

NUMERICKÁ SIMULACE PROUDĚNÍ KRVE V REÁLNÉM MODELU FEMORO-POPLITEÁLNÍHO BYPASSU

Dagmar JARKOVSKÁ¹, Alena JONÁŠOVÁ²

1 ÚVOD

Femorální bypass představuje chirurgické řešení ischemické choroby dolních končetin, jež ve většině případů vzniká v důsledku stenózy hlavních tepen. Cílem této práce bylo numericky modelovat proudění krve ve femoro-popliteálním bypassu se zaměřením na oblast distální anastomózy, která se z hlediska případného selhání bypassu jeví jako nejrizikovější. Krev byla uvažována jako nestlačitelná neneutonská kapalina.

2 MODELOVÁNÍ KRVE JAKO NENEUTONSKÉ KAPALINY

Neneutonské chování krve bylo v této práci popsáno dynamickou vazkostí $\eta(\dot{\gamma})$ závisící na smykové rychlosti $\dot{\gamma}$, přičemž byly použity dva makroskopické neneutonské modely. Prvním z nich je Carreauův-Yasudův model

$$\eta(\dot{\gamma})^{(1)} = \eta_{\infty}^{(1)} + (\eta_0^{(1)} - \eta_{\infty}^{(1)}) \left[1 + (\lambda^{(1)} \dot{\gamma})^a \right]^{\frac{n-1}{a}}, \quad (1)$$

kde $\eta_{\infty}^{(1)} = \lim_{\dot{\gamma} \rightarrow \infty} \eta(\dot{\gamma})^{(1)} \equiv 3,45 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$; $\eta_0^{(1)} = \lim_{\dot{\gamma} \rightarrow 0} \eta(\dot{\gamma})^{(1)} \equiv 56 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$; $\lambda^{(1)} = 1,902 \text{ s}$; $a = 1,25$; $n = 0,22$, Cho et al. (1991). Dalším modelem neneutonské kapaliny aplikovaným v této práci byl modifikovaný Crossův model

$$\eta(\dot{\gamma})^{(2)} = \eta_{\infty}^{(2)} + (\eta_0^{(2)} - \eta_{\infty}^{(2)}) \left[1 + (\lambda^{(2)} \dot{\gamma})^m \right]^a, \quad (2)$$

kde $\eta_{\infty}^{(2)} = \lim_{\dot{\gamma} \rightarrow \infty} \eta(\dot{\gamma})^{(2)} \equiv 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$; $\eta_0^{(2)} = \lim_{\dot{\gamma} \rightarrow 0} \eta(\dot{\gamma})^{(2)} \equiv 160 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$; $\lambda^{(2)} = 8,2 \text{ s}$; $m = 2,406$; $a = 0,254$, Cho et al. (1991). Pro následné porovnání výsledků byl rovněž uvažován model newtonské kapaliny s dynamickou vazkostí $\eta = 3,45 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$.

3 NUMERICKÁ SIMULACE PROUDĚNÍ NENEUTONSKÉ KAPALINY

Ze snímků CT-angiografie, obr. 1, které byly poskytnuty Klinikou zobrazovacích metod FN Plzeň, byl v softwaru *Amira 5.2* rekonstruován model femoro-popliteálního bypassu, obr. 2. Výpočetní síť byla vygenerována v programovém balíku *Altair Hypermesh 9.0*.

