

## **Posudek na disertační práci k získání titulu "PhD" v oboru *Biomechanika***

**Název práce: *Biomechanické aspekty dynamiky intrakraniálního tlaku při kraniocerebrálním poranění***

**Autor práce: *Ing. Martin Mayer***

Fakulta Tělesné Výchovy a Sportu UK v Praze, katedra Anatomie a Biomechaniky

Moderní biomechanické metody si již nelze představit bez hlubokých znalostí anatomie, biologie, ale ani bez matematického modelování složitých biochemických procesů v konkrétních kompartmentech lidského těla. Problematika proudění mozkomíšního moku (liquoru) v intrakraniálním prostoru má zásadní důležitost při léčení poranění mozku. Procesy ovlivňující funkci složitých biologických systémů (srdce, ledvin a mozku) jsou většinou složitých geometrických tvarů, popsány i velkým počtem materiálových parametrů, jako jsou např. elastické „konstanty“, průběhy koncentrací velkého množství chemických látek, elektrických potenciálů a toků apod. Orientace v tomto ohromném množství údajů je možná jen cestou tvorby vhodných a dostatečně přesných modelů, které chování těchto systémů simulují. Jen pomocí nich lze redukovat prakticky nekonečné množství experimentální práce. Analyzovat okamžitý stav pacienta a reagovat na jeho možný fatální vývoj vyžaduje mít buď dostatečné množství zkušeností a nebo použít vhodný simulační program. Takovou situací je např. nebezpečný nárůst intrakraniálního tlaku (ICP) nad 15 mmHg. Jedním z efektivních způsobů jak tento tlak ovlivňovat je udržení dostatečné srdeční aktivity spojené dodávkou kyslíku (s dýcháním). K zajištění dostatečného okysličení mozku je často třeba provést chirurgický zákrok tracheostomií- doprovázený umělou plicní ventilací. Vhodný simulační program by mohl modelovat závislost ICP na srdeční činnosti a umělé plicní ventilaci.

Hlavním cílem práce byla:

1. analýza kazuistik pacientů s kraniocerebrálním poranění
2. ověřit používané resuscitační procedury na zvířatech
3. nastavit model převodního systému invazivního měření intrakraniálního a arteriálního tlaku.

### **Hodnocení.**

Z úvodních částí práce je zřejmá velmi podrobná rešerše hodnocení poranění mozku a používané metody jejího léčení. Uvedeny jsou standardní záznamy průběhu ICP v korespondenci arteriálnímu tlaku; jeho systolou, dikrotickým nárůstem a doznívající pulzní vlnou. Zřetelný je vliv poddajnosti intrakraniálního prostoru. Všechny tyto souvislosti byly modelovány v pracích předcházejících doktorandů uvedeného pracoviště. Proces vzniku a vstřebávání mozkomíšního moku a rozbor již existujících matematických modelů a experimentů byl proveden v PhD práci MUDr. J. Otáhal, PhD (viz např. Jakub Otáhal et al: Simulation of cerebrospinal fluid transport, *Advances in Engineering Software* 38 (2007) 802–809) a pokračoval PhD prací Ing. Zbyška Štěpánika, *Simulace transportu mozkomíšního moku*, FTVS UK v Praze z roku 2009. Výsledkem obou uvedených prací byly simulační programy. Program u práce J. Otáhal uvažoval tvorbu a zánik liquoru, jak v systému komorovém a subarachnoidálním, tak i v páteřním kanálu. Mozková část byla rozdělena na dva kompartmenty a páteřní část na kompartmenty tři. Důležité bylo i zjištění, že pro největší odtok liquoru páteřním kanálem je vzájemná souvislost mezi poddajností intrakraniálního prostoru a odporu cervikální části páteřního kanálu. Součin

poddajnosti a odporu musí být přibližně roven srdeční frekvenci. Bylo ukázáno, že při zachování této relace se ICP pohybuje do 15 mmHg.

