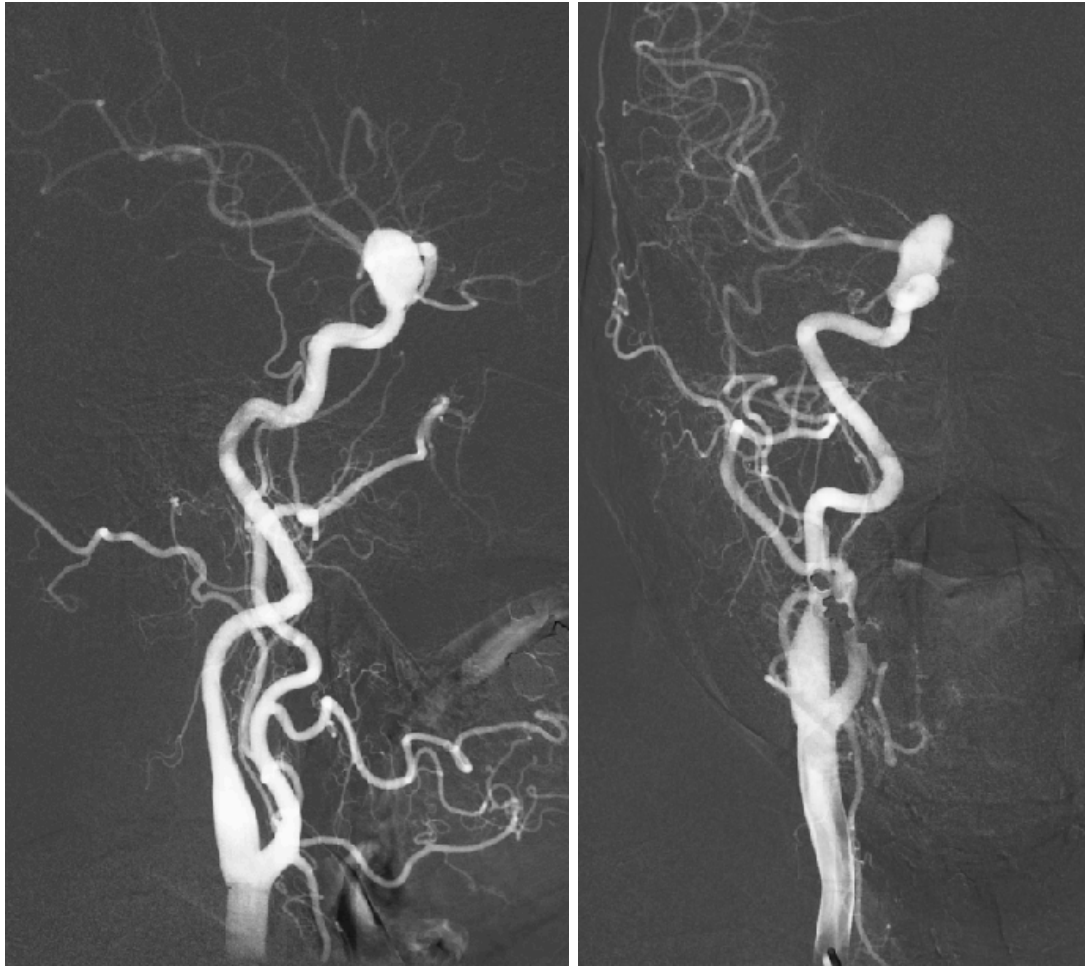
Obr 43. Příznivá pooperační perfuze a klinický stav pacientky.

Kazuistika 2

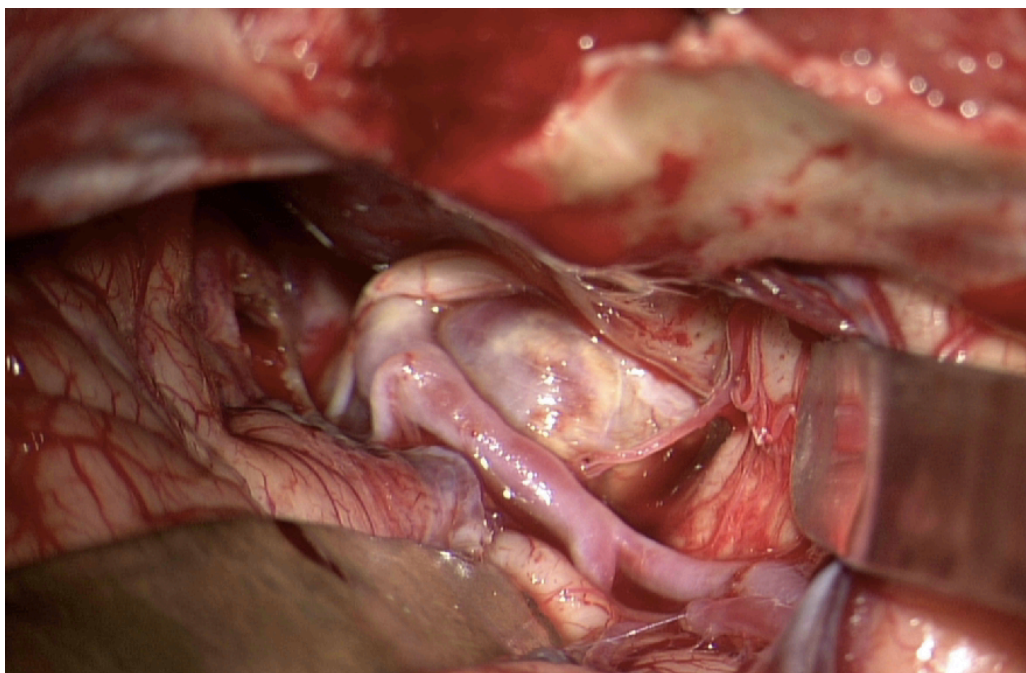
Flow preservation EC-IC bypass u pacientky s aneuryzmatem ICA.

70letá pacientka byla přijata na naši kliniku pro symptomatické neprasklé aneuryzma segmentu C6 ICA vpravo. Vakovitá výduť o rozměru 11x9 mm se projevila těžkou poruchou zraku pravého oka při kompresi segmentu C7 pravé ICA a odstupu M1 MCA vpravo. Byl proveden balónkový okluzní test (BTO) pravé krkavice, její uzávěr při uměle navozené arteriální hypotenzi byl negativní. Byl indikován uzávěr pravé ICA na krku s protektivním STA-MCA bypassesem vpravo. Kompletní uzávěr výdutě nebyl vzhledem k anatomickým poměrům bezpečně proveditelný. Po uzávěru ICA byla uměle navozena hypotenze. MEP byly po celou operaci bez poklesu.

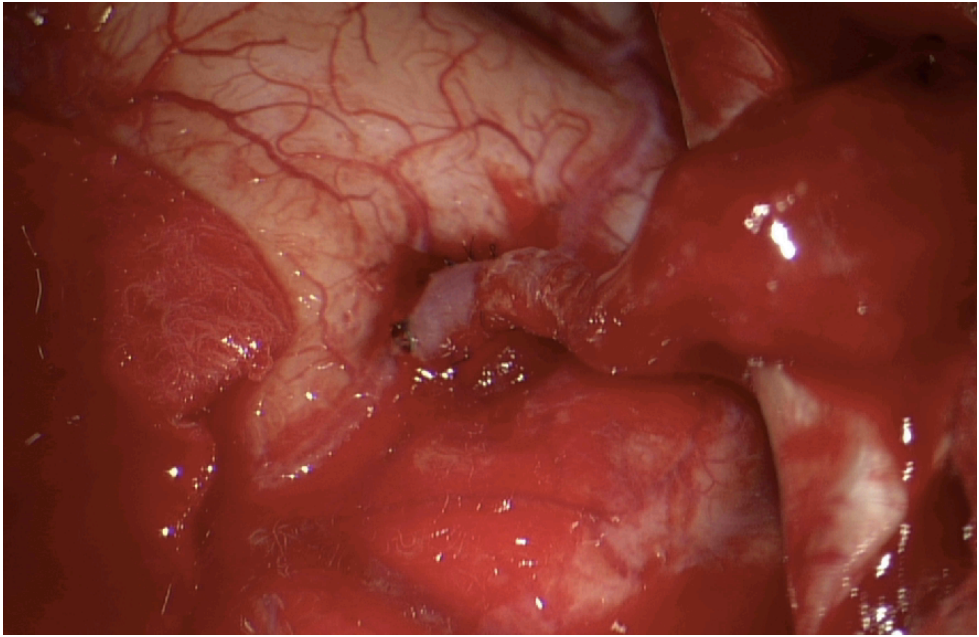
Pro vyvedení z anestezie byla pacientka v dobrém klinickém stavu s nezměněným neurologickým nálezem, tj. porucha vizu vpravo, bez poruchy hybnosti končetin. Na CT perfuzi mozku byl prodloužený TTP v pravé hemisféře. CT angiografie neprokázala průchodnost bypassu. Možnou příčinou byly anatomické poměry recipientní tepny-malý průsvit, nutnost aplikace dočasných svorek příliš blízko arteriotomii. První pooperační den se rozvinula středně těžká levostranná hemiparéza. Po navýšení systolického krevního tlaku na 150 mm Hg se neurologický deficit upravil ad integrum. Další průběh hospitalizace byl nekomplikovaný, pacientka byla 19. pooperační den propuštěna do domácího ošetřování v klinickém stavu shodném s příjmovým. V plánu je kontrolní DSA s odstupem 2 měsíců od operace, která doposud neproběhla.



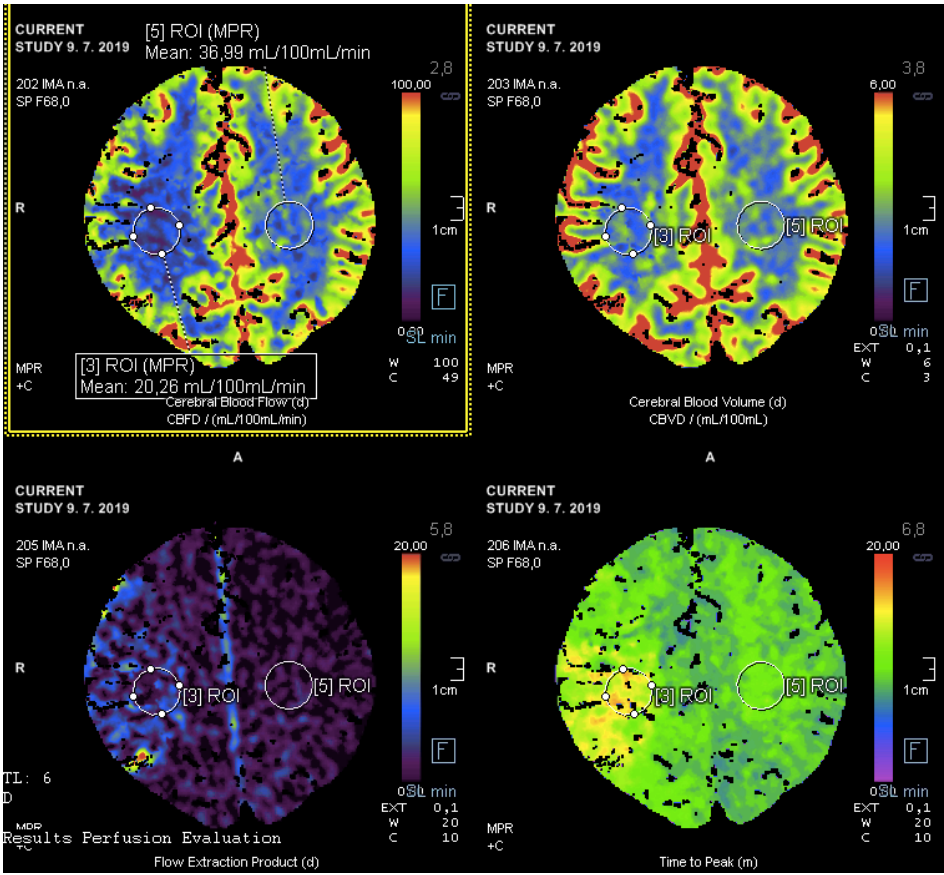
Obr.44. DSA ukazuje aneuryzma pravé ICA, vlevo bočná a vpravo předozadní projekce.



Obr.45. Peroperační pohled na aneuryzma, operační přístup je pterionální kraniotomií vpravo.



Obr. 46. Zhotovený nízkoprůtokový EC-IC bypass STA-MCA vpravo.



Obr. 47. Pooperační CT perfuze. Horní řada zleva: CBF, CBV. Spodní řada zleva: FEP, TTP.

C. Experimentální část

C.1 End-to-end anastomóza na karotickém modelu potkana

Srovnání techniky sutury.

C.1.1 Úvod

Mikrovaskulární anastomóza je procedura využívaná v neurochirurgii, plastické chirurgii a transplantační chirurgii. K zajištění dostatečného průtoku anastomózou je nutné správné zvládnutí operační techniky. Mezi nejčastější komplikace výkonu patří omezení průtoku v místě anastomózy nebo nadměrné krvácení z anastomózy. Komplikace jsou ve většině případů způsobené technickou chybou. S odstupem od provedení mikroanastomózy se očekává zvýšení průtoku vlivem tzv. maturace. Předpokládáme, že místo sutury se vlivem pulzatility tepny a přímého působení krevního tlaku rozpíná. Tím je možné zvětšení průsvitu anastomózy a zvýšení krevního průtoku.

Při mikroanastomóze se běžně využívají různé druhy sutury. Standardem je použití jednotlivých stehů. Výhodami je předpokládané umožnění maturace a snadná oprava chyb. Pokračovací steh je využíván méně často. Předpokládanou výhodou je časová úspora (*Barros, R. S. M. de, et al., 2017*). Vzhledem k mechanické pevnosti kontinuální sutury je umožnění maturace nejisté. V současné literatuře jsou popisovány jak nevýznamné rozdíly (*Alghoul, M. S., 2010*) obou technik, favorizace použití jednotlivých stehů (*Radad, K., El-Shazly, M., 2007*) i favorizace pokračujícího stehu (*Chen, Y.-X., et al., 2001*).

Maturace anastomózy hraje podle našeho názoru klíčovou roli při snaze o dosažení dostatečného průtoku rekonstruovanou cévou. Vliv techniky sutury za pomoci kvantitativního měření průtoku s odstupem od operace nebyl doposud zkoumán. Naším záměrem bylo určit, zda použití obou zmiňovaných operačních technik poskytuje vhodné prostředí pro maturaci mikroanastomózy. Při pokusu bylo použito hodnocení exaktním invazivním měřením krevního průtoku metodou transit time flowmetrie a histologické vyšetření.

C.1.2 Soubor a metodika

Soubor tvořily dvě skupiny potkanů Long-Evans. V první skupině skupině bylo 19 zvířat, 12 samic a 7 samců, hmotnost byla 400-650 g. V druhé skupině bylo 7 samic a 6 samců, hmotnost byla 400-650 g. Průměrné stáří zvířat bylo 5 měsíců. Důvodem pro volbu zvířat v této věkové kategorii byly příhodnější fyzické dispozice zvířete. V první skupině byla provedena mikrovaskulární anastomóza na společné karotidě jednotlivými stehy, ve druhé pokračovacím stehem.

Společná karotická tepna potkana poskytuje vhodný laboratorní model mikroanastomózy (*Mikami, T., et al., 2018*). Průměr tepny se pohybuje nejčastěji v rozmezí 0,7 – 1,2 mm v závislosti na věku a velikosti zvířete. Přístup k tepně je relativně snadný a tepna poskytuje dostatečně dlouhý průběh bez větvení.

Operovaný potkan byl uložen v supinační poloze, horní končetiny byly lehce odtaženy laterálně a zajištěny, aby se předešlo nechtěnému zranění zvířete např. při práci s nástroji s dlouhými branžemi. Tepová frekvence a oxygenace zvířete byla kontinuálně monitorována pulzním oxymetrem, sonda byla umístěna na kořeni ocasu nebo dolní končetině (Edan H100B). K celkové anestezii zvířete byla použita intraperitoneálně podaná směs propofolu (100 mg/kg), medetomidinu (0,1 mg/kg) a nalbufinu (0,1 mg/kg). Hloubka anestezie byla kontinuálně monitorována, v případě nutnosti prodloužení byla podána výše uvedená směs v množství 25 % iniciální dávky.

