

Biomechanika srdečněcévní soustavy a konstitutivní modelování

Biomechanika a lékařské přístroje
Biomechanika I Lukáš Horný



Laboratoř biomechaniky člověka
Ústavu mechaniky Fakulty strojní
ČVUT v Praze

E – Empirická pozorování

E3 a E4 Biomechanické vlastnosti in vivo/ex vivo

Empirická pozorování

E1 Anatomie a fyziologie krevního oběhu

E2 Vybrané patologické jevy a projevy stáří

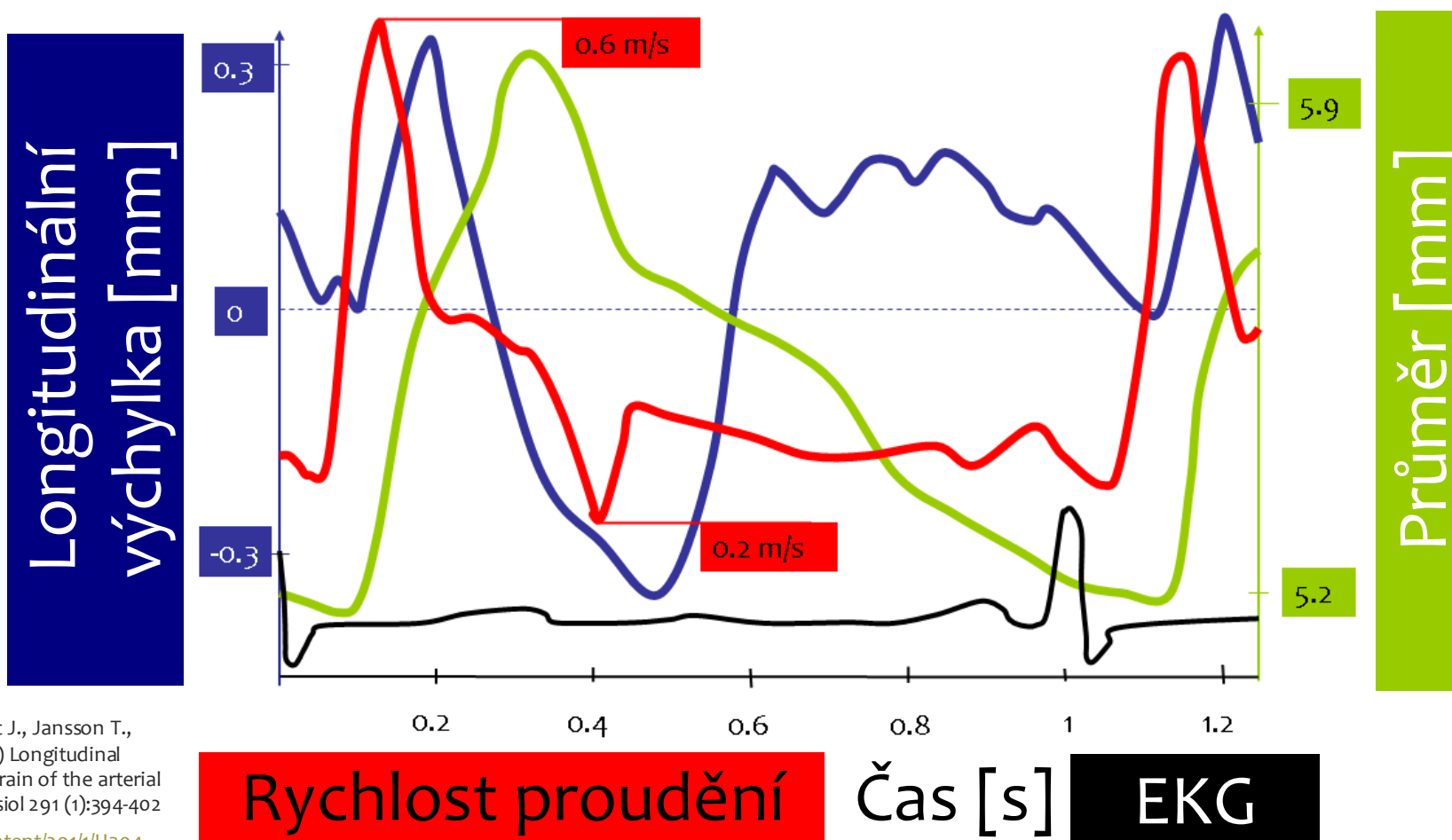
E3 Biomechanické vlastnosti in vivo

E4 Biomechanické vlastnosti ex vivo/in vitro

In vivo

■ Tlakové pulzace

Žena 47 let – echa z IM – proudění u stěny



Cinthio M., Ahlgren A.R., Bergkvist J., Jansson T., Persson H.W., Lindstrom K. (2006) Longitudinal movements and resulting shear strain of the arterial wall. *Am J Physiol - Heart Circ Physiol* 291 (1):394-402

