

# **Modelace hemodynamiky a její potenciální přínos pro chirurgickou léčbu intrakraniálních aneuryzmat**

**MUDr. Aleš Hejčl, Ph.D.**

***Neurochirurgická klinika Univerzity Jana Evangelisty Purkyně, Masarykova nemocnice, Ústí nad Labem***

Mozková aneuryzmata se v populaci vyskytují přibližně u 3% jedinců. V souvislosti s rozvojem radiologické diagnostiky, především pak magnetické rezonanční angiografie (MRA) a počítačové tomografické angiografie (CTA), pozorujeme v posledních 20 letech výrazný nárůst záchytu intrakraniálních aneuryzmat (IA). Riziko ruptury je u většiny z nich velmi nízké. Na druhou stranu při prasknutí mozkové výdutě je mortalita přibližně 50% s vysokým stupněm morbidity u přeživších jedinců. Přitom chirurgická léčba neprasklých aneuryzmat je spojena s rizikem úmrtí až kolem 3% a rizikem komplikací přes 20% dle některých studií. Pro klinickou praxi je proto důležité, abychom byli schopni rozlišit aneuryzmata riziková, s vyšší pravděpodobností ruptury, a aneuryzmata stabilní, která nevyžadují preventivní ošetření. Velké mezinárodní studie ukázaly, že mezi rizikovými faktory ruptury IA je především jejich velikost a lokalizace. Nicméně většina diagnostikovaných aneuryzmat je malých a současná klasifikační schémata toto nedostatečně reflektují. Je proto snahou dalšího vývoje přinést nová diferenciační schémata k hodnocení rizikovosti IA.

Hemodynamika hraje zásadní roli v patogenezi IA. Poznání hemodynamických parametrů může přispět k další stratifikaci IA na stabilní a riziková. V posledních letech se rozvíjí studium hemodynamiky pomocí matematického modelování (CFD – computational fluid dynamics). Během posledních přibližně 6 let jsme vytvořili multioborový mezinárodní tým se zaměřením na hemodynamické modelování intrakraniálních aneuryzmat. K vytvoření 3D sítě jsme použili všech 3 modalit zobrazení, tedy CTA, MRA i digitální substrakční angiografie (DSA). Síť byly vytvořeny manuální segmentací s využitím programů ITK Snap a MIMICS. Následně byly pro jednotlivá aneuryzmata vypočteny hemodynamické parametry, jako jsou např. rychlost a charakter toku, smykové napětí na stěně cévy (wall shear stress – WSS), oscilační index smykového napětí (oscillatory shear index - OSI), oblast nízkého smykového napětí (low shear stress area – LSA), apod. V naší práci jsme hodnotili jednotlivé fáze vývoje aneuryzmatu, jako je růst či ruptura. Dále jsme hodnotili lokální hemodynamické parametry v místě ruptury či porovnali rozdíly mezi prasklými a neprasklými výdutěmi.

Dle našich výsledků souvisí růst aneuryzmatu s několika faktory. Vlastní zvětšování vaku aneuryzmatu jsme pozorovali v oblasti s nízkým průtokem krve, vyšším tlakem a nízkým smykovým napětím. S růstem vaku pak souvisel i mírný pokles smykového napětí v čase. Dalším faktorem byla remodelace krčku aneuryzmatu, která byla charakterizována vysokým smykovým napětím, vysokým tlakem a rychlostí. U těch aneuryzmat, u kterých došlo v průběhu sledování výdutě k prasknutí, jsme pak pozorovali zvětšení plochy nízkého smykového napětí. Pokud jsme hodnotili hemodynamické parametry u již prasklých výdutí, pozorovali jsme v místě ruptury 2 typy hemodynamických změn: A. nízké smykové napětí, vysoký OSI, víry a recirkulace; a nebo B. přímý trysk proudu krve proti stěně vaku s vysokým smykovým napětím. Při porovnání prasklých a neprasklých aneuryzmat se dle nedávné metaanalýzy zdá, že prasklé výdutě mají celkově nižší smykové napětí v porovnání s těmi neprasklými. V naší studii jsme toto nepotvrdili; na druhou stranu jsme zjistili, že

hemodynamické parametry u aneuryzmat nad 10mm se liší od těch pod 10mm nezávisle na stavu ruptury. U velkých aneuryzmat je významně nižší smykové napětí a větší LSA.

Současný stav poznání hemodynamiky intrakraniálních aneuryzmat zatím neumožňuje běžné využití v klinické praxi. Důvodem je např. velké množství limitací této metodiky nebo často protichůdné závěry jednotlivých výzkumných skupin. Další vývoj (korelace s biologií cévní stěny, korekce kalkulací pomocí laboratorních modelů, apod.) pak může přinést zpřesnění kalkulací a tím přiblížit výsledné hodnoty realitě proudění krve uvnitř intrakraniálních aneuryzmat. Jako nejslibnější a nejvíce studovaný hemodynamický parametr se jeví smykové napětí. Již dnes přitom existují první studie, které naznačují možný konkrétní přínos hemodynamického modelování při hodnocení léčby intrakraniálních aneuryzmat.

1. Hejčl A, Švihlová H, Radovnický T, Sejkorová A, Adámek D, Hron J, Dragomir-Daescu D, Málek J, Sameš M. *Computational fluid dynamics of a fatal ruptured anterior communicating artery aneurysm – a case report. J Neurol Surg Part A. 2017 Nov;78(6):610-616. (IF 2017 0,947).*

2. Sejkorová A, Dennis KD, Švihlová H, Petr O, Lanzino G, Hejčl A, Dragomir-Daescu D. *Hemodynamic changes in a middle cerebral artery aneurysm at follow-up times before and after its rupture: a case report and a review of the literature. Neurosurg Rev. 2017 Apr;40(2):329-338. (IF 2017 2,255).*

3. Štěpán-Buksakowska I, Accurso JM, Diehn F, Huston J, Kaufmann TJ, Luetmer PJ, Wood CP, Yang X, Blezek DJ, Carter R, Hagen C, Hořínek D, Hejčl A, Roček M, Erickson BJ. *Computer-Aided Diagnosis Improves Detection of Intracranial Aneurysms in a Clinical Setting. Am J Neuroradiol. 2014;35(10):1897-902. (IF 2017 3,653).*