Místo incize bylo oholeno a desinfikováno roztokem Betadine. Operace byla od počátku do konce provedena s pomocí operačního mikroskopu Zeiss NC 2. Byla použita jemná mikrochirurgická technika a velké zvětšení, zejména při manipulaci s tepnami a při vlastní sutuře. Incize byla provedena rovným svislým kožním řezem ve střední čáře v rozsahu od kraniálního vrcholu sternu po kaudální okraj mandibuly (Obr. 48). Lalok s podkožím a žlázovou tkání byl ostře disekován a retrahován kraniálně, byl brán zřetel na zachování submandibulárních žláz bez jejich poškození (*Tayebi Meybodi, A., et al., 2018*).

Svaly byly disekovány po jejich anatomických okrajích. Musculus sternohyoideus byl retrahován na stranu opačnou od právě operované karotidy, m. sternomastoideus byl na obou stranách retrahován laterálně. Pod ním byl obnažen neurovaskulární svazek, ze kterého byl šetrně s využitím mikrochirurgické techniky oddělen vagový nerv. Při excesivní manipulaci s nervem byla zaznamenávána bradykardie. Karotické tepny oboustranně byly obnaženy v maximálním možném rozsahu kraniokaudálně včetně bifurkace (Obr. 49).

Krevní průtok společnými karotidami na obou stranách byl zaznamenán s minimální časovou prodlevou. K záznamu byl využit flowmetr Transonic TS420 Flowmeter Module vybavený sondou Transonic PR series TTF 1,5 mm (Transonic Systems Inc., USA). V okamžik měření byla zaznamenána srdeční frekvence zvířete. Jedna karotida byla použita jako referenční (kontrolní), druhá jako operační (pokusná), volba stran byla randomizována. Tepna zvolená jako operační byla uzavřena dvojitou posuvnou aproximační svorkou co nejkaudálněji a kraniálně přímo pod bifurkací k získání maximálního bezkrevného úseku. Po zasvorkování byla společná karotida mezi branžemi svorky rovně přestřižena (Obr. 50). Následně byla provedena příprava k anastomóze – cévní okraje byly zbaveny adventicie, aby bylo zamezeno jejímu vmezeření do prostoru anastomózy. Ústí obou pahýlů byla pinzetou jemně dilatována na cca 150 % původního průměru a oba pahýly byly propláchnuty roztokem heparinu a vizuálně zkontrolovány, zda v nich není přítomno koagulum (Obr. 52).

Následně byla provedena sutura obou pahýlů k sobě vláknem Ethicon Ethilon 10-0 s jehlou 3,8 mm. Po ukončení sutury byla sutura vizuálně zkontrolována k ověření dostatečného počtu a rozmístění stehů. V případě použití jednotlivých stehů byla použita triangulační technika dle Carrela (*Aida, L., 2014*). Bylo nutno použít 14-18 stehů v závislosti na velikosti tepny (Obr. 53). V případě pokračovacího stehu byla použita 2 vlákna, přičemž nejprve byl každým z těchto vláken umístěn základní steh do polohy pomyslné 3. a 9. hodiny ciferníku. Poté byla prvním vláknem provedena pokračovacím stehem sutura přední stěny a steh byl zavázán ke druhému vláknu. Následně po obrácení svorky byla druhým vláknem obdobně sešita zadní stěna cévy a vlákno bylo zavázáno k prvnímu (Obr. 53, 54).

Po dokončení anastomózy byly vedle branží dvojitě svorky umístěny jednotlivé miniclipy Aesculap a dvojitá svorka byla sejmuta. Nejprve byl krátce povolen distální (kraniální) klip do momentu naplnění anastomózovaného úseku krví a poté byl klip opět naložen. Naplnění anastomózovaného úseku sloužilo k ověření těsnosti sutury a objasnění případného místa krváčení mezi stehy. Pokud bylo objeveno místo závažného krváčení, u kterého se nedalo předpokládat spontánní uzavření během krátkého časového úseku, byl na toto místo doplněn jednotlivý steh. Musel být brán velký ohled na minimalizaci krváčení z anastomózy. Krevní ztráta nad 3 ml (cca 12 % krevního objemu) se ukázala být významnou zátěží pro zvíře, krevní ztráta nad 5 ml (cca 20 % krevního objemu) vedla ve všech případech k úmrtí zvířete v řádu několik hodin po operaci. Krváčení z anastomózy bylo jediným významným krvácením v průběhu operace.

Při uspokojujivé těsnosti anastomózy bylo zopakováno měření průtoku tepnou na společných karotidách na obou stranách s minimální časovou prodlevou. Naměřené hodnoty

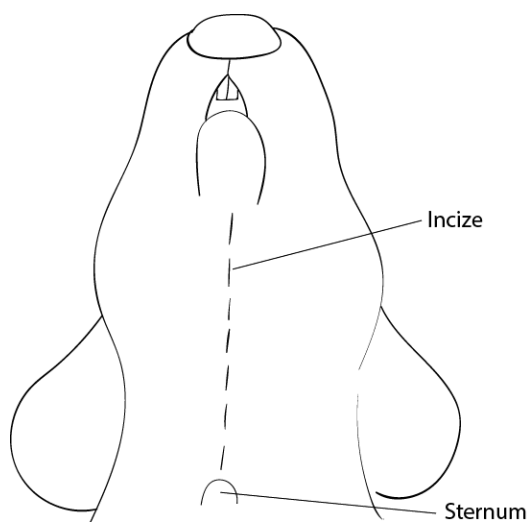
byly zaznamenány společně s tepovou frekvencí zvířete. Po změření byla rána vypláchnuta fyziologickým roztokem a uzavřena ve dvou vrstvách – podkožně – žlázový lalok a kůže. Obě vrstvy byly uzavřeny jednotlivými stehy vstřebatelným vláknem Ethicon Vicryl 4-0. Zvířeti byla podána reverze anestezie (atipamezol 0,5 mg/kg) a analgetika (tramadol 10mg/kg a carprofen 5 mg/kg). Analgezie byla podávána minimálně 3 dny následující po operaci.

Další operace ke změření průtoků CCA byla provedena v odstupu dvou týdnů od iniciální operace. Naměřené hodnoty byly porovnány a převedeny na procenta. Anastomóza byla vytnuta a odeslána k histologickému hodnocení, zvíře bylo utraceno.

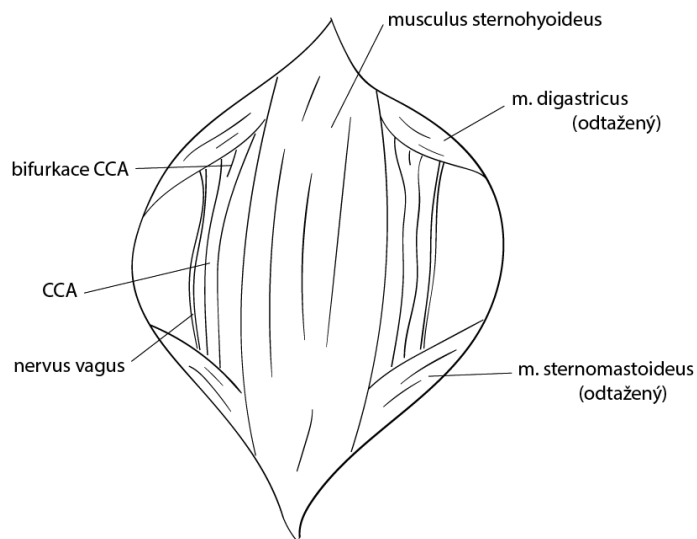
Pro histologické hodnocení byly vzorky ponořeny do tkáňového mrazícího media (Leica, Germany) a zmrazeny na - 80°C. Poté byly rozmrazeny a fixovány ve formalínu, dehydratovány a zality do parafinových bloků. Bloky byly nakrájeny na 5µm tlusté příčné histologické řezy v místě sutury a ve vzdálenějším místě tepny. Řezy byly obarveny hematoxylin – eosinem, Verhoeffovým hematoxylinem a zeleným trichromem k zobrazení pojivové tkáně. Picosirius red barvení (Direct Red 80, Sigma Aldrich, Munich, Germany) sloužilo k zobrazení kolagenu typu I a II (za použití cirkulárně polarizovaného světla) a orcein k zobrazení elastinu. Další řezy byly zpracovány imunohistochemicky s protilátkami proti aktinu hladce pruhovaného svalstva (ředění 1:1000, clone 1A4, Agilent Technologies, US ve 4°C přes noc) k zobrazení buněk hladce pruhovaných svalů a následně Gillovým hematoxylinem.

Ke statistické analýze výsledků byl použit software StatSoft STATISTICA. Byl použit t-test a korelační analýza.

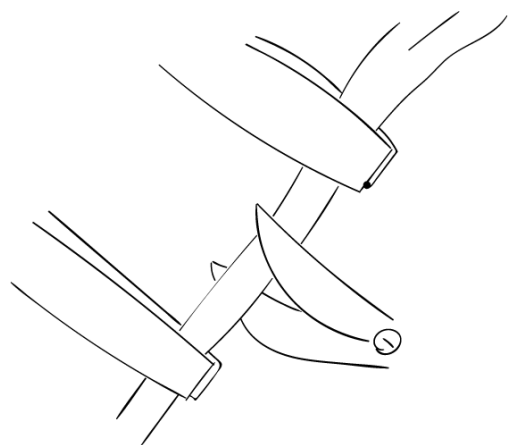
Experiment byl povolen Odbornou komisí pro zajišťování dobrých životních podmínek pokusných zvířat při LF UK v Plzni a Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy (MSMT-10669/2016-3 a MSMT-33242/2018-5).



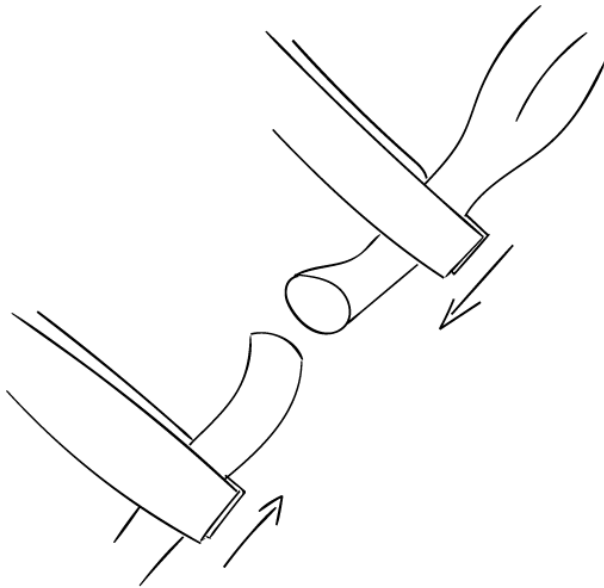
Obr. 48. Potkan v operační poloze, přerušovanou čarou je naznačená incize od sterna po okraj mandibuly.



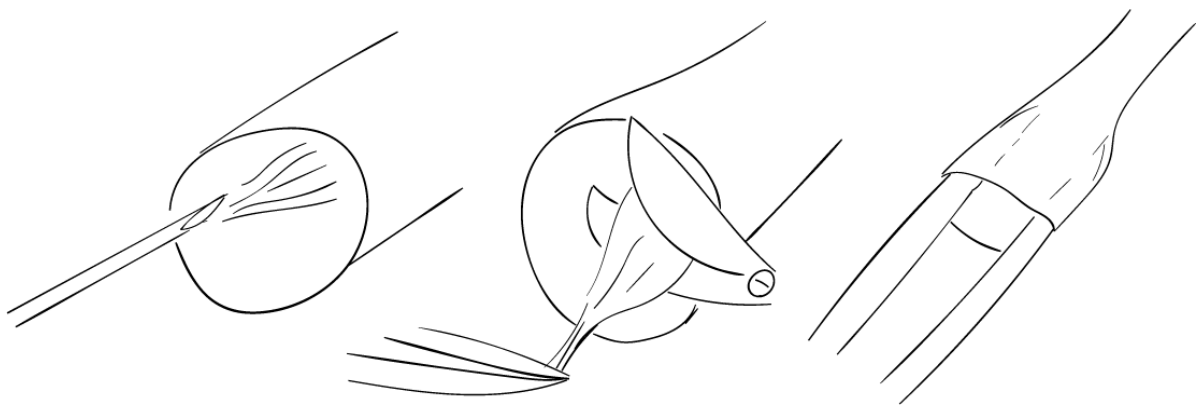
Obr. 49. Anatomické struktury v místě operační rány.