<http://ajpheart.physiology.org/content/291/1/H394>

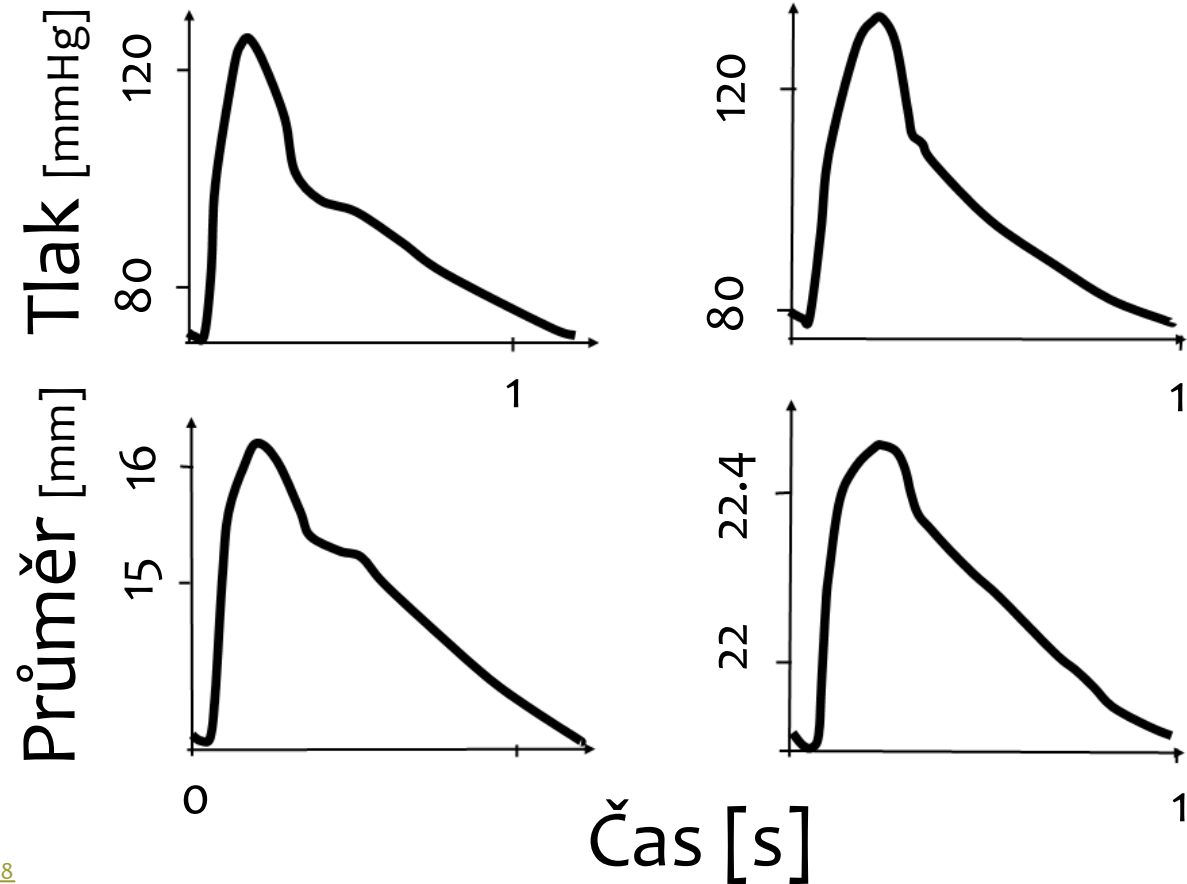
In vivo

■ Tlakové pulzace

Břišní aorta

Muž 24 let

Muž 69 let

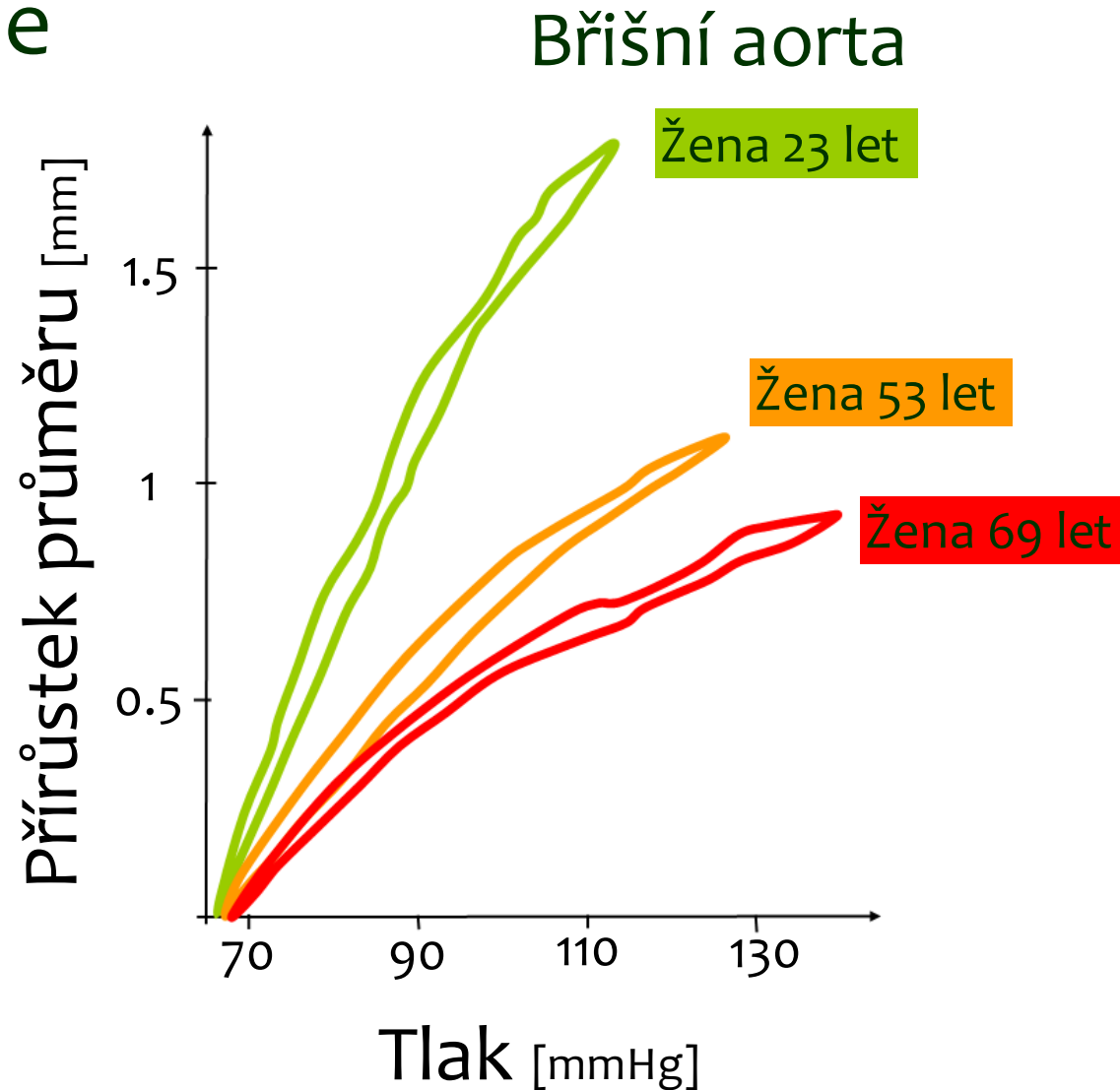


Sonesson B., Lanne T., Vernersson E., Hansen F. (1994) Sex difference in the mechanical properties of the abdominal aorta in human beings. *J Vasc Surg* 20(6):959-969.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0741521494902348>

