

Posudek vedoucího diplomové práce

Bc. Michal Pinc: Modelování průtoku krve a krevní disperze ve vaskulárním řečišti v závislosti na charakteru proudění

Cílem diplomové práce „Modelování průtoku krve a krevní disperze ve vaskulárním řečišti v závislosti na charakteru proudění“ bylo vytvořit smyčku větveného modelu vaskulárního řečiště s implementovanými senzory tlaku a průtoku, zařízení na generování různého charakteru pulsatilního proudění a porovnat průtok a tlak v různých částech vaskulárního řečiště v závislosti na tvaru průtokové a tlakové křivky v kmeni řečiště.

Diplomová práce je členěna do kapitol, které naplňují zadání diplomové práce. V úvodu je popsána problematika mechanických srdečních podpor a pulsatilního vs. kontinuálního toku, dále anatomie a fyziologie kardiovaskulárního systému a principy modelování. V kapitole „Výsledný kardiovaskulární model“ je detailní popis zhotoveného kardiovaskulárního modelu s jeho komponenty. Samotný experiment s pulsatilním vs. nepulsatilním tokem (kontinuálním) s výsledky je popsán v kapitole „Experiment a naměřené výsledky“. Data z experimentů (předpoklad shody průtoku v různých modech a finální experiment s kuličkami) jsou statisticky vyhodnoceny (Man-Whitněův test a Studentův t-test). Výsledky experimentu jsou diskutovány v kapitole 7.

Diplomant si zvolil velmi náročnou diplomovou práci, která svým zadáním přesahovala rozsah jeho studijního programu. Samotné téma je interdisciplinární a vyžadovalo navíc důkladnou lékařskou přípravu (zejména v lékařské fyziologii a v kardiochirurgii) a bezpochyby přípravu v problematice mechaniky tekutin.

Navržený a realizovaný model kardiovaskulárního systému je popsán velmi podrobně a srozumitelně. Zde je nutné upozornit na několik výjimečných řešení studenta při konstrukci modelu a měření průtoku v různých částech větveného modelu. Vytvořením prvku kompenzační nádoby se podařilo vyhladit čistý kontinuální tok a zároveň vytvořit podmínky pro tvorbu toku požadovaných vlastností. Měření průtoku v malých trubičkách pomocí kuličky tažené proudem v trubičce je originální a přesné (bylo představeno v experimentu předpokladu) a zároveň finančně nenáročné. Vkládání odporového prvku bylo důležité zejména pro zvýšení diastolického tlaku v systému modelu. Za zmínku dále stojí uvážený výběr dvou průměrů kuliček pro potřeby měření průtoku. Malá kulička v trubičce s velkým vnitřním průměrem z důvodů obtékání tekutiny kolem kuličky se může chovat odlišně než kulička s průměrem srovnatelným s vnitřním průměrem trubičky.

Za menší nedostatek lze považovat diskusi vedenou jen na necelých dvou stránkách. Nabízí se mnohem hlubší analýza výsledků z pohledu biomedicínského inženýrství na jedné straně a z pohledu lékařské fyziologie na straně druhé. Je důležité zmínit, že nebylo dosaženo stejného tvaru tlakové křivky v kmeni modelové smyčky, jako je nativní lidská tlaková křivka, také nebylo dosaženo stejných tlakových maxim a minim srovnatelných s lidským systolickým a diastolickým tlakem. Vlastnosti tekutiny, vlastnosti použitých elastických trubiček, vlastnosti použitých spojek (v modelu použity neelastické) mohou ovlivnit rychlost tekutiny a její distribuci při opakování pokusu v jiném větveném systému za jiných podmínek. Dále by bylo dobré připomenout, že chování krve ve větvených systémech může být odlišné od chování čisté kapaliny. Samotné matematické zdůvodnění pozorovaných jevů je úkol, který přesahuje zadání diplomové práce, ale z pohledu budoucího výzkumu jej bude nutné provést co nejdříve.

Z klinického pohledu je přesné sledování optimální perfuze, tzn. mikrocirkulace, tzn. prokrvení orgánů velmi obtížně měřitelné a hodnotitelné a stojí v tuto dobu mimo hlavní oblast lékařského zájmu. Výsledky diplomové práce o preferenční cestě pulsatilního toku do vyšších stupních větvení a preferenční cestě kontinuálního toku do nižších stupních větvení v navrženém modelu jsou v souladu s výsledky práce A. Baby et al., kteří porovnávali chování pulsatilního vs. kontinuálního toku v mikrocirkulaci na živých modelech. A. Baba dával své výsledky do souvislostí s velmi jemnou humorální regulací NO. Diplomant ukazuje na souvislost s charakterem proudění a vlastnostech cévního řečiště... Menší diskuze nikterak nekazí celkový dojem z práce, kterou lze hodnotit jako vysoce nadprůměrnou.

Diplomová práce je srozumitelná a přehledná, výklad na sebe navazuje, je zvolen mezioborový jazyk pochopitelný jak pro inženýry tak lékaře.

Grafická úroveň práce je na vysoké úrovni, text doplněn tabulkami, grafy, schémata, obrázky, fotografiemi, bez stylistických chyb. Rozsah práce se 58 stranami textu splňuje požadavky kladené na diplomovou práci.

Výsledky diplomové práce (okruh smyčky modelu vaskulárního řečiště ovládním a senzory) bude sloužit pro výukové potřeby a pro potřeby dalších diplomantů. Dosažené výsledky o různé distribuci toku ve větvených systémech v závislosti na typu proudění mohou sloužit jako základ pro hlubší klinický výzkum v oblasti perfuze orgánů v závislosti na míře srdečního selhání.

Otázka, zdali je možné zcela zaměnit nativní pulsatilní tok v systémovém řečišti člověka za čistě kontinuální, zůstává nezodpovězena, otázka, zdali různé typy proudění mohou ovlivnit rychlost průtoku v různých částech větveného modelu, zodpověděna byla a odpověď zní ano.

Poznámky – velmi drobné nedostatky práce:

- Obr. 6. 2. legenda, (str. 56) – uvedeno pulzatilní namísto pulsatilní.
- Tab. A.1.; (str. 62) - překlep průměr z 21 měření pro pulsatilní měření není 30,69 ml/s.
- Počet pacientů, kteří neúspěšně podstoupili implantaci CFTAH (implantace 2 kusů kontinuálních pump s nastolením kontinuálním toku v systémovém a plicním řečišti) nebyl dva, ale tři. Jakub Halík a Craig Lewis byli mediálně nejznámější.

Za vytvoření zdařilé diplomové práce s širokým a hlubokým interdisciplinárním záběrem klasifikuji:

A - výborně.

Diplomovou práci doporučuji k obhajobě.

V Praze dne 9. 1. 2015

MUDr. Ing. David Macků
katedra kybernetiky FEL ČVUT v Praze
vedoucí diplomové práce