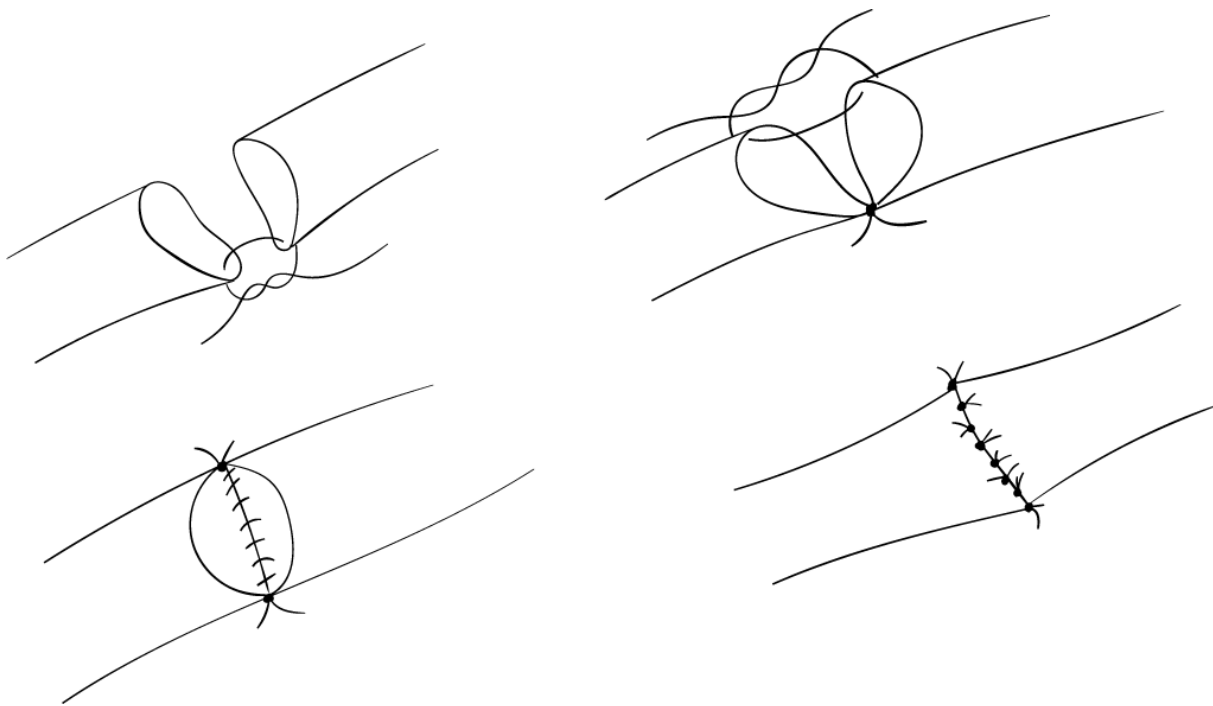
Obr. 50. Přetnutí zasvorkované CCA



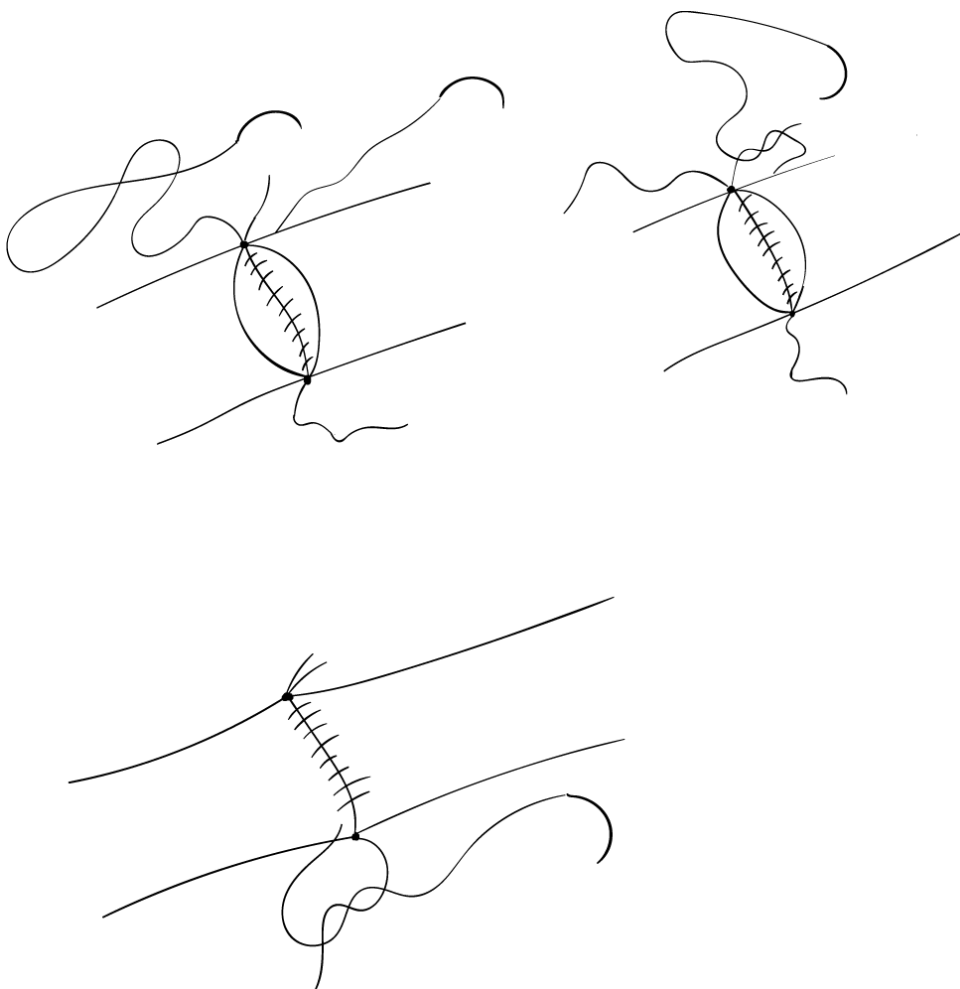
Obr. 51. Aproximace cévních konců



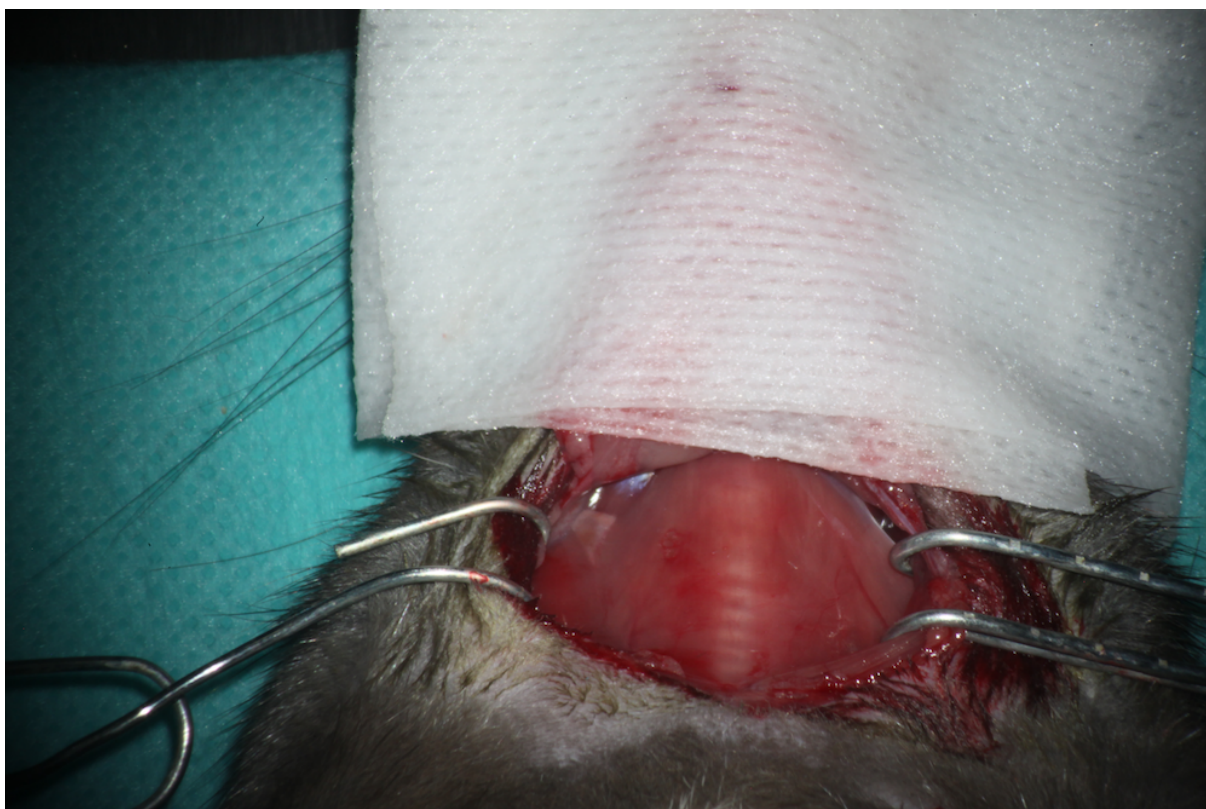
Obr. 52. Příprava cévy před suturou. (Zleva) výplach koagul z lumina cévy, resekce adventicia, dilatace cévního ústí na cca 150 % původního průměru.



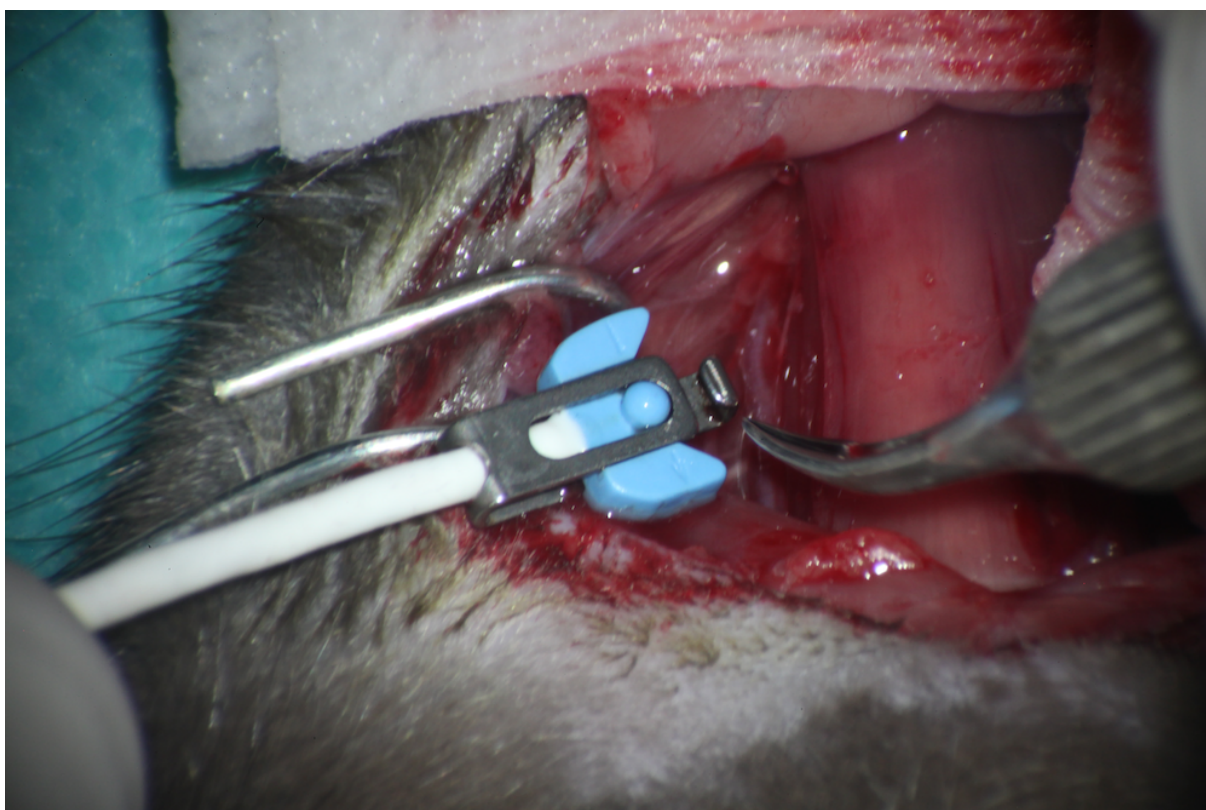
Obr. 53. Provedení anastomózy jednotlivými stehy.



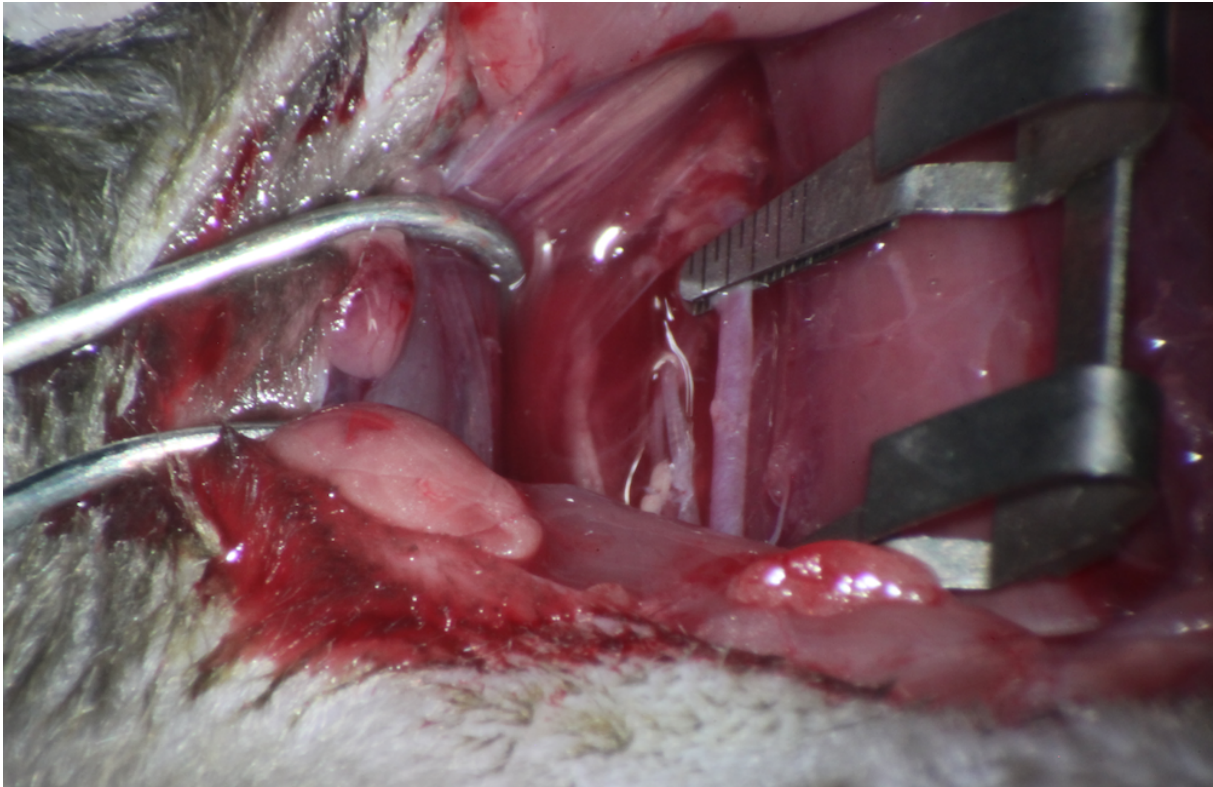
Obr. 54. Provedení anastomózy pokračovacím stehem



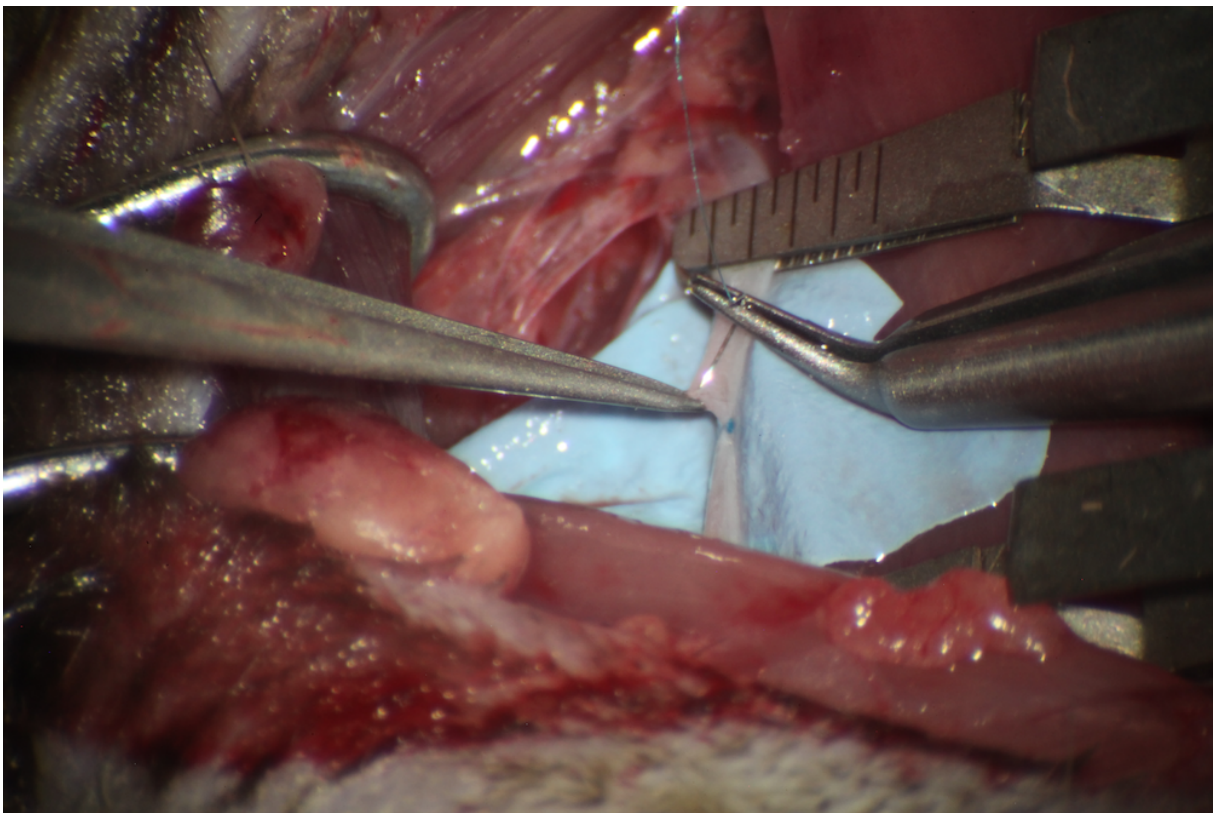
Obr. 55. Svalová vrstva v místě operačního přístupu. Je patrna prosvítající trachea.



Obr. 56. Experimentální sonda flowmetru, příprava k měření průtoku CCA.



Obr. 57. Aproximační svorka na pravé společné karotidě.



Obr. 58. End-to-end sutura pravé společné karotidy.