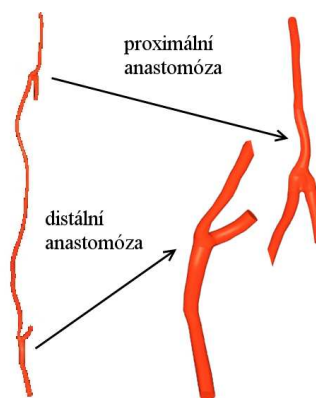
Ve *Fluentu 6.2* byla provedena numerická simulace nestacionárního proudění v celém modelu bypassu, přičemž průběh vstupní rychlosti byl převzat z literatury, Wood (2006). Pro vizkozitu krve byly postupně využity všechny tři výše uvedené makroskopické modely, které byly programově implementovány do *Fluentu 6.2*. Projevy neneutonského chování krve byly pozorovány především v oblasti distální anastomózy, a to jak u hodnot velikosti rychlosti, obr. 3, tak u rozložení smykového napětí na stěně cév, obr. 4. Pro distální anastomózu byl ve *Fluentu 6.2* navíc proveden i stacionární výpočet, jenž byl ověřen vlastním výpočetním programem vytvořeným v jazyce *Fortran 90*.

¹Bc. Dagmar Jarkovská, studentka navazujícího studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Mechanika, specializace Biomechanika, e-mail: djarkovs@students.zcu.cz

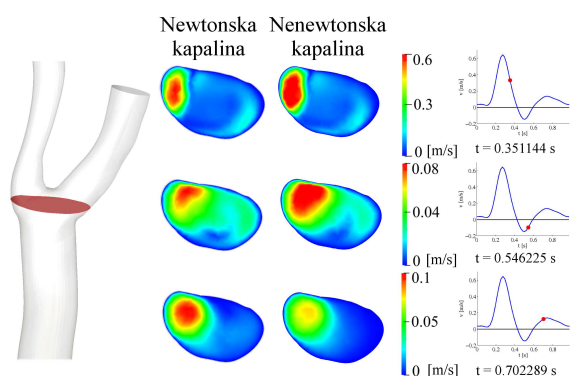
²Ing. Alena Jonášová, studentka doktorského studijního programu Aplikované vědy a informatika, obor Aplikovaná mechanika, e-mail: jonasova@kme.zcu.cz (vedoucí práce)



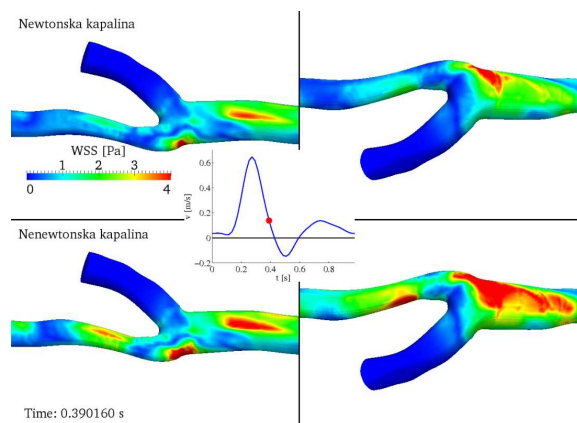
Obrázek 1: Snímek z CT-angiografie s červeně zakroužkovanou oblastí distální anastomózy femoro-popliteálního bypassu.



Obrázek 2: Model femoro-popliteálního bypassu s reálnou geometrií, vytvořený na základě snímků z CT-angiografie.



Obrázek 3: Izoplochy rychlosti v oblasti distální anastomózy.



Obrázek 4: Rozložení smykového napětí na stěně cév v oblasti distální anastomózy.

4 ZÁVĚR

Provedené numerické simulace ustáleného a pulzačního proudění krve v modelu femoro-popliteálního bypassu, vytvořeného z poskytnutých dat CT-angiografie, umožnily posoudit vliv nenewtonského chování krve na podobu proudového pole.

Poděkování: Příspěvek byl podpořen interními studentskými granty SGS-2010-077 a SGS-2010-046 na ZČU v Plzni.

REFERENCE

- CHO, Y. I., KENSEY, K.R., 1991. Effects of the non-Newtonian viscosity of blood on flows in a diseased arterial vessel. Part 1: Steady flows. *Biorheology*. Vol. 28. pp 241-262.
- WOOD, N. B., 2006. Curvature and tortuosity of the superficial femoral artery: a possible risk factor for peripheral arterial disease. *J. Appl. Physiol.* Vol. 101. pp 1412-1418.