In vivo

■ Tlakové pulzace

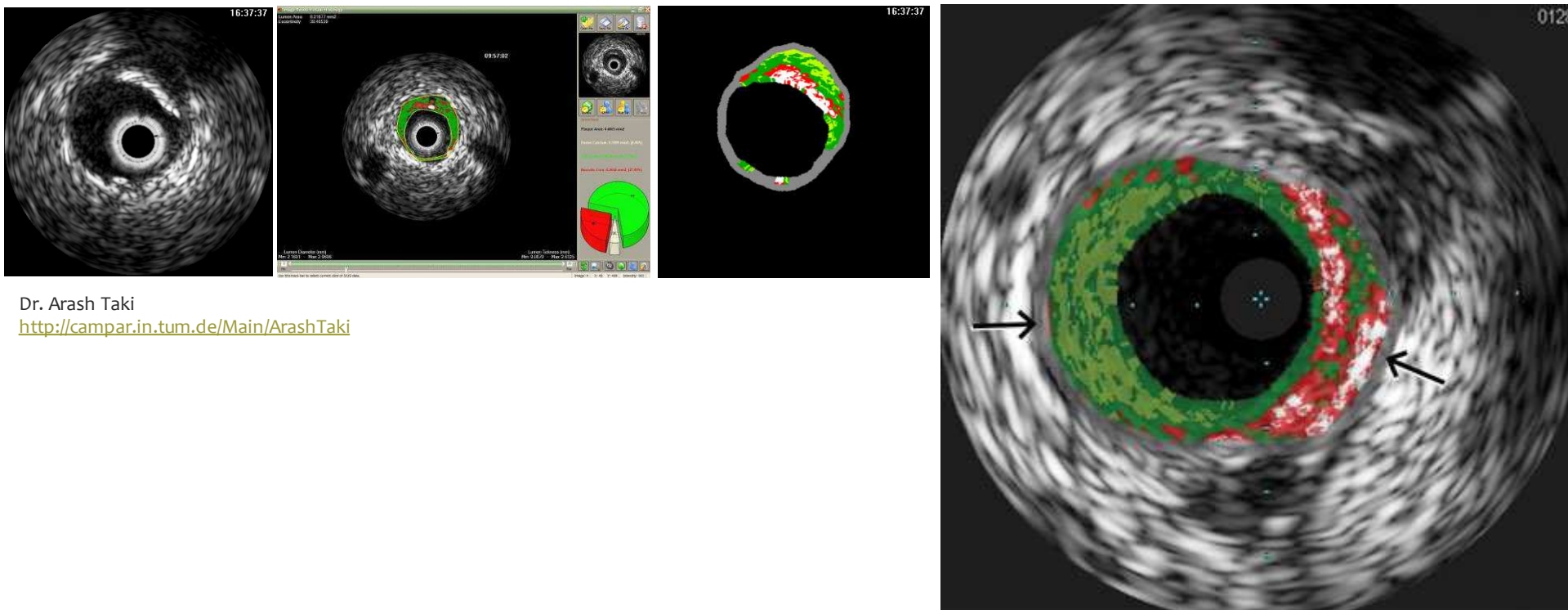


Sonesson B., Lanne T., Vernersson E., Hansen F. (1994) Sex difference in the mechanical properties of the abdominal aorta in human beings. *J Vasc Surg* 20(6):959-969.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0741521494902348>