C.1.3 Výsledky

V souboru zvířat s anastomózou provedenou jednotlivými stehy bylo zařazeno 19 zvířat. Rozdíly mezi průtoky na obou intaktních karotidách jednoho zvířete byly statisticky zanedbatelné (porovnáno t-testem, viz přílohy). Průtok čerstvě zhotovenou anastomózou jednotlivými stehy byl od 38,3 % do 104,5 % průtoku druhou intaktní referenční karotidou, medián byl 88,9 %, průměr byl 81,2 %, došlo k omezení průtoku anastomózou ($p < 0,002$). Operační čas byl od 22 do 70 minut, medián byl 46 minut, průměr byl 47 minut. Délka operačního výkonu nekorelovala s mírou omezení průtoku anastomózou. Při druhé operaci byl průtok anastomózou od 55,6 % do 144,7 % průtoku druhou referenční karotidou, medián byl 96,1 %, průměr byl 100,0 %. Míra omezení průtoku anastomózou provedenou jednotlivými stehy naměřená při první operaci pozitivně korelovala s mírou zvýšení průtoku naměřenou při druhé operaci. Délka operačního výkonu nekorelovala s nárůstem průtoku naměřeným při druhé operaci. Histologické vyšetření neprokázalo v tomto souboru trombózu a průsvit v místě anastomózy byl srovnatelný s průsvitem v místě intaktního lumina operované tepny. Ve většině případů byla vytvořena neointima, u všech vzorků pokrýval lumen cév endotel. Došlo k přerušení elastických membrán a jejich náhradě kolagenem I. typu, který značí vyzrálou jizvu.

V souboru zvířat s anastomózou, provedenou pokračovacím stehem, bylo zařazeno 13 zvířat. Při první operaci byly rozdíly mezi průtoky na obou intaktních karotidách jednoho zvířete statisticky zanedbatelné (porovnáno t-testem, viz přílohy). Průtok čerstvě zhotovenou anastomózou byl od 50,8 % do 117,9 % průtoku druhou intaktní referenční karotidou, medián byl 88,3 %, průměr byl 85,5 %, došlo k omezení průtoku anastomózou ($p < 0,025$). Operační čas byl od 22 do 40 minut, medián byl 30 minut, průměr byl 29,2 minuty. Délka operačního výkonu nekorelovala s mírou omezení průtoku anastomózou. Při druhé operaci byl průtok anastomózou od 56,9 % do 135,7 % průtoku druhou referenční karotidou, medián byl 100,0 %, průměr byl 99,7 %. Míra omezení průtoku anastomózou naměřená při první operaci pozitivně korelovala s mírou zvýšení průtoku naměřenou při druhé operaci. Délka operačního výkonu nekorelovala s nárůstem průtoku, naměřeným při druhé operaci. Při histologickém vyšetření nebyl v žádném z vyšetřovaných vzorků nalezen trombus, který by výrazně omezil lumen v místě anastomózy. Ve dvou případech došlo k částečnému srůstu lumenu cévy bez korelujícího omezení průtoku při kvantitativním měření. Ve většině případů byla vytvořena neointima, u všech vzorků pokrýval lumen cév endotel. Došlo k přerušení elastických membrán a jejich náhradě kolagenem I. typu, který značí vyzrálou jizvu.

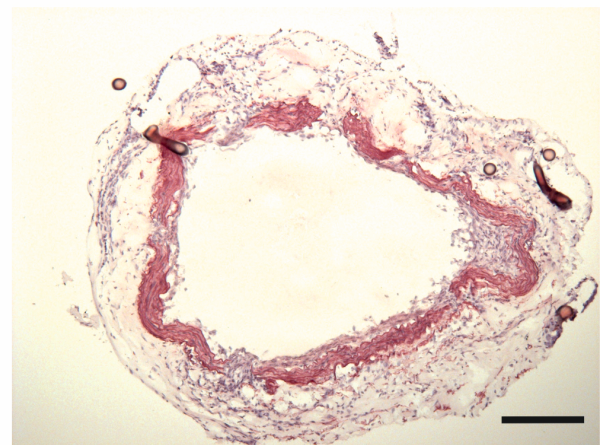
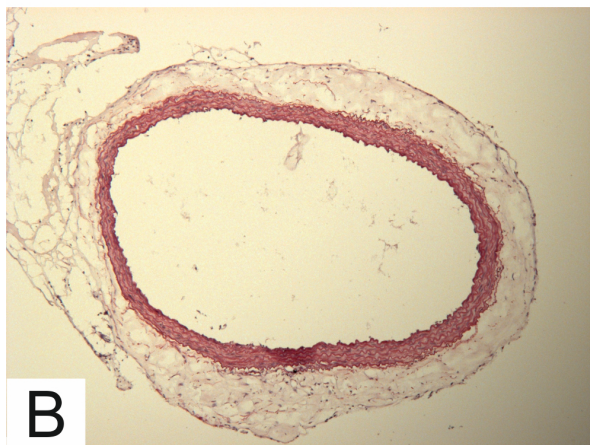
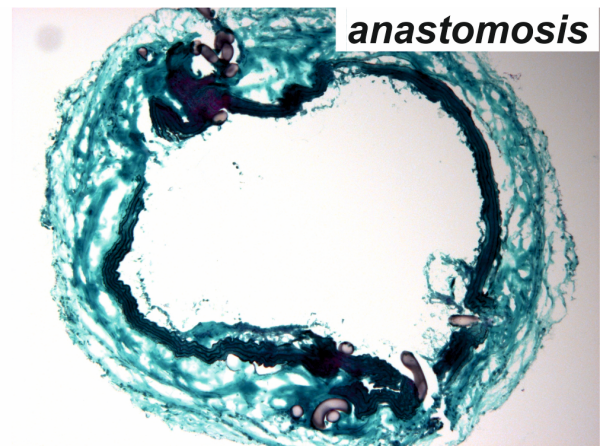
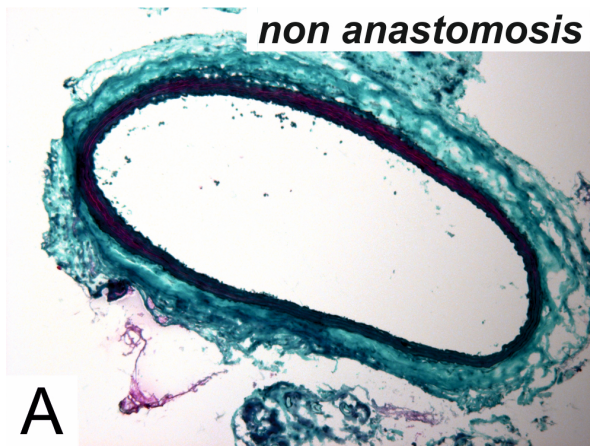
U obou skupin došlo bezprostředně po operaci k omezení průtoku anastomózou, ale při vzájemném porovnání obou skupin nebyl statisticky významný rozdíl v míře omezení (viz přílohy). Sutura pokračovacím stehem byla významně rychlejší než sutura jednotlivými stehy ($p < 0,0006$). Míra maturace anastomózy po dvou týdnech byla v obou souborech shodná (viz přílohy).

Číslo zvířete	Pohlaví	1. měření						2. měření			
		Průtok intaktní L	Průtok intaktní P	Průtok anastomózou	Průtok referencí	Průtok anastomózou [%]	Čas [min]	Průtok anastomózou	Průtok kontrolou	Průtok anastomózou [%]	
1	M	6,1	7	3,3	4,7	70,2	40	2,5	4,5	55,6	
2	M	9	9	3,7	5,5	67,3	75	5	4,8	104,2	
3	F	3,7	3,8	3,6	3,9	92,3	70	4,1	6,4	64,1	
4	F	6,1	6,2	2,6	4,3	60,5	60	2,7	2,5	108,0	
5	M	5,8	5,9	4,7	5,8	81,0	60	7,5	8	93,8	
6	M	4,4	4,5	4	4	100,0	60	4,9	5,1	96,1	
7	M	6,8	6,3	4,6	4,4	104,5	55	6,9	4,5	153,3	
8	M	5,9	5,6	2,3	6	38,3	50	3,9	5,2	75,0	
9	F	5,5	5,6	3,2	3,6	88,9	22	8,5	7	121,4	
10	F	3,4	3,8	2,8	4,8	58,3	30	2,1	2,2	95,5	
11	F	4,2	4,3	1,4	3,2	43,8	59	4,7	4,9	95,9	
12	F	3,8	4,1	2,3	2,3	100,0	25	3,5	3,5	100,0	
13	F	5,6	5,1	3,9	3,9	100,0	33	4,9	4,9	100,0	
14	F	4,1	4,1	2,6	2,6	100,0	27	3,3	3,3	100,0	
15	F	4,4	4,4	1,6	2,7	59,3	41	5	4	125,0	
16	F	5	5	3,5	3,4	102,9	35	4	4,6	87,0	
17	F	4,2	4,2	2,9	2,9	100,0	46	5,5	3,8	144,7	
18	M	5,8	5,7	3,1	4,1	75,6	45	5,2	5,7	91,2	
19	F	2,6	2,6	2,2	2,2	100,0	60	3,3	3,7	89,2	

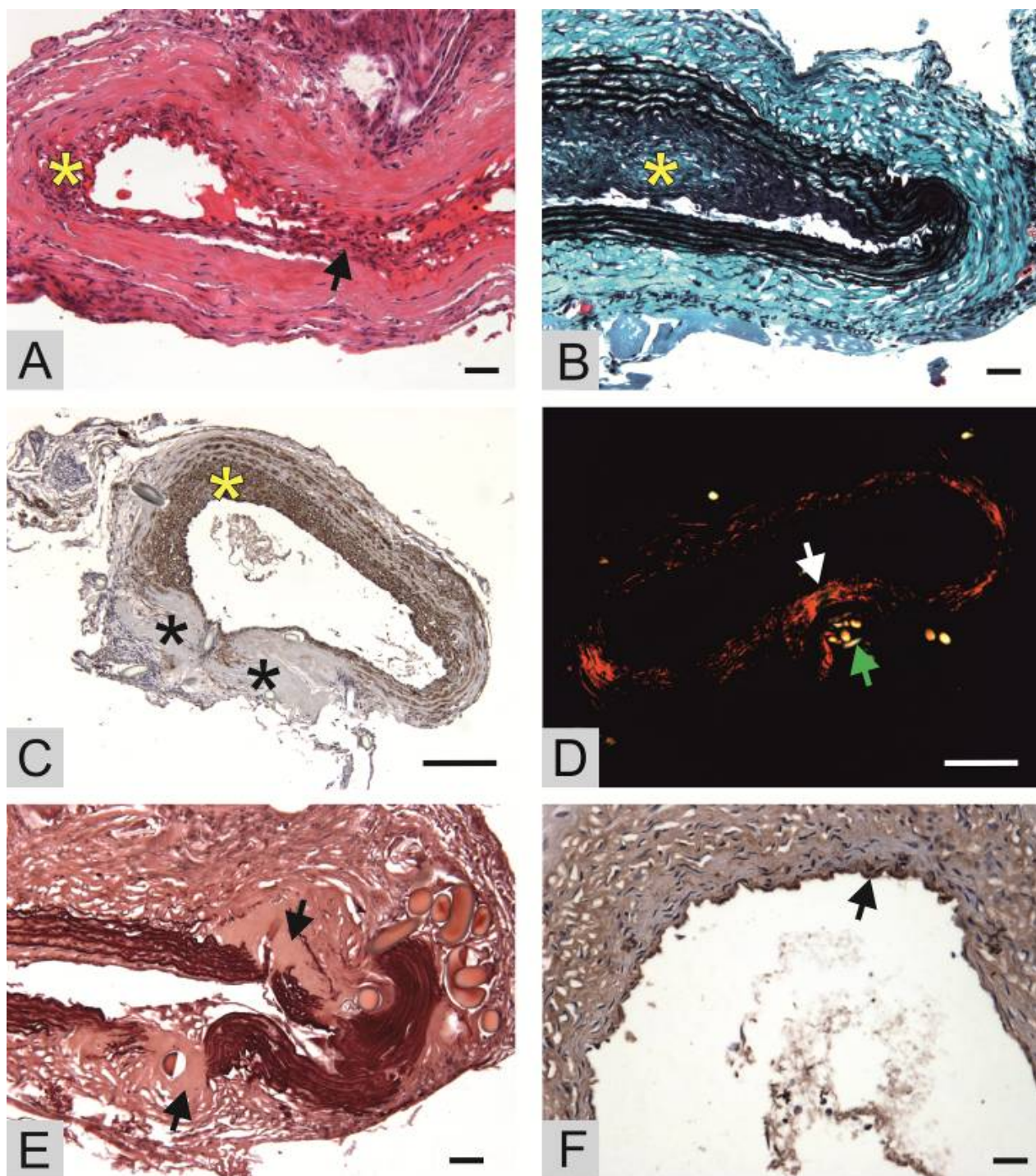
Tab. 6. Soubor zvířat s anastomózou provedenou jednotlivými stehy

Číslo zvířete	Pohlaví	1. měření						2. měření			
		Průtok intaktní L	Průtok intaktní P	Průtok anastomózou	Průtok referenci	Průtok anastomózou [%]	Čas [min]	Průtok anastomózou	Průtok kontrolou	Průtok anastomózou [%]	
1	F	4,1	4,2	3,3	2,8	117,9	22	2,6	2,3	113,0	
2	F	4,7	4,7	2,8	3,7	75,7	40	3,3	3,5	94,3	
3	F	2,8	2,8	2,9	3	96,7	35	4,8	4,8	100,0	
4	F	5	4,8	2,8	2,7	103,7	20	6,4	5,9	108,5	
5	F	3,9	3,9	3,2	3,2	100,0	25	3,1	3,1	100,0	
6	F	4,7	4,7	3,1	6,1	50,8	30	5,7	4,2	135,7	
7	F	5,7	5,4	2,6	5,1	51,0	25	3,3	5,8	56,9	
8	M	4,9	4,9	4,6	4,8	95,8	35	3,2	3,5	91,4	
9	M	5,5	5,5	5,3	6	88,3	23	6,1	7	87,1	
10	M	3,6	3,6	3,4	4	85,0	25	4,6	3,9	117,9	
11	M	3,2	3,2	2,8	2,9	96,6	35	4,3	4,7	91,5	
12	M	5,3	5,2	2,7	3,6	75,0	30	6,2	5,3	117,0	
13	M	5,2	5,3	2,8	3,7	75,7	35	3,7	4,5	82,2	

Tab. 7. Soubor zvířat s anastomózou provedenou pokračovacím stehem.



Obr. 59. Histologie tepen, na kterých byla provedena mikroanastomóza jednotlivými stehy. Použité barvení orceinem na zviditelnění elastických membrán (A) a barvení zeleným trichromem a Verhoeffovým hematoxylinem k zobrazení svaloviny červeně a elastických vláken černě (B).



Obr. 60. Histologie tepen, na kterých byla provedena mikroanastomóza pokračovacím stehem. Ve dvou případech došlo k částečnému srůstu lumen cévy (A). Ve většině případů byla vytvořena neointima (A, B, C) a došlo k přerušení elastických lamel (E) ve 2 až 3 kvadrantech. Rovněž došlo ve většině případů ke ztrátě pozitivivity hladkých svalových buněk, nejčastěji ve dvou kvadrantech (C). V některých případech došlo ke zvýšené tvorbě kolagenu okolo šicího materiálu (D). U všech vzorků pokrýval lumen cév endotel (F).

C.1.4 Diskuze

Mozkové bypassy, replantace u ztrátových končetinových poranění nebo např. transfery volných živených laloků v plastické chirurgii jsou výkony rizikové z ischemického postižení operovaných částí těla. Čas může být zásadním faktorem. Tvrdíme, že časová úspora při použití pokračovacího stehu může být klinicky významná. Složitější a časově náročné opravy technických chyb tuto časovou výhodu negují a ohrožují funkčnost anastomózy. Pro použití pokračovacího stehu je zapotřebí dokonalé operační techniky a přehlednosti operačního pole.

