



Oponentský posudek dizertační práce Ing. Vojtěcha Mana nazvané „Využití experimentů pro zlepšení úrovně konstitutivních modelů tkání aortálních výdutí“

Školící pracoviště: ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky, Fakulta strojního inženýrství, VUT v Brně

Školitel: prof. Ing. Jiří Burša, Ph.D.

Školitel: specialista: Ing. Stanislav Polzer, Ph.D.

Předložená práce se zabývá mechanickými experimenty konanými se vzorky lidských aort ve své břišní části postižených aneuryzmem, se vzorky intraluminálních trombů přítomných v těchto aneuryzmatech a také experimenty se vzorky intaktních nebo proteázami ošetřených prasečích aort. Cílem experimentů, resp. jejich regresní analýzy, bylo určit vhodný konstitutivní popis na úrovni nelineárního elastického chování materiálu, který byl v případě aort považován za anizotropní.

Práce obsahuje stručný anatomicko-patologický úvodník věnovaný lidské břišní aortě a jejím aneuryzmatům. Následně autor přechází k přehledu vybraných modelů pro hustotu deformační energie používaných v současné cévní mechanice, což pro něj představuje východisko pro diskuzi elastických potenciálů používaných při konstitutivním popisu výdutí břišní aorty. Dál pokračuje výkladem vlastností intraluminálního trombu a popisem používaných modelů elastického chování trombů. Následuje komentář k publikační činnosti doktoranda. To je řečneme první polovina dizertační práce. Ta druhá se věnuje výkladu detailů experimentálních činností, které se obvykle nevejdou do vědeckých článků, a dizertace jsou naopak místa, kde bychom je chtěli číst, aby i tento druh poznání, který je do značné míry umem, byl dále šířen.

Po formální stránce oponent konstatuje, že dizertační práce je spíše kratší. Na druhou stranu je doprovázena souborem šesti plných textů vědeckých článků, jichž je dizertant spoluautorem (ve dvou případech je dokonce autorem prvním). Pět z těchto článků vyšlo v časopisech indexovaných v Journal of Citation Reports společnosti Thompson Reuters.

Oponent v zásadě nemá výhrady proti použitým metodám a postupům, považuje za adekvátní a soudobé. Co oponent považuje poněkud problematické, je uspořádání práce. Práce je psána až příliš výkladovým slohem. V tomto stylu je pak místy obtížné objevit, co přesně je nové a dizertantovo původní. K tomuto dojmu přispívá i fakt, že některé z příložených článků již byly použity v kvalifikačních pracích disertantových kolegů. Na druhou stranu si dizertant byl vědom tohoto faktu a na různých místech se v práci snaží vymezit svůj přínos tak, aby byl odlišitelný od příspěvku ostatních. Zcela subjektivně, bez ambice promítnout to do výsledného hodnocení, oponent by přeci jen raději četl práce strukturované do formy „formulace hypotézy, která je použitými metodami potvrzena, nebo vyvrácena.“

Oponent by snad mohl disertantovi vytknout některá drobná opomenutí, kterých se dopustil v kapitolách 3.2 a 3.3. Zaprvé, je třeba odlišit stlačitelné a nestlačitelné formulace modelů. Zadruhé, bylo by dobré připomenout např. i logaritmické modely zavedené K. Takamizawou, K. Hayashim, A. Gentem, C. Horganem a G. Saccomandim nebo zmínit i ostatní autory pracující v kardiovaskulární mechanice s modely integrujícími ať už přes hustotu zvlnění vláken nebo hustotu směrového rozložení nebo přes obě hustoty (Decraemer, Driessen, Sacks, ad.). Pokud jde o model (3.10) + (3.11), je třeba poznamenat, že je přepsán nesprávně (i v případě 3.16) a navíc je zamlčen jeden z jeho autorů, což není úplně seriózní. Oponent se navíc domnívá, že tento model je nevhodně interpretován jako „jednovláknový.“ Uvážíme-li celou publikační historii prof. Holzapfela, měli bychom ho vidět spíše jako zestručněný způsob zápisu pro model se dvěma symetricky a na poloměru nezávisle souměrně protiběžně šroubovicově vinutými dominantními preferovanými směry s uvažování možnosti jejich rozptylu (za kinematiky s diagonálním tenzorem deformace). Ale pravda je, že to je věc interpretace.