In vivo

■ Intravaskulární ultrazvuk a virtuální histologie



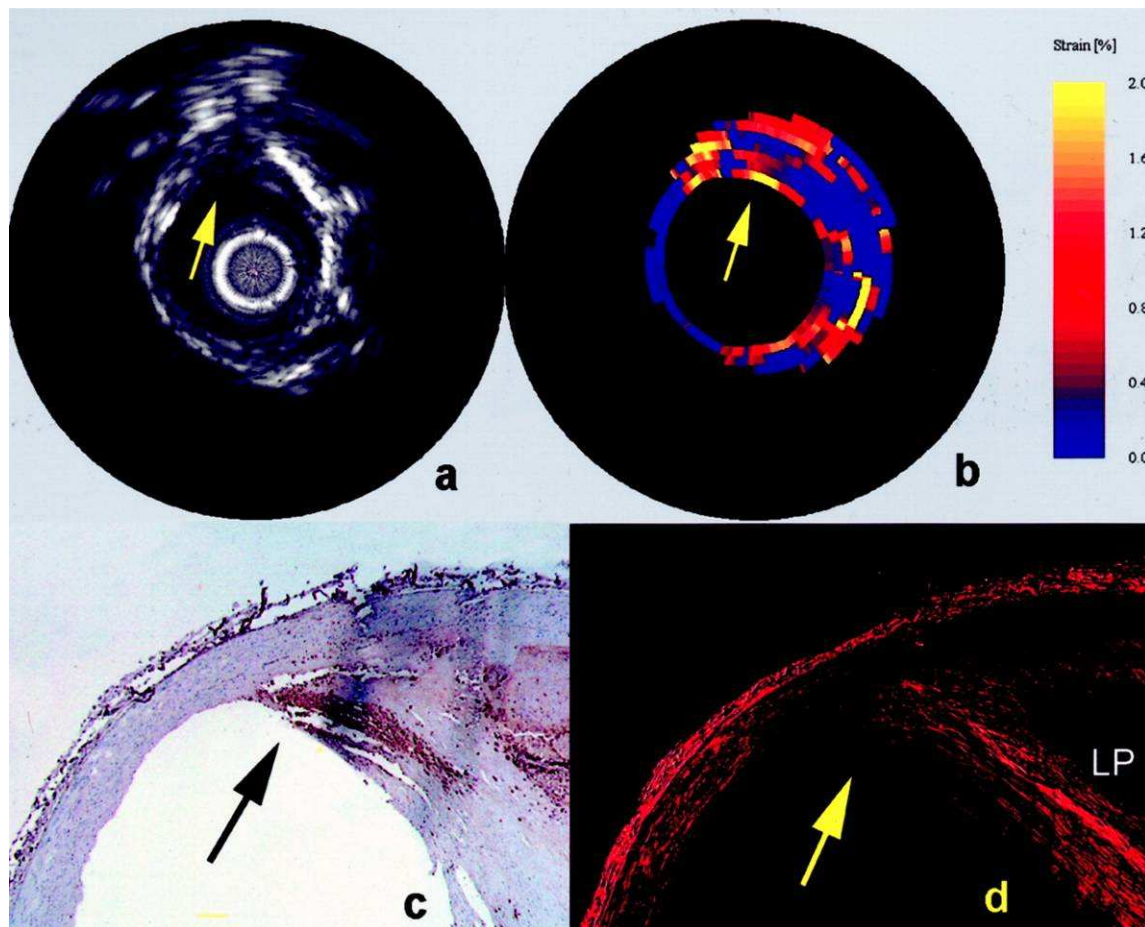
Dr. Arash Taki
<http://campar.in.tum.de/Main/ArashTaki>

<http://www.mayoclinic.org/medicalprofs/enlargeimage6060.html>

Pacient 19 let (14 let po graftování), patologický nález: kalcifikace (šipka vpravo), zesílená intima (šipka vlevo)

In vivo

■ Intravaskulární ultrazvuková elastografie



Post mortem elastografie vulnerabilního koronárního aterosklerotického plátu.

Nebezpečí nespočívá ani tak ve velké hodnotě deformace jako ve velkém prostorovém gradientu deformace.

Vulnerable plaque marked in IVUS (A), elastogram (B), macrophage staining (C), and collagen staining (D). In the elastogram, a vulnerable plaque is indicated by a high strain on the surface. In the corresponding histology, a high amount of macrophages (C) is visible with a thin cap (D) and a lipid pool (LP).