Omezení průtoku je jedním z vedlejších projevů technicky méně zdařilé mikroanastomózy. Jeho míra je odvislá od zúžení lumina v místě operace cévy. Průtok ideální kapaliny potrubím stálého tvaru se vypočte násobkem obsahu kolmého průřezu tohoto potrubí a rychlosti proudící kapaliny. Pokud dojde ke změně průsvitu potrubí (cévy), zvýšením rychlosti proudění se zachová stálý průtok. Ideální kapalina je taková, která má na každém místě svého objemu stejné vlastnosti (stejnou hustotu). Krev má vyšší hustotu než voda a obsahuje množství krevních elementů, které způsobují nestejnou hustotu této kapaliny v různých místech jejího objemu. Nemůže tedy být považována za ideální kapalinu. Soudíme, že existuje hranice omezení průsvitu cévy (stenotizace anastomózou), za kterou již zvýšená rychlost nestačí k udržení stálého průtoku. Za stenózou je také narušeno laminární proudění a vznikají turbulence, které zpomalují odtok a tím nadále snižují průtok. Aby se klinicky projevilo omezení průtoku, musí být omezení průsvitu značné.

Snížení průtoku operované tepny může být dáno spazmem. Vlivem manipulace a mikrotraumatizace cévy při výkonu nelze reakci cévy vyloučit. Při použití operačního mikroskopu nebyly vizuálně spazmy zaznamenané. Hodnota omezení průtoku nepřímo úměrně korelovala s vizuální zdařilostí anastomózy. Dále předpokládáme, že významné omezení průtoku musí být způsobeno vlivem výše popsaného mechanismu regulace průtoku těžkým omezením průsvitu cévy. Takto významné omezení vazospazmem by byl operátor snadno schopen zachytit při vizuální inspekci cévy. Iatrogenní vazospasmus tedy nepokládáme za příčinu omezení průtoku ihned po dokončení anastomózy.

Maturace u mikroanastomózy pokračovacím stehem je umožněna elasticitou cévní stěny a malou rezervou v délce použitého vlákna. Sutura pokračovacím stehem funguje jako pružina – pokud céva potřebuje expandovat, elasticitu stehu nahradí elasticita tkáně a anastomóza expanduje za přibližování se jednotlivých stehů k sobě (*Lawton, M. T., Probst, K.*

X., 2018). Steh musí být správně utažený. Příliš utažený traumatizuje tkáň a připravuje cévu o možnost následné maturace, málo utažený způsobuje prosakování krve suturou.

Průsvit cévy při histologickém vyšetření nebyl měřen. Zpracováním vzorku na kryogenizaci dochází k ne zcela konstantní změně velikosti tkání, nelze tedy pokládat tedy jakékoliv zaznamenávání průměru za validní. Předmětem hodnocení pokusu je posuzování průtoku, které nepřímou informací o průsvitu cévy podává.

Na počátku hojení je jizva tvořená kolagenem III. typu, který se postupně přetváří na kolagen I. typu, který je pevnější. Tento typ kolagenu lze identifikovat při barvení pikrosiriovou červení a zobrazení pod polarizovaným světlem. Vzorky provedených anastomóz obsahovaly kolagen I. typu, jizvu lze při druhém měření po 14 dnech od první operace považovat za vyzrálou.

Delší než ideální čas provádění anastomózy a omezení průtoku jsou dány nutností úzkostlivě kontrolovat krvácení u zvířete. Krev u potkana tvoří asi 7 % tělesné hmotnosti. Zvíře o hmotnosti 400 g má přibližně 25-30 ml krve. Z naší zkušenosti žádné zvíře nepřežilo krevní ztrátu větší než 5 ml, za bezpečnou hranici jsme pozorováním stanovili ztrátu 3 ml krve. Krvácení z anastomózy muselo být opravováno dalšími jednotlivými stehy. Vzhledem k méně přehledné situaci, při již zhotovené mikroanastomóze mohly tyto opravné stehy vést k omezení průtoku. Dodatečná sutura prosakující anastomózy trvala až 20 minut. Při použití pokračovacího stehu byla netěsnost sutury zaznamenána méně často než při sutuře jednotlivými stehy.

Nestejná velikost obou souborů je dána rozhodnutím autorů. V průběhu pokusu byly získané hodnoty průběžně zpracovávány a vyhodnocovány. Při uvedeném počtu operovaných zvířat byly získány statisticky průkazné výsledky s jasným trendem vztahu omezení průtoku iniciálně po operaci a poté za 2 týdny. S přihlédnutím k aktuálním etickým standardům nebyla proto další zvířata operována.

C.1.5 Závěr

1. Při použití sutury jak jednotlivými, tak pokračovacím stehem došlo ve zkoumaném souboru k maturaci anastomózy.
2. Míra maturace byla přímo úměrná míře omezení průtoku tepnou ihned po dokončení anastomózy.
3. Časová úspora byla významná ve prospěch sutury pokračovacím stehem.
4. Zjištění může mít klinický přesah.
5. Složitější a časově náročné opravy technické chyby u anastomózy pokračovacím stehem mohou být důvodem větší obliby jednotlivých stehů mezi chirurgy.

	Jednotlivé stehy	Pokračovací steh
Maturace	Umožňují	Umožňují
Opravy	Jednoduché	Složitě
Čas sutury	Delší	Kratší

Tab. 8. Porovnání technik sutury mikroanastomózy

C.1.6 Přílohy

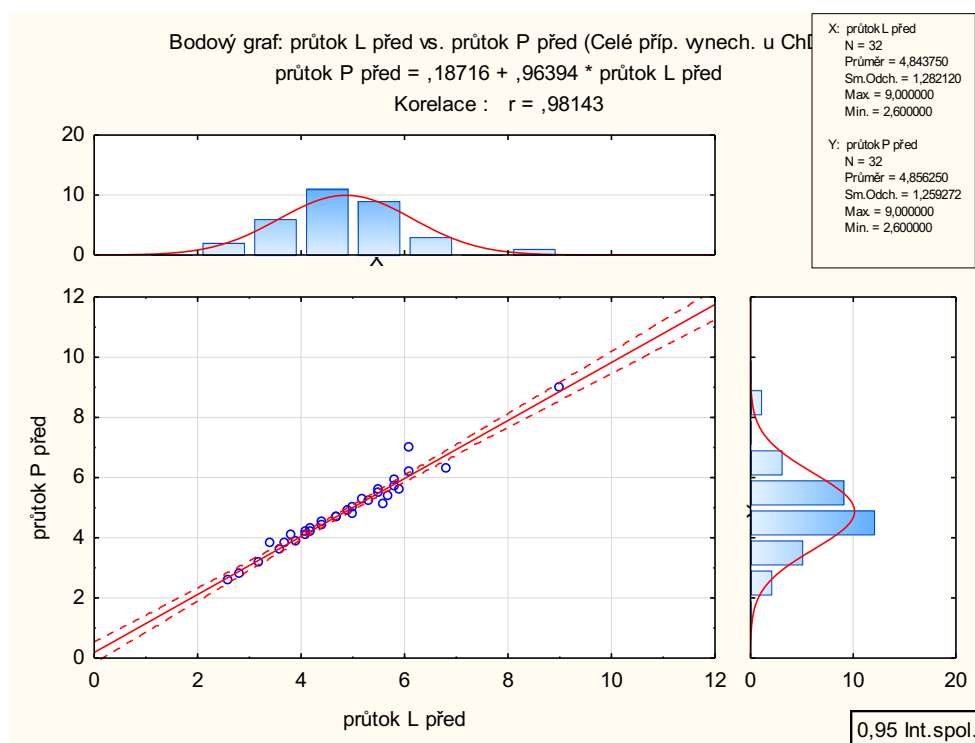
1) Porovnání průtoků v levé a pravé karotidě před zákrokem.

T-testem je ověřena hypotéza, že průtok není rozdílný. Obě skupiny (tj. pokračovací i jednotlivé stehy) jsou zde testovány spolu, protože měření v tuto chvíli zatím se zvolenou technikou sutury nijak nesouvisí.

		T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka4)										
		Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky										
Skup. 1 vs. skup. 2		Průměr skup. 1	Průměr skup. 2	Hodnota t	sv	p	Poč. plat. skup. 1	Poč. plat. skup. 2	Sm.odch. skup. 1	Sm.odch. skup. 2	F-poměr Rozptyly	p Rozptyly
průtok L před vs. průtok P před		4,843750	4,856250	-0,039347	62	0,968740	32	32	1,282120	1,259272	1,036616	0,920895

Předpoklad lze doložit korelační analýzou, kdy zjišťujeme, zda průtok pravou CCA koreluje s průtokem levé CCA (nebo naopak).

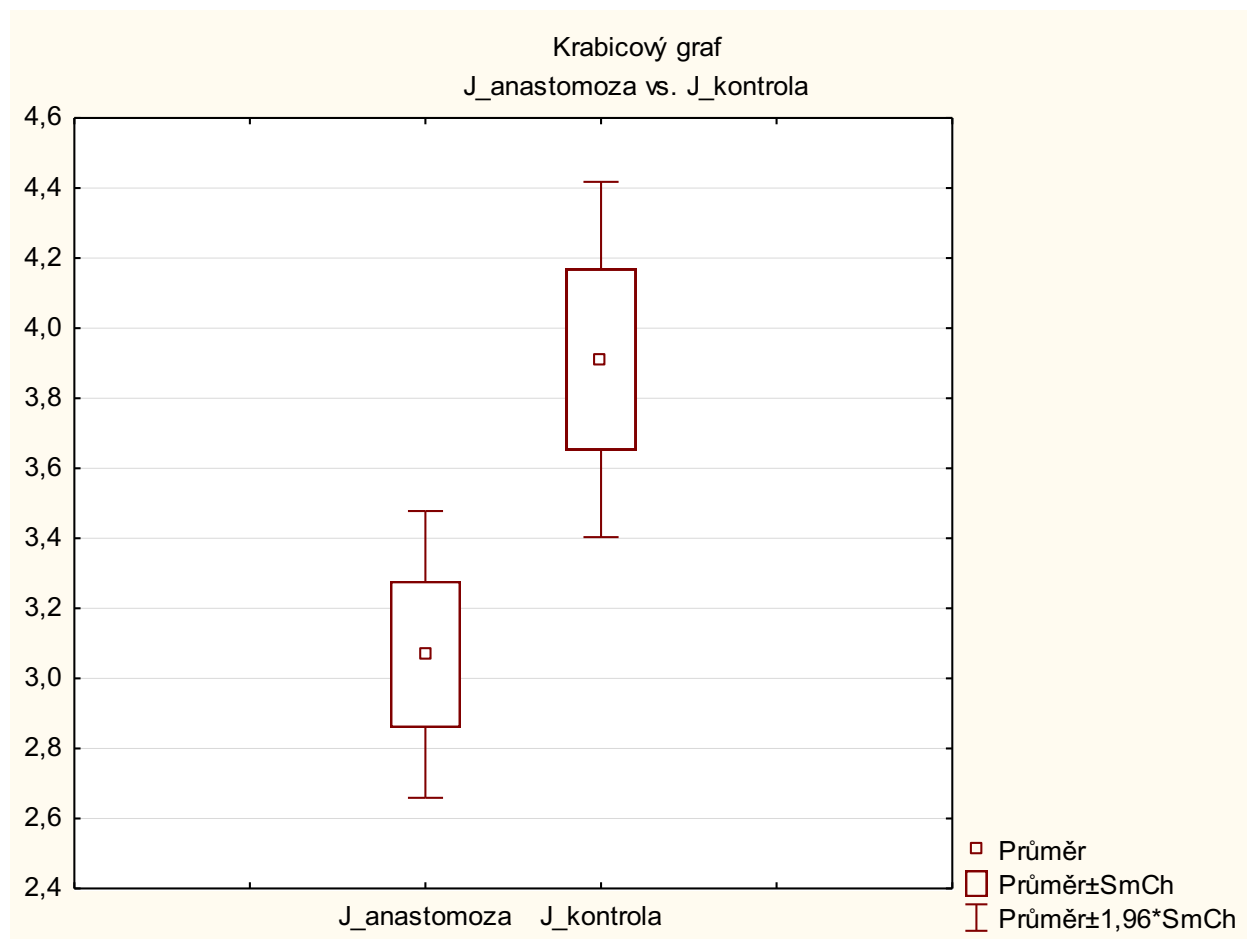
Korelace (Tabulka4)				
Označ. korelace jsou významné na hlad. p < ,05000				
N=32 (Celé případy vynechány u ChD)				
Proměnná	Průměry	Sm.odch.	průtok L před	průtok P před
průtok L před	4,843750	1,282120	1,000000	0,981431
průtok P před	4,856250	1,259272	0,981431	1,000000



Závěr: Iniciální průtoky v obou karotidách před operací jsou prakticky shodné. Protilehlou karotidu tak lze používat jako referenční.

2) Porovnání průtoků v levé a pravé karotidě těsně po zákroku (jednotlivé stehy)

t-test pro závislé vzorky (Tabulka9 v PS2)										
Označ. rozdíly jsou významné na hlad. $p < ,05000$										
Proměnná	Průměr	Sm.odch.	N	Rozdíl	Sm.odch. rozdílu	t	sv	p	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. +95,000%
J_anastomoza	3,068421	0,910465								
J_kontrola	3,910526	1,127876	19	-0,842105	1,034578	-3,54797	18	0,002298	-1,34076	-0,343455



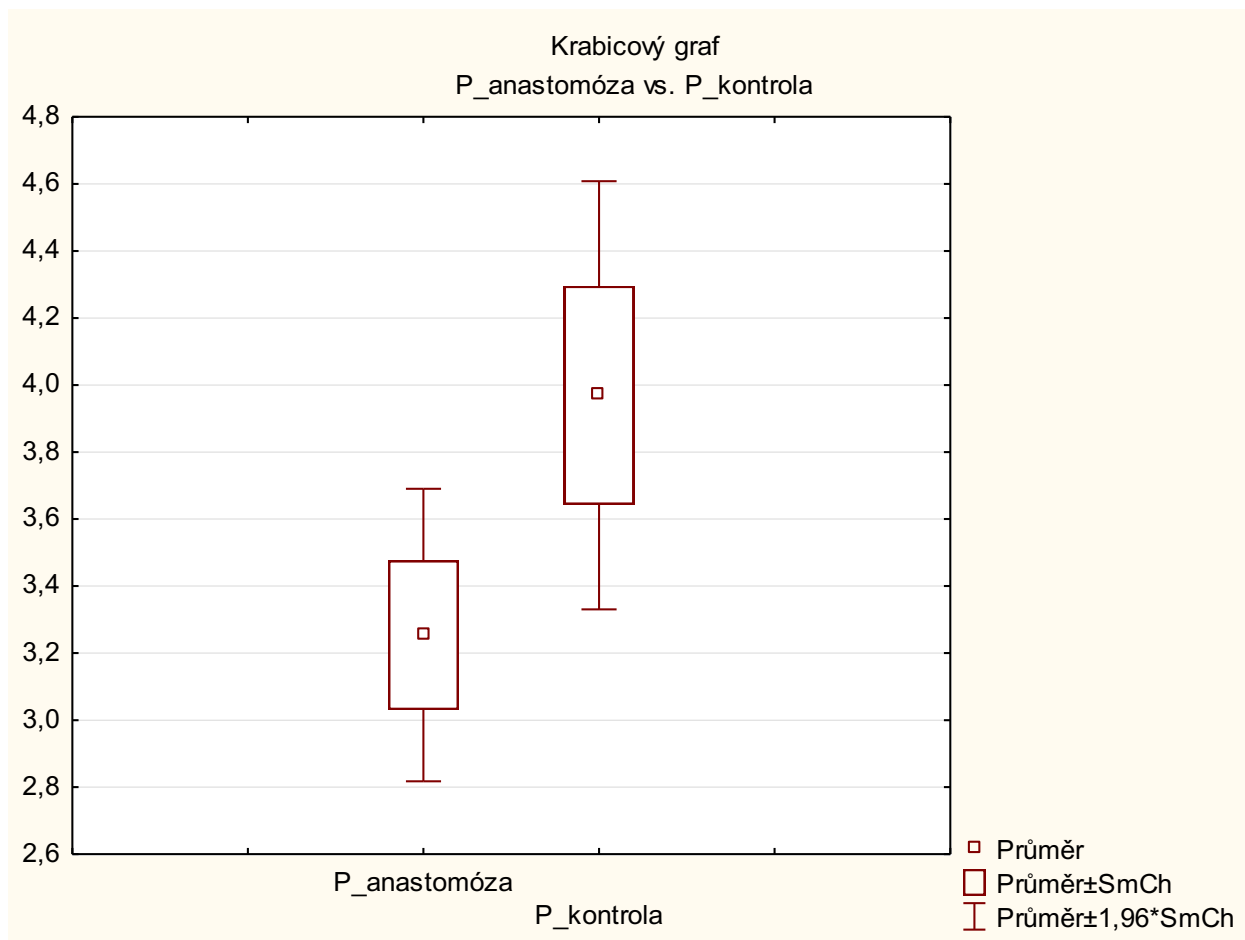
Závěr: Anastomózou po jejím zhotovení protékalo méně krve. Rozdíl byl statisticky významný ($p < 0,002$).