Moje hodnocení z hlediska bodů relevantních pro disertační práci k udělení titulu PhD je následující:

- *Rozbor z hlediska současného stavu řešené problematiky.* V práci jsou shrnuty standardní postupy vyšetření poranění mozku, včetně jejich klasifikace. Z hlediska modelování ICT závislosti na objemu jsou sice v referencích uvedeny práce Ursina a Stevense ale jejich modely nejsou s animálními modely porovnány. Dost místa je věnováno plicní laváži a manévru otevření zkolabovaných plic, který je standardně prováděn na 1LF UK. Tato tematika sice souvisí s resuscitací po poranění mozku, ale je zde popisována více z hlediska procedury než z hlediska souvislostí mezi příčinou a následkem (z hlediska gnoseologického) .
- *Teoretický přínos k řešení dané problematiky.* V této oblasti spatřuji největší slabinu práce. Vyhodnocovací software se omezil jen na analýzu zpoždění tlakového signálu v hadičce. Problém šíření tlakového pulsu v elastických trubicích byl s dostatečnou přesností řešen jak teoreticky tak i experimentálně dokonce na spolupracujícím pracovišti „Laboratoři biomechaniky člověka FS ČVUT v Praze“ . Viz. např. PhD práci Mgr.ing. Hany Mackové, Pulse wave velocity in arteries, FS ČVUT v Praze, 2012..
- *V praktickém využití výsledků spatřuji největší přínos práce.* Vysvětlil a experimentálně prokázal původ zpoždění arteriálního tlaku za tlakem intrakraniálním. I když je třeba poznamenat, že hydrodynamickým rozбором lze nalézt dostatečně přesný vztah, který popisuje rychlost pulzní vlny v závislosti na elasticitě trubičky, jejím průměru a tloušťce stěny. Užití tohoto vztahu by vedlo k obecnějšímu závěru o zpoždování tlakových signálů.
- *V práci použité metody považuji za vhodné ale způsob jejich aplikace by mohl být mnohem obecnější a podle mého názoru by mohli poskytnout obecnější závěry o metodice snižování (regulaci) ICP..*
- *Doktorand prokázal patřičné znalosti v oblasti monitoringu mozkových poranění.* V oblasti vyhodnocení biomechanického experimentu spatřuji značné rezervy. Vzhledem k jeho odborné orientaci není třeba, aby do detailů ovládal anatomii mozku, ale je třeba aby uměl biomechanický experiment zobecnit k praktickému použití. V sekce „Bibliografie“ jsem našel 3 publikace, žádnou prezentaci na mezinárodní konferenci.
- *Formální úroveň práce dobrá.* V práci jsem našel ani věcné ani formální chyby.
- *Cíle stanovené v disertaci byly splněny jen částečně.*

K práci mám následující dotazy:

**Dotaz 1.** Poč se aproximace bodů na Obr. 20 tak rozcházejí. Jde o jiná experimentální data?

**Dotaz 2.** I když je v kap. 6.1 provedeno experimentální porovnání zpoždění pulsu v závislosti na délce hadiček, nikde jsem v práci nenašel velikost jejich poloměru  $a$ , a tloušťku stěny  $h$ , a ani elastický modul materiálu  $E$  a jeho hustotu  $\rho$ . Je totiž známo, že pulsní vlna se v elastické trubici šíří rychlostí  $c$ , kterou lze v dobrém přiblížení popsat vztahem  $c = [2hE / (3a\rho)]^{0.5}$ . O jaké hadičky šlo? Uvedený obecný vztah dává pro gumovou hadičku o hustotě  $\rho = 800 \text{ kg m}^{-3}$  a elastickém modulu  $E = 0.05 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ , poloměru 2.5 mm a tloušťce stěny  $h = 1 \text{ mm}$ , rychlost

šíření 129 m/s. Naměřená rychlost je 134 m/s. Nebylo by možno měření zpoždění zobecnit pro více typů hadiček ?

### **Závěr**

Práce má průměrnou odbornou úroveň a dobrou úroveň grafickou. Problém řešený v disertační práci je velmi náročný a společensky významný, takže každý pokrok v metodě jak regulovat ICP je velmi vítaný. Podle mého názoru předložená práce ještě splňuje ustanovení § 72, odst. 3 Zákona č. 111/1998 o vysokých školách a proto doporučuji aby byl **Martin Mayer** připuštěn k její obhajobě. Dále navrhuji aby mu byl po úspěšné obhajobě, udělen titul PhD na Fakultě Tělesné výchovy a sportu UK v Praze.

V Praze dne 8. října 2014

Prof. Ing. František Maršík, DrSc  
Ústav termomechaniky AVČR