Za naopak velmi přínosnou oponent považuje stať týkající se konstitutivní charakterizace intraluminálního trombu a poznámku ke konvergenci sítě u modelů s vysokým spádem napětí po stěně. Diskuzi tohoto faktu považuje oponent za možná nejinspirativnější poznámku, neboť se dotýká problému tloušťky stěny aneuryzmat a jejího vlivu na stav napjatosti, což se oponentovi zdá v současné vědecké literatuře poněkud nedocenené.

Závěrem oponent konstatuje, že předložená práce splňuje nároky kladené na doktorskou disertační práci a navrhuje konání její obhajoby. Po úspěšném vykonání obhajoby navrhuje oponent Ing. Vojtěchu Manovi udělit titul doktor vyznačovaný zkratkou Ph.D. užívanou za jménem (ve smyslu odstavce 5 paragrafu 47 zákona č. 111/1998 Sb.).

V Praze 10. 6. 2018


doc. Ing. Lukáš Horný, Ph.D.
ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky, ČVUT FS
oponent práce

Otázky pro obhajobu:

- (1) Na straně 26 uvádíte model hustoty deformační energie ve formě $W = c_1(I_2 - 3) + c_2(I_2 - 3)^2$, kde I_2 je druhý invariant levého Cauchyova–Greenova tenzoru deformace $\mathbf{b}$, který bývá používán k charakterizaci elastických vlastností ILT. Má použití druhého invariantu v tomto modelu nějaký praktický význam? Mohl byste demonstrovat odlišnosti v předpovědních schopnostech modelů založených na prvním a druhém invariantu? Nebo je lhostejné, které invarianty si vybereme – samozřejmě s uvažováním důsledku na nejednoznačnost materiálových parametrů.
- (2) Na straně 56 uvádíte souhrnný graf tahových pevností ILT. Bohužel, je bez popisu os a není tudíž možná jeho jednoznačná interpretace. Mohl byste ho prosím opatřit fyzikálními jednotkami a jejich rozměry. Kdybyste graf prezentoval v normované délkové souřadnici x na vodorovné ose, tj. $x = 0$, pro vrstvu naléhající na stěnu tepny, $x = 1$ pro vrstvu v kontaktu s krví, objeví se tak efekt třídění podle stáří vrstvy trombu?
- (3) Čím si vysvětlujete, že vzorky ILT se podle údajů v tabulkách 6.2 a 6.3 jeví pevnější ve vrstvě, která vznikla nejpozději? Tedy za předpokladu, že nejstarší vrstva leží na stěně a nejmladší hraničí s lumen cévy – je to tak?

Zmíněná literatura

- Decraemer, W. F., Maes, M. A., & Vanhuyse, V. J. (1980). An elastic stress-strain relation for soft biological tissues based on a structural model. *Journal of Biomechanics*, 13(6), 463-468.
- Driessen, N. J. B., Bouten, C. V. C., & Baaijens, F. P. T. (2005). A structural constitutive model for collagenous cardiovascular tissues incorporating the angular fiber distribution. *Journal of Biomechanical Engineering*, 127(3), 494-503.
- Gent, A. N. (1996). A new constitutive relation for rubber. *Rubber Chemistry and Technology*, 69(1), 59-61.
- Horgan, C. O., & Saccomandi, G. (2005). A new constitutive theory for fiber-reinforced incompressible nonlinearly elastic solids. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 53(9), 1985-2015.
- Sacks, M. S. (2003). Incorporation of experimentally-derived fiber orientation into a structural constitutive model for planar collagenous tissues. *Journal of Biomechanical Engineering*, 125(2), 280-287.
- Takamizawa, K., & Hayashi, K. (1987). Strain energy density function and uniform strain hypothesis for arterial mechanics. *Journal of Biomechanics*, 20(1), 7-17.
- Wuyts, F. L., Vanhuyse, V. J., Langewouters, G. J., Decraemer, W. F., Raman, E. R., & Buyle, S. (1995). Elastic properties of human aortas in relation to age and atherosclerosis: A structural model. *Physics in Medicine and Biology*, 40(10), 1577-1597.
- Zulliger, M. A., Fridez, P., Hayashi, K., & Stergiopoulos, N. (2004). A strain energy function for arteries accounting for wall composition and structure. *Journal of Biomechanics*, 37(7), 989-1000.