Soubor s anastomózou provedenou jednotlivými stehy je označený jako J.

Soubor s anastomózou provedenou pokračovacím stehem je označený jako P.

3) Porovnání průtoků v levé a pravé karotidě těsně po zákroku (pokračovací steh)

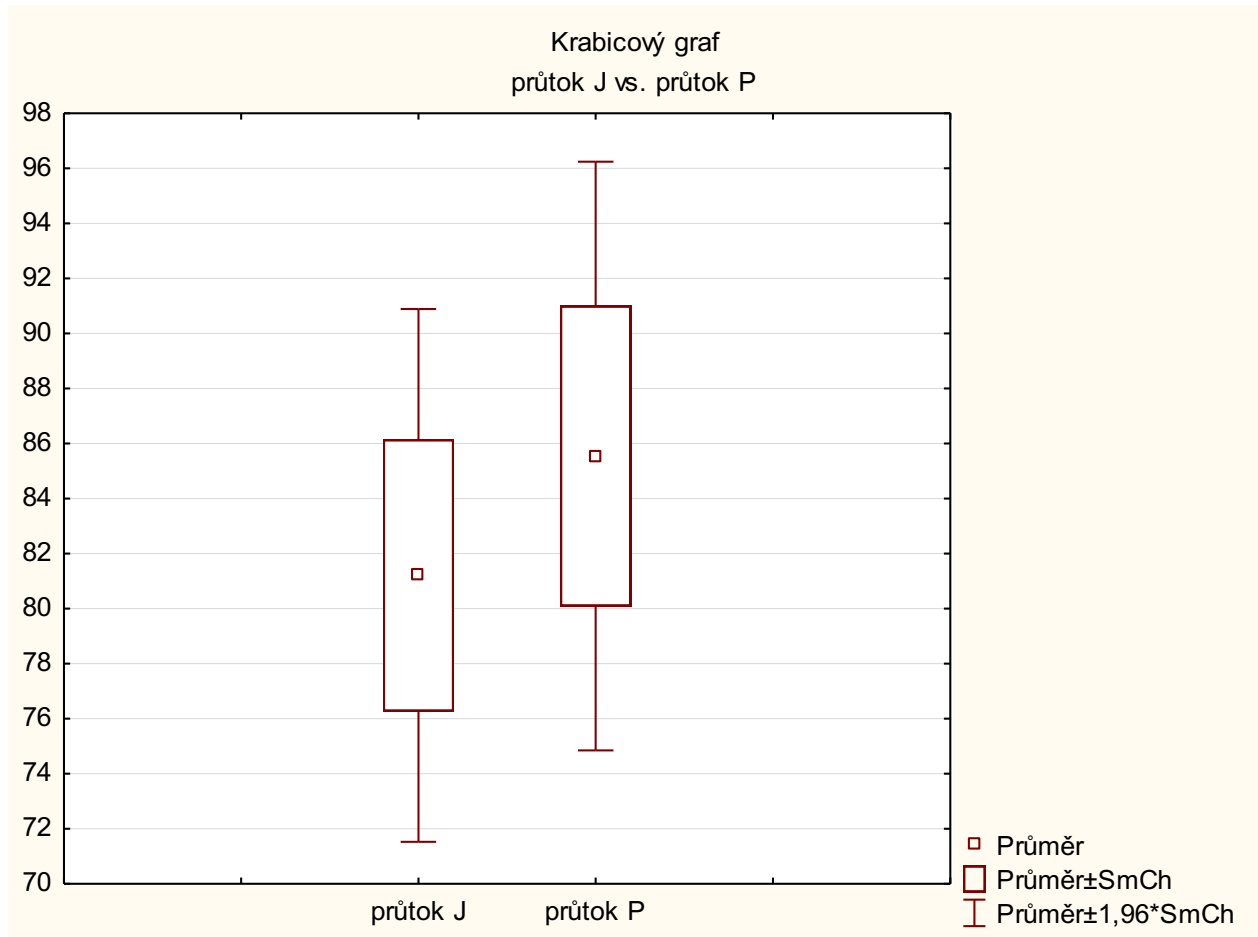
t-test pro závislé vzorky (Tabulka11 v PS3)										
Označ. rozdíly jsou významné na hlad. p < ,05000										
Proměnná	Průměr	Sm.odch.	N	Rozdíl	Sm.odch. rozdílu	t	sv	p	Int. spolehl. -95,000%	Int. spolehl. +95,000%
P_anastomóza	3,253846	0,802720								
P_kontrola	3,969231	1,175007	13	-0,715385	1,008172	-2,55845	12	0,025073	-1,32462	-0,106153



Závěr: Anastomózou po jejím zhotovení protékalo méně krve. Rozdíl byl statisticky významný ($p < 0,025$).

4) Porovnání relativní změny průtoku anastomózou u skupiny J a P.

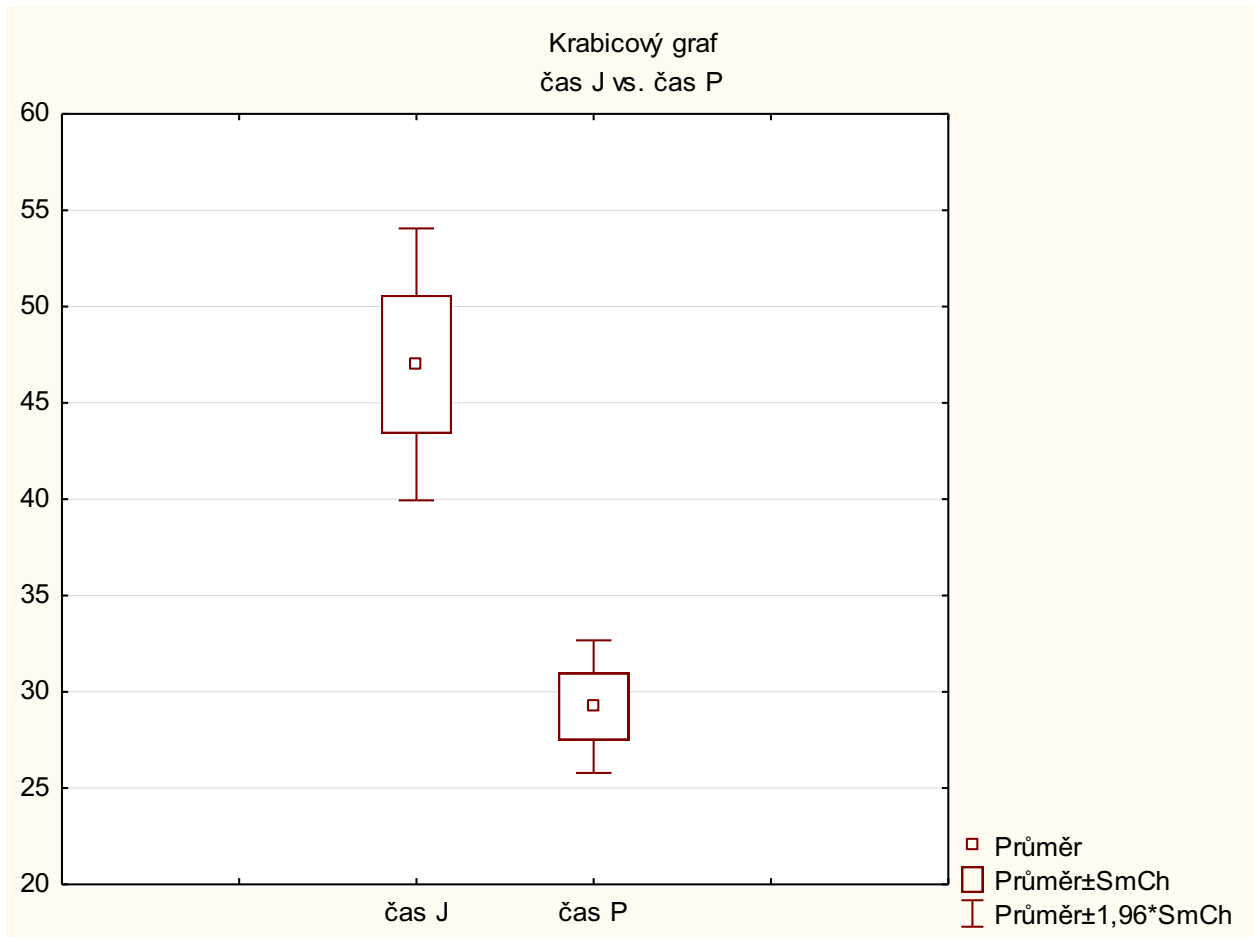
T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka13)											
Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky											
Skup. 1 vs. skup. 2	Průměr skup. 1	Průměr skup. 2	Hodnota t	sv	p	Poč. plat. skup. 1	Poč. plat. skup. 2	Sm.odch. skup. 1	Sm.odch. skup. 2	F-poměr Rozptyly	p Rozptyly
průtok J vs. průtok P	81,20810	85,54595	-0,579185	30	0,566788	19	13	21,52655	19,68097	1,196344	0,766632



Závěr: U obou skupin došlo bezprostředně po ušití anastomózy k omezení průtoku (viz analýza 2 a 3), ale po vzájemném porovnání hodnot mezi skupinou J a skupinou P je zřejmé, že v míře omezení nebyl v obou skupinách statisticky významný rozdíl.

5) Porovnání časů potřebných k ušití funkční anastomózy

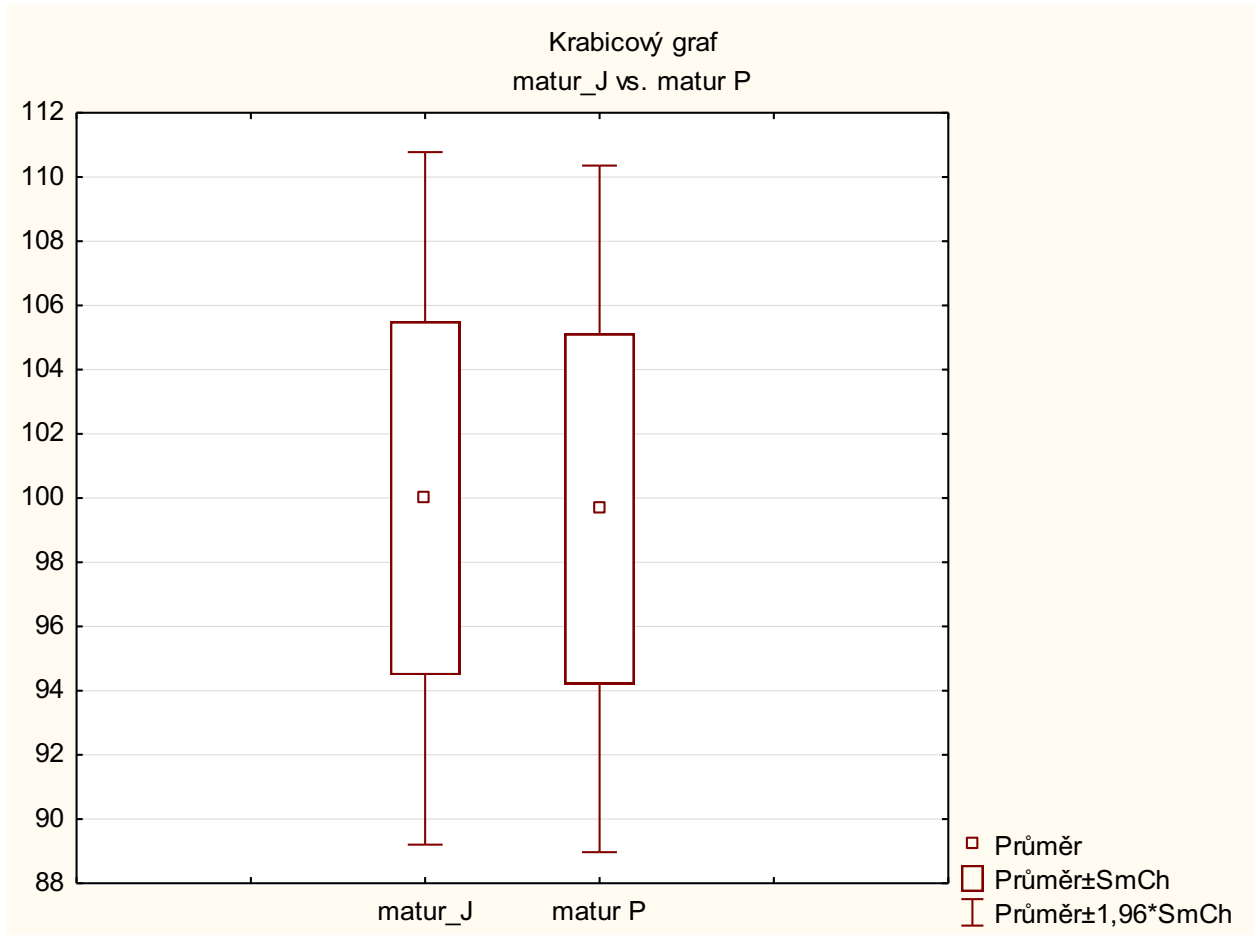
		T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka15)									
		Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky									
Skup. 1 vs. skup. 2	Průměr skup. 1	Průměr skup. 2	Hodnota t	sv	p	Poč. plat. skup. 1	Poč. plat. skup. 2	Sm.odch. skup. 1	Sm.odch. skup. 2	F-poměr Rozptyly	p Rozptyly
čas J vs. čas P	47,00000	29,23077	3,857195	30	0,000564	19	13	15,69501	6,326582	6,154388	0,002613



Závěr: Zhotovení anastomózy pokračovací suturou je signifikantně ($p < 0,0006$) rychlejší než v případě sutury jednotlivými stehy.

6) Porovnání relativních průtoků maturovanou anastomózou u obou skupin

		T-test pro nezávislé vzorky (Tabulka17)									
		Pozn.: Proměnné byly brány jako nezávislé vzorky									
Skup. 1 vs. skup. 2	Průměr skup. 1	Průměr skup. 2	Hodnota t	sv	p	Poč. plat. skup. 1	Poč. plat. skup. 2	Sm.odch. skup. 1	Sm.odch. skup. 2	F-poměr Rozptyly	p Rozptyly
matur_J vs. matur P	99,99256	99,66365	0,040861	30	0,967677	19	13	23,98947	19,67300	1,486963	0,488376



Závěr: Průtok maturovanou anastomózou v případě použití jednotlivých stehů byl prakticky shodný jako u maturovaných anastomóz ušitých pokračovacím stehem. V obou případech k maturaci došlo.

Souhrn

Cílem této dizertační práce bylo zhodnotit možnosti a přínos transit time flowmetrie (TTF) v prevenci vzniku mozkové ischemie při neurochirurgických operacích.

Na kazuistikách z neurochirurgické kliniky LF UK v Plzni je ukázáno použití a limitace TTF. Prezentované případy ukazují význam vyšetření a nutnost individuálního přístupu ke každé komplexní operaci na mozkových cévách.

Byl zpracován soubor pacientů operovaných pro neprasklé aneuryzma střední mozkové tepny (MCA). U první skupiny pacientů bylo kontrolováno kvantitativně případné omezení průtoku cévami souvisejícími s výdutí po naložení svorky. U druhé skupiny TTF měření nebylo provedeno. Výsledky byly porovnány. Ačkoliv nebyl prokázán statisticky významný přínos použití TTF v zamezení vzniku ischemie, jednotlivé případy odůvodňují zvážení jejího použití. TTF měření je invazivní a vyžaduje dobrý přístup k cévě a její preparaci. Autoři doporučují ponechat na zvážení chirurga, zda v konkrétním případě převáží benefit rizika spojená s preparací zdravého úseku tepny potřebného k měření.