<http://circ.ahajournals.org/content/108/21/2636.full.pdf.html>

<http://www-fgg.eur.nl/thorax/elasto/patients.html>

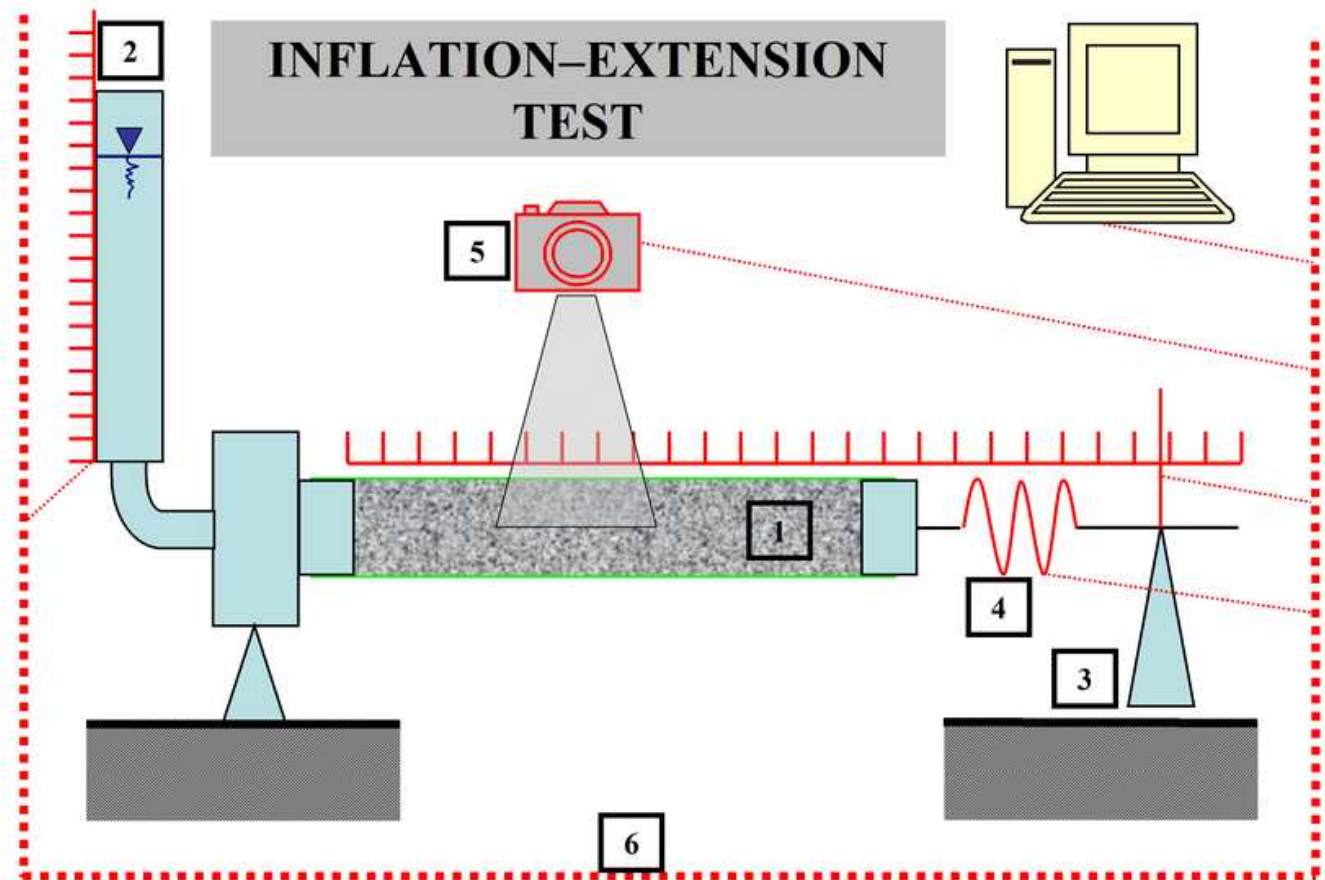
Ex vivo

■ Inflační-extenzní test

- (1) Vzorek cévy
- (2) Zdroj definovaného tlaku
- (3) Zajištění definovatelné podélné extenze
- (4) Měření podélné síly
- (5) Snímání deformace cévy
- (6) Datová sběrnice