V experimentální části dizertace byl použitím TTF objektivně kvantifikován vývoj průtoku end-to-end mikroanastomózou společné karotické tepny potkana v časovém odstupu dvou týdnů od jejího zhotovení. Iniciální průtok oběma intaktními společnými karotidami zvířete byl shodný. S vysokou spolehlivostí tak bylo možné porovnat průtok zhotovenou anastomózou s protilehlou intaktní karotidou. Rozdíl byl vyjádřen procentuálně. Díky tomu byly porovnávané hodnoty nezávislé na faktorech prostředí jako tep, krevní tlak, nebo velikost tepen.

Byly porovnány dva druhy mikrosutury – standardní metoda jednotlivými stehy a méně používaná sutura pokračovacím stehem. Byl prokázán minimální rozdíl v maturaci průtoku anastomózou v obou skupinách. Zároveň byla prokázána významná časová úspora při použití pokračovacího stehu. Autoři soudí, že toto zjištění může mít význam pro klinickou praxi. Technické chyby vzniklé při použití pokračovacího stehu mají složité a časově náročné opravy, které mohou potenciálně negovat získanou časovou úsporu. Proto je podmínkou aplikace pokračujícího stehu bezchybná operační technika.

Summary

Surgical aspects of brain ischaemia

Flowmetry in a clinical practice and experiment

The aim of this dissertation is to assess the options and benefits of a transit time flow measurement (TTF) in brain ischemia prevention in neurosurgery.

Case reports from the Department of Neurosurgery, Charles University, Faculty of Medicine in Pilsen show the use and the limits of TTF. Presented case reports show the need of an individual approach in the case of a complex brain vessel surgery.

A group of patients surgically treated for an unruptured middle cerebral artery aneurysm was analysed. Possible restriction of blood flow after the clip placement was quantitatively assessed by TTF in the first subgroup of patients. No quantitative flow measurement was performed in the second subgroup. There was no statistically significant difference between the two groups in terms of ischemia prevention. Some cases may entitle the surgeon to consider TTF use. TTF measurement is an invasive procedure and it demands a careful approach to the vessel and its preparation. The authors suggest to leave the use of the TTF to the surgeon's discretion. The surgeon must decide whether the benefit gained from the measurement outweighs the risk of the vessel manipulation.

The experimental part of the dissertation was objectively quantified by TTF via the change of the blood flow through the microanastomosis of a common carotid artery (CCA) of a rat two weeks after the anastomosis surgery. The blood flow through both CCAs was identical. Thus the blood flow through the anastomosis could be compared to the blood flow through the other intact CCA with a high reliability. The difference was noted as a percentage. Examined values were independent of environmental factors such as a pulse, blood pressure or vessel size.

Two types of suture methods were compared – a standard single suture method and a less frequently used running suture method. A sample of 32 rats showed a minimal difference in the anastomosis blood flow maturation in both subgroups. Additionally, the sample showed significant time savings when using the running suture. Authors conclude that this finding can have a clinical impact. Technical errors made when using a running suture are difficult and time consuming to repair. That could potentially negate the time savings. Requirement for a running suture application is a perfect surgical technique.

Literatura

1. Aida, L. (2014). *Alexis Carrel (1873–1944): Visionary vascular surgeon and pioneer in organ transplantation*. *Journal of Medical Biography*, 22(3), 172–175.
2. Al-Shatoury HA, Raja AI, Ausman JL (2000). *Timeline: pioneers in cerebral aneurysms*. *Surg Neurol* 54:465–470
3. Alexander, T.D., MacDonald, R.L., Weir, B., Kowalczyk, A. (1996). *Intraoperative Angiography in cerebral aneurysms surgery: a prospective study of 100 craniotomies*. *Neurosurgery*; 39(1): 10–18.
4. Alghoul, M. S., Gordon, C. R., Yetman, R., Buncke, G. M., Siemionow, M., Afifi, A. M., & Moon, W. K. (2010). *From simple interrupted to complex spiral: a systematic review of various suture techniques for microvascular anastomoses*. *Microsurgery*, 1, 72–80.
5. Amin-Hanjani, S. (2011). *Cerebral revascularization: extracranial-intracranial bypass*. *Journal of neurosurgical sciences*, 2, 107–116.
6. Amin-Hanjani, S., Alaraj, A., Charbel, F.T. *Acta Neurochir* (2010) 152:1021–1032.
7. Amin-Hanjani, S., Barker, F. G., II, Charbel, F. T., Connolly, E. S., Jr, Morcos, J. J., & Thompson, B. G. (2012). *Extracranial-Intracranial Bypass for Stroke—Is This the End of the Line or a Bump in the Road?* *Neurosurgery*, 71(3), 557–561.
8. Amin-Hanjani, S., Du, X., & Zhao, M. (2005). *Use of Quantitative Magnetic Resonance Angiography To Stratify Stroke Risk in Symptomatic Vertebrobasilar Disease*. *Journal of Vascular Surgery*, 42(3), 591.
9. Amin-Hanjani, S., Du, X., Mlinarevich, N., Meglio, G., Zhao, M., & Charbel, F. T. (2005). *The Cut Flow Index: An Intraoperative Predictor of the Success of Extracranial-Intracranial Bypass for Occlusive Cerebrovascular Disease*. *Operative Neurosurgery*, 56, 75–85.
10. Amin-Hanjani, S., Meglio, G., Gatto, R., Bauer, A., & Charbel, F. T. (2006). *The utility of intraoperative blood flow measurement during aneurysm surgery using an ultrasonic perivascular flow probe*. *Neurosurgery*, 4 Suppl 2, ONS-305-12; discussion ONS-312.
11. Amin-Hanjani, S., Meglio, G., Gatto, R., Bauer, A., Charbel, F.T. (2008). *The utility of intraoperative blood flow measurement during aneurysm surgery using an ultrasonic perivascular probe*. *Neurosurgery*; 62 (6 Suppl 3): 1346–1353.

12. Amin-Hanjani, S., Rose-Finnell, L., Richardson, D., Ruland, S., Pandey, D., Thulborn, K. R., Charbel, F. T. (2010). *Vertebrobasilar Flow Evaluation and Risk of Transient Ischaemic Attack and Stroke Study (Veritas): Rationale and Design*. *International Journal of Stroke*, 5(6), 499-505.
13. Arráez-Aybar, L. A., Navia-Álvarez, P., Fuentes-Redondo, T., & Bueno-López, J. L. (2015). *Thomas Willis, a pioneer in translational research in anatomy (on the 350th anniversary of Cerebri anatome)*. *Journal of anatomy*, 226(3), 289–300.
14. Ascher, E., Markevich, N., Schutzer, R. W., Kallakuri, S., Jacob, T., & Hingorani, A. P. (2003). *Cerebral hyperperfusion syndrome after carotid endarterectomy: predictive factors and hemodynamic changes*. *Journal of vascular surgery*, 4, 769–777.
15. Ausman, J. I., & Diaz, F. G. (1986). *Critique of the extracranial-intracranial bypass study*. *Surgical Neurology*, 26(3), 218–221.
16. Barros, R. S. M. de, Leal, R. A., Teixeira, R. K. C., Yamaki, V. N., Feijó, D. H., Gouveia, E. H. H., ... Carvalho, L. T. F. de. (2017). *Continuous versus interrupted suture technique in microvascular anastomosis in rats*. *Acta Cirurgica Brasileira*, 32(9), 691–696.
17. Boni, L., David, G., Mangano, A., Dionigi, G., Rausei, S., Spampatti, S., Fingerhut, A. (2014). *Clinical applications of indocyanine green (ICG) enhanced fluorescence in laparoscopic surgery*. *Surgical Endoscopy*, 29(7), 2046–2055.
18. Bouri, S., Thapar, A., Shalhoub, J., Jayasooriya, G., Fernando, A., Franklin, I. J., & Davies, A. H. (2010). *Hypertension and the post-carotid endarterectomy cerebral hyperperfusion syndrome*. *European journal of vascular and endovascular surgery : the official journal of the European Society for Vascular Surgery*, 2, 229–237.
19. Bouthillier, A., Loveren, H. R., & Keller, J. T. (1996). *Segments of the Internal Carotid Artery: A New Classification*. *Neurosurgery*, 38(3), 425-433.
20. Carlson, A. P., Yonas, H., Chang, Y. F., & Nemoto, E. M. (2011). *Failure of cerebral hemodynamic selection in general or of specific positron emission tomography methodology?: Carotid Occlusion Surgery Study (COSS)*. *Stroke*, 12, 3637–3639.
21. Charbel, F.D. *Medical Note. Intraoperative Blood Flow Measurement during Aneurysm Clipping Surgery*. *Trasonic Online Resources*.
<https://www.trasonic.com/tasks/render/file/?fileID=3D608756-AE01-8862-DAFD389C10484A3D>.
22. Cipolla, M. J., Li, R., & Vitullo, L. (2004). *Perivascular Innervation of Penetrating Brain Parenchymal Arterioles*. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 44(1), 1-8.

23. DeBakey, M. E. (1975). *Successful Carotid Endarterectomy For Cerebrovascular Insufficiency*. *Jama*, 233(10), 1083.
24. deVries EJ, Sekhar LN, Horton JA et al. *A new method to predict safe resection of the internal carotid artery*. *Laryngoscope* 1990; 100:85-88
25. Engelter, S., & Lyrer, P. (2003). *Antiplatelet therapy for preventing stroke and other vascular events after carotid endarterectomy*. *Cochrane Database of Systematic Reviews*.
26. Esposito, G., Amin-Hanjani, S., & Regli, L. (2016). *Role of and Indications for Bypass Surgery After Carotid Occlusion Surgery Study (COSS)?* *Stroke*, 47(1), 282–290.
27. *Failure of Extracranial–Intracranial Arterial Bypass to Reduce the Risk of Ischemic Stroke*. (1985). *New England Journal of Medicine*, 313(19), 1191-1200.
28. Feindel, W., Hodge, C. P., & Yamamoto, Y. L. (1968). *Epicerebral Angiography by Fluorescein during Craniotomy*. *Progress in Brain Research Cerebral Circulation*, 471-477.
29. Fox, I. J., Wood, E. H. (1960). *Indocyanine green: physical and physiologic properties*. *Proceedings of the staff meetings*. *Mayo Clinic*, 732–744.
30. Fukui, M. (1997). *Guidelines for the diagnosis and treatment of spontaneous occlusion of the circle of Willis (Moyamoya disease)*. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 99.
31. Fung, L. E., Thompson, D., & Ganesan, V. (2005). *Revascularisation surgery for paediatric Moyamoya: A review of the literature*. *Childs Nervous System*, 21(5), 358-364.
32. Gaikwad, K. (2012). *Balloon occlusion test of internal carotid artery – role in pre operative assessment of head and neck tumors*. *European Congress of Radiology*.
33. Guey, S., Tournier-Lasserre, E., Hervé, D., & Kossorotoff, M. (2015). *Moyamoya disease and syndromes: from genetics to clinical management*. *The application of clinical genetics*, 8, 49–68.
34. Gunnal, S., Farooqui, M., & Wabale, R. (2018). *Anatomical variability of the posterior communicating artery*. *Asian Journal of Neurosurgery*, 13(2), 363.
35. Hokari, M., Kuroda, S., Shiga, T., Nakayama, N., Tamaki, N., & Iwasaki, Y. (2009). *Impact of oxygen extraction fraction on long-term prognosis in patients with reduced blood flow and vasoreactivity because of occlusive carotid artery disease*. *Surgical Neurology*, 71(5), 532-538.

36. Hung, S.-C., Liang, M.-L., Lin, C.-F., Lin, C.-J., Guo, W.-Y., Chang, F.-C., ... Chang, C.-Y. (2014). New grading of Moyamoya disease using color-coded parametric quantitative digital subtraction angiography. *Journal of the Chinese Medical Association*, 77(8), 437–442.
37. Charbel F. (2013) *Medical Note: Intraoperative Blood Flow Measurement during Aneurysm Clipping Surgery*. Transonic Systems Inc. Online Resources.
38. Chen, Y.-X., Chen, L.-E., Seaber, A. V., & Urbaniak, J. R. (2001). Comparison of continuous and interrupted suture techniques in microvascular anastomosis. *The Journal of Hand Surgery*, 26(3), 530–539.
39. Chmelova, J., Kolar, Z., Prochazka, V., Curik, R., Dvorackova, J., Sirucek, P., Hrbac, T. (2010). Moyamoya Disease Is Associated With Endothelial Activity Detected By Anti-Nestin Antibody. *Biomedical Papers*, 154(2), 159-162.
40. Iadecola, C. (2004). Neurovascular regulation in the normal brain and in Alzheimer's disease. *Nature Reviews Neuroscience*, 5(5), 347–360.
41. Jacobson, D. M. (1999). Symptomatic compression of the optic nerve by the carotid artery. *Ophthalmology*, 106(10), 1994-2004.
42. Janigro, D., West, G. A., Nguyen, T. S., & Winn, H. R. (1994). Regulation of blood-brain barrier endothelial cells by nitric oxide. *Circulation Research*, 75(3), 528-538.
43. Katz, M., Gologorsky, B.A., Tsiouris, I.J., Wells-Roth, D., Mascitelli, J., Gobin, Y.P., et al. (2006). Is routine intraoperative angiography in the surgical treatment of cerebral aneurysms justified? A consecutive series of 147 aneurysms. *Neurosurgery*; 58(4): 719–727.
44. Kim, J. H., Kwon, T., Kim, J. H., Chong, K., & Yoon, W. (2018). Intracranial Aneurysms in Adult Moyamoya Disease. *World Neurosurgery*, 109.
45. King, A., Shipley, M., & Markus, H. (2013). The Effect of Medical Treatments on Stroke Risk in Asymptomatic Carotid Stenosis. *Stroke*, 44(2), 542-546.
46. Kirk, H.J., Rao, P.J., Seow, K., Fuller, J., Chandran, N., Khurana, V.G. (2009). Intraoperative transit time flowmetry reduces the risk of ischemic neurological deficits in neurosurgery. *Br J Neurosurg*; 23(1):40–47.
47. Krasny, A., Nensa, F., Sandalcioglu, I. E., Göricke, S. L., Wanke, I., Gramsch, C., Schlamann, M. (2013). Association of aneurysms and variation of the A1 segment. *Journal of NeuroInterventional Surgery*, 6(3), 178-183.

48. Krzyżewski, R. M., Tomaszewski, K. A., Kochana, M., Kopeć, M., Klimek-Piotrowska, W., & Walocha, J. A. (2014). Anatomical variations of the anterior communicating artery complex: gender relationship. *Surgical and Radiologic Anatomy*, 37(1), 81–86.
49. Laing, R. (1998). A History of Neurosurgery. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 64(2), 284-284. doi:10.1136/jnnp.64.2.284.
50. Lawton, M. T., & Probst, K. X. (2018). *Seven bypasses tenets and techniques for revascularization*. New York: Thieme.
51. Love, B. B., & Biller, J. (2007). Neurovascular System. In *Textbook of Clinical Neurology* (pp. 405–434). Elsevier.
52. Makris, G. C., Teng, Z., Patterson, A. J., Lin, J. M., Young, V., Graves, M. J., & Gillard, J. H. (2015). Advances in MRI for the evaluation of carotid atherosclerosis. *The British journal of radiology*, 88(1052), 20140282.
53. Mikami, T., Suzuki, H., Ukai, R., Komatsu, K., Kimura, Y., Akiyama, Y., Mikuni, N. (2018). *Surgical Anatomy of Rats for the Training of Microvascular Anastomosis*. *World Neurosurgery*, 120, e1310–e1318.
54. Mracek, J., Kletecka, J., Holeckova, I., Dostal, J., Mrackova, J., Mork, J., & Priban, V. (2019). Patient Satisfaction with General versus Local Anesthesia during Carotid Endarterectomy. *Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery*.
55. Mracek, J., Kletecka, J., Mork, J., Stepanek, D., Dostal, J., Mrackova, J., & Priban, V. (2019). Indications for General versus Local Anesthesia during Carotid Endarterectomy. *Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery*, 80(04), 250-254.
56. Mudra, H., Staubach, S., Hein-Rothweiler, R., Segerer, M., Strohm, H., Weber, H., & Ledwoch, J. (2016). Long-Term Outcomes of Carotid Artery Stenting in Clinical Practice. *Circulation: Cardiovascular Interventions*, 9(9).
57. Nemoto, E. M., Yonas, H., & Chang, Y. (2003). Stages and Thresholds of Hemodynamic Failure. *Stroke*, 34(1), 2–3.
58. Neuloh, G., Schramm, J. (2004). Monitoring of motor evoked potentials compared with somatosensory evoked potentials and microvascular Doppler ultrasonography in cerebral aneurysm surgery. *J Neurosurg*;100(3): 389–399.
59. Nishioka H. Report of the Cooperative Study of Intracranial Aneurysms and Subarachnoid Hemorrhage, VII, part I: results of the treatment of intracranial aneurysms by occlusion of the carotid artery in the neck. *J Neurosurg* 1966; 25: 660-82

60. Origitano TC, Al-Mefty O, Leonetti JP et al. *Vascular considerations and complications in cranial base surgery. Neurosurgery* 1994; 35: 351-363
61. Pafitanis, G., Raveendran, M., Myers, S., & Ghanem, A. M. (2017). *Flowmetry evolution in microvascular surgery: A systematic review. Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, 70(9), 1242–1251.
62. Powers, W. J., Clarke, W. R., Grubb, R. L., Videen, T. O., Adams, H. P., Derdeyn, C. P., & COSS Investigators, for the. (2011). *Extracranial-Intracranial Bypass Surgery for Stroke Prevention in Hemodynamic Cerebral Ischemia. JAMA*, 306(18), 1983.
63. Přibáň V, Holečková I, Mraček J, Runt V, Štěpánek D. (2013). *Selhání peroperační videoangiografie s využitím indocyaninové zeleně při detekci uzávěru mozkového aneuryzmatu klipem – kazuistika. Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie*. 76/109(6), 773-778.
64. Přibáň, V., Fiedler, J., Mraček, J., Štěpánek, D. (2014). *Kvantitativní měření krevního průtoku magistrálních tepen při operacích mozkových aneuryzmat. Cesk Slov Neurol N; 77/110 (1): 70-76.*
65. Raabe A., et al. (2003). *Near-infrared Indocyanine Green Video Angiography: A New Method for Intraoperative Assessment of Vascular Flow. (2003). Neurosurgery*.
66. Raabe, A., Nakaji, P., Beck, J., Kim, L.J., Hsu, F.P., Kamerman, J.D., et al. (2005). *Prospective evaluation of surgical microscope-integrated intraoperative near-infrared indocyanine green videoangiography during aneurysm surgery. J Neurosurg; 103(6): 982–989.*
67. Radad, K., & El-Shazly, M. (2007). *Clinical and pathological assessment of different suture techniques for microvascular anastomosis in rat femoral artery. Journal of veterinary science*, 3, 269–273.
68. Radovnický, T., Vachata, P., Bartos, R., & Sames, M. (2016). *The masaryk hospital extracranial-intracranial bypass study. Neurosurgical review*, 1, 53–57.
69. Ray, S. (2014). *Clopidogrel resistance: The way forward. Indian Heart Journal*, 66(5), 530–534.
70. Rinaldo, L., McCutcheon, B. A., Murphy, M. E., Bydon, M., Rabinstein, A. A., & Lanzino, G. (2017). *Relationship of A1 segment hypoplasia to anterior communicating artery aneurysm morphology and risk factors for aneurysm formation. Journal of Neurosurgery*, 127(1), 89–95.

71. Rinne, J., Hernesniemi, J., Niskanen, M., Vapalahti, M. (1995). Analysis of 561 patients with 690 middle cerebral artery aneurysms: anatomic and clinical features as correlated to management outcome. *Neurosurgery*; 8(1): 2–11.
72. Scott, S.C., Ahuja, A., Guterman, L.R., et al. (1995). Balloon Test Occlusion of the Internal Carotid Artery with Hypotensive Challenge. *AJNR*; 16: 1453-58
73. Singh, R. B., Mengi, S. A., Xu, Y. J., Arneja, A. S., & Dhalla, N. S. (2002). Pathogenesis of atherosclerosis: A multifactorial process. *Experimental and clinical cardiology*, 7(1), 40–53.
74. Smith, R. D. (2003). Extracranial-intracranial bypass in cerebral ischemia. *The Ochsner journal*, 1, 31–35.
75. Spetzler, R. F. in: Rangel-Castilla, L., Nakaji, P., Siddiqui, A.A., Spetzler, R.F., Levi, EI. *Decision making in neurovascular disease. Thieme 2018, s. 127, ISBN 978-1-68420-057-3.*
76. Suzuki, J. (1969). Cerebrovascular "Moyamoya" Disease. *Archives of Neurology*, 20(3), 288.
77. Swearingen B, Heros RC. Common carotid occlusion for unclippable carotid aneurysms: an old but still effective operation, *Neurosurgery* 1987; 21: 288-295
78. Szelényi, A., Langer, D., Kothbauer, K., et al. (2006). Monitoring of muscle motor evoked potentials during cerebral aneurysm surgery: intraoperative changes and postoperative outcome. *J neurosurg*; 105: 675-681.
79. Takeuchi, K. (1957). Hypoplasia of bilateral internal carotid arteries. *Brain nerve*, 9, 37-43.
80. Tayebi Meybodi, A., Aklinski, J., Gandhi, S., Lawton, M. T., & Preul, M. C. (2018). Technical Nuances of Exposing Rat Common Carotid Arteries for Practicing Microsurgical Anastomosis. *World Neurosurgery*, 115, e305–e311.
81. Tong, E., Hou, Q., Fiebach, J. B., & Wintermark, M. (2014). The role of imaging in acute ischemic stroke. *Neurosurgical Focus*, 36(1).
82. Uchino, A., Nomiya, K., Takase, Y., & Kudo, S. (2006). Anterior cerebral artery variations detected by MR angiography. *Neuroradiology*, 48(9), 647-652.
83. van Mook, W. N., Rennenberg, R. J., Schurink, G. W., van Oostenbrugge, R. J., Mess, W. H., Hofman, P. A., & de Leeuw, P. W. (2005). Cerebral hyperperfusion syndrome. *The Lancet Neurology*, 4(12), 877–888.

84. Wakai, K., Tamakoshi, A., Ikezaki, K., Fukui, M., Kawamura, T., Aoki, R., Ohno, Y. (1997). *Epidemiological features of Moyamoya disease in Japan: Findings from a nationwide survey. Clinical Neurology and Neurosurgery, 99.*
85. Xie, S. (2014). *MR OEF Imaging in MELAS. In Methods in Enzymology (pp. 433–444). Elsevier.*
86. Zhu Chen, Li-Nan Hu, Hui Zhu et al. *Validity of venous phase delay assessment in balloon occlusion test of internal carotid artery. Experimental and therapeutic medicine 2019; 17: 948-952*
87. Zipfel, G. (2008). *Clinical Features and Outcome in North American Adults With Moyamoya Phenomenon. Yearbook of Neurology and Neurosurgery, 2008, 216-217.*

Seznam zkratek

ACA	Přední mozková tepna
ACom	Přední komunikující tepna
AICA	Arteria cerebellaris anterior inferior
BA	Bazilární tepna
BMT	Nejlepší medikamentózní terapie
BTO	Balon okluzní test
CAS	Karotický stenting
CBF	Krevní průtok mozkem
CCA	Společná karotická tepna
CEA	Karotická endarterektomie
CMP	Cévní mozková příhoda
CPP	Mozkový perfúzní tlak
CVR	Cerebrovaskulární reaktivita
DUSG	Duplexní ultrasonografie
EC-IC	Extra-intrakraniální
ECA	Zevní karotická tepna
ICA	Vnitřní karotická tepna
ICG	Indocyaninová zeleň
ICG VA	ICG videoangiografie
ICP	Intrakraniální tlak
M2(f)	Frontální větev segmentu M2 MCA
M2(t)	Temporální větev segmentu M2 MCA
MAP	Střední arteriální tlak
MCA	Střední mozková tepna
PCA	Zadní mozková tepna
PCom	Zadní komunikující tepna
PICA	Arteria cerebellaris posterior inferior
SCA	Horní mozečková tepna
STA	Arteria temporalis superficialis
TTF	Transit time flowmetrie
VA	Vertebrální tepna

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1. Willisův tepenný okruh	11
Obr. 2. Fetální mozková cirkulace	13
Obr. 3. Aplázie A1 ACA vlevo	15
Obr. 4. Autoregulace krevního zásobení mozku	19
Obr. 5. Způsoby CEA	25
Obr. 6. Stadia hemodynamické insuficience mozku	28
Obr. 7. Měření krevního průtoku TTF sondou (schéma)	36
Obr. 8. Měření krevního průtoku TTF sondou (foto)	37
Obr. 9. Vázání uzle	44
Obr. 10. Chytání cévy pinzetou	44
Obr. 11. Zavádění stehu do cévy	45
Obr. 12 Manipulace s cévou za adventicii	45
Obr. 13. Sutura cév o různé tloušťce	46
Obr. 14. Aproximační svorka	48
Obr. 15. Aclandův test	50
Obr. 16. Two wall stitch	54
Obr. 17. Záchrana sutury při přetržení vlákna	55
Obr. 18. Oprava trhliny v místě anastomózy	55
Obr. 19. Založení stehů před započítím vlastní sutury end-to-side anastomózy	60
Obr. 20. Pořadí stehů end-to-side anastomózy	60
Obr. 21. Dokončená end-to-side anastomóza	60
Obr. 22. Flowmetr a jeho sonda	63
Obr. 23. Detail sondy flowmetru	63
Obr. 24 Výduť M1/2 na CTA, peroperační fotografie s patrnou sklerózou krčku	69
Obr. 25. Nativní CT a CT perfuze prokazuje ischemii temporálně	70
Obr. 26. Perfúzní CT s průkazem vyčepané CVRC	73
Obr. 27. Kontrolní CTA ukazuje dobře patentní bypass	74
Obr. 28. Kontrolní perfúzní CT prokazuje úpravu CVRC	74
Obr. 29. Vyčerpáná CVR	75
Obr. 30. Stav po našití bypassu	75
Obr. 31. ICG videoangiografie. Není viditelný průtok krve donorem	76
Obr. 32. Extrakce trombu z anastomózy	76
Obr. 33. Porucha perfuze v obou hemisférách pacientky před operací	78
Obr. 34. DSA obraz nemoci Moyamoya	78
Obr. 35. EC-IC bypass (STA-M4 MCA)	79
Obr. 36. Příprava na EDAMS	79
Obr. 37. Pooperační DSA ukazuje patentní EC-IC bypass	80
Obr. 38. CT perfuze s odstupem 3 měsíců	80
Obr. 39. DSA 3D a bočný snímek intrakavernózního aneuryzmatu.	82
Obr. 40. Low-flow bypass peroperačně a na DSA následný den.	83
Obr. 41. Obr 41. Flowmetrie štěpu a. radialis.	83

Obr. 42. Arteriální a kapilární fáze DSA ukazuje dobrou perfuzi hemisféry.	84
Obr. 43. CT perfuze pooperačně, foto pacientky.	84
Obr. 44 DSA ukazuje aneuryzma pravé ICA.	86
Obr. 45. Peroperační pohled na aneuryzma.	86
Obr. 46. Zhotovený nízkoprůtokový EC-IC bypass STA-MCA vpravo.	87
Obr. 47. Pooperační CT perfuze.	87
Obr. 48. Potkan v operační poloze.	93
Obr. 49. Anatomické struktury v místě operační rány.	93
Obr. 50. Přetnutí zasvorkované CCA.	93
Obr. 51 Aproximace cévních konců.	94
Obr. 52 Příprava cévy před anastomózou.	94
Obr. 53. Provedení anastomózy jednotlivými stehy.	95
Obr. 54. Provedení anastomózy pokračovacím stehem.	95
Obr. 55. Svalová vrstva v místě přístupu	96
Obr. 56. Experimentální sonda flowmetru	96
Obr. 57. Aproximační svorka na pravé CCA	97
Obr. 58. End-to-end sutura pravé společné karotidy	97
Obr. 59. Histologie tepen.	102
Obr. 60. Histologie tepen.	103
Tab. 1. Stadia nemoci Moyamoya dle Suzukiho	22
Tab. 2. TTF naměřené průtoky mozkových tepen	38
Tab. 3. Modifikovaná Rankinova škála	64
Tab. 4. Charakteristika pacientů s měřením flow a klinické výsledky	66
Tab. 5. Charakteristika pacientů bez měření flow a klinické výsledky	67
Tab. 6. Soubor zvířat s anastomózou provedenou jednotlivými stehy	100
Tab. 7. Soubor zvířat s anastomózou provedenou pokračovacím stehem	101
Tab. 8. Porovnání technik sutury mikroanastomózy	107

Publikační a prezentační aktivita ve vztahu k práci

Publikace autora:

1. Dostál, J., Příbáň, V., Mraček, J., Vacek, P., Duras, P. (2019). Aneurysmal subarachnoid haemorrhage in pregnancy – successful clipping after coiling failure. *Česká a Slovenská Neurologie a Neurochirurgie*, 82/115(2), 219–221. **IF 0,508**
2. Mracek, J., Kletecka, J., Mork, J., Stepanek, D., Dostal, J., Mrackova, J., Priban, V. (2019). Indications for General versus Local Anesthesia during Carotid Endarterectomy. *Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery*, 80(4), 250–254. **IF 1,06**
3. Mracek, J., Kletecka, J., Holeckova, I., Dostal, J., Mrackova, J., Mork, J., Priban, V. (2019). Patient Satisfaction with General versus Local Anesthesia during Carotid Endarterectomy. *Journal of Neurological Surgery Part A: Central European Neurosurgery*. Vydáno online před tiskem. **IF 1,06**
4. Kasl, Z., Rusňák, Š., Ishizaki, T., Krčma, M., Peterka, M., Rohan, V., Dostál, J., Jirásková, N. (2017). Použití optické koherentní tomografie v diagnostice a sledování pacientů s idiopatickou intrakraniální hypertenzí. *Prakt. Lék.* 2017; 97(2): 73-81

Prezentace autora:

1. Dostál, J., Runt, V., Štěpánek, D., Příbáň, V. (2016, únor). Miniinvazivní operace karpálního tunelu. Prezentováno na Postgraduálních lékařských dnech Plzeň 2016
2. Dostál, J., Příbáň, V. (2016, březen). Prasklé AVM jako emergentní stavy. Prezentováno na Pracovní schůzi ČLSJEP, večeru neurochirurgické kliniky, Plzeň
3. Dostál, J., Lavička, P., Příbáň, V. (2016, listopad). Rozsah SAH jako prediktivní faktor klinického výsledku. Prezentováno na Výročním kongresu České neurochirurgické společnosti v Plzni.
4. Dostál, J., Příbáň, V. (2017, březen). Kauzální chirurgická terapie neurovaskulárních konfliktů. Prezentováno na Pracovní schůzi ČLSJEP, večeru neurochirurgické kliniky, Plzeň
5. Dostál, J., Příbáň, V. (2018, březen). Současné možnosti léčby intrakraniálních aneuryzmat. Prezentováno na Postgraduálních lékařských dnech Plzeň 2018
6. Dostál, J., Příbáň V. (2018, září). Lenticulostriate Perforator Clipping as a Part of AVM Treatment. Prezentováno na EANS Vascular Section Meeting, Nice, Francie.
7. Dostál J., Klein P., Kubíková T., Příbáň V. (2018, září). Vliv techniky sutury na vývoj průtoku cévní mikroanastomózou v čase. Prezentováno na Výročním kongresu České neurochirurgické společnosti v Ústí nad Labem.
8. Lektor na Neurosurgical Microvascular Workshop České Budějovice 2016 a 2019
9. Prezentace průběžných výsledků studia na Studentské vědecké konferenci LF UK V Plzni (2017, 2018, 2019).