V ideálním ještě zajistíte

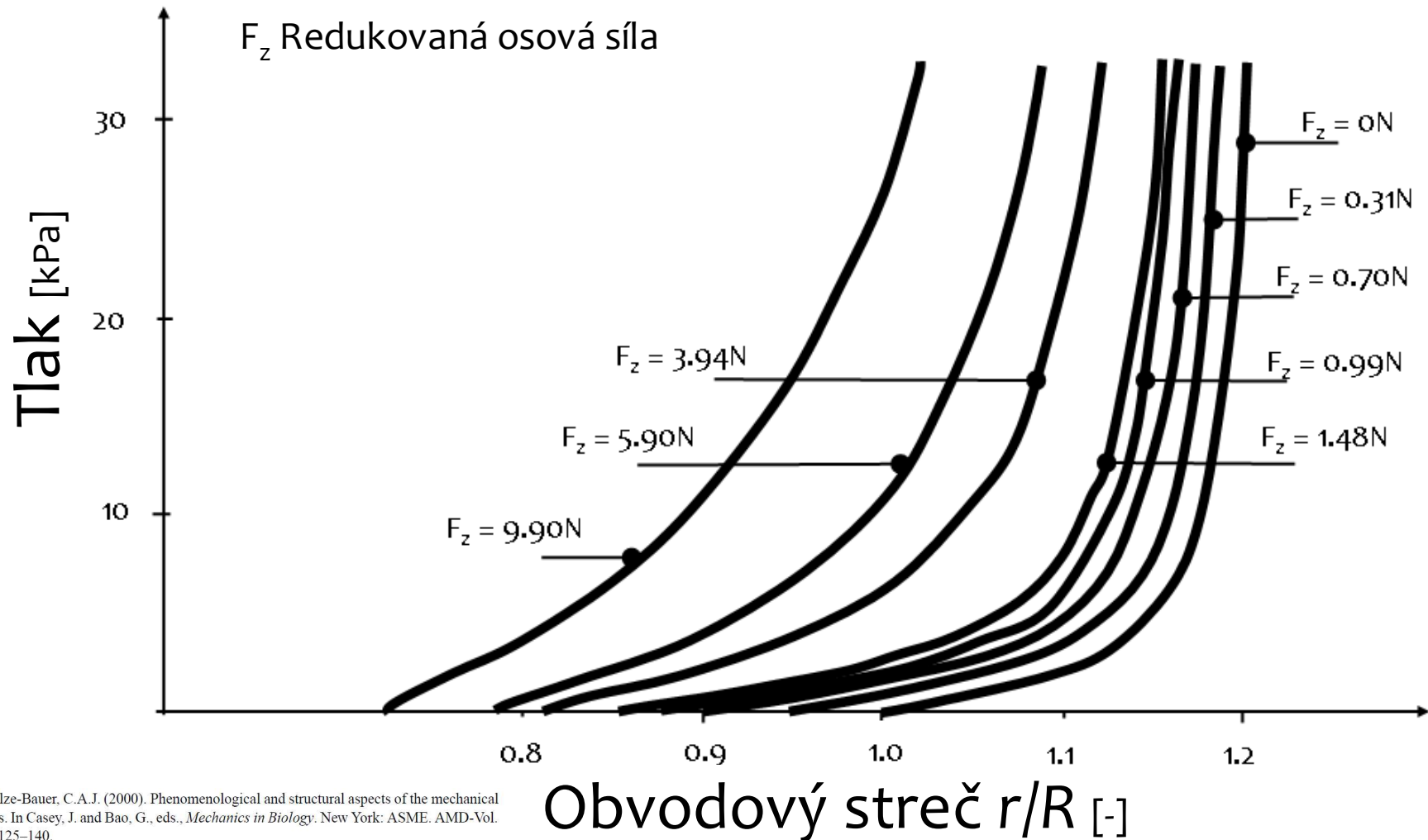
- (a) Neosychání
- (b) Fyziologickou teplotu



Ex vivo

■ Inflační-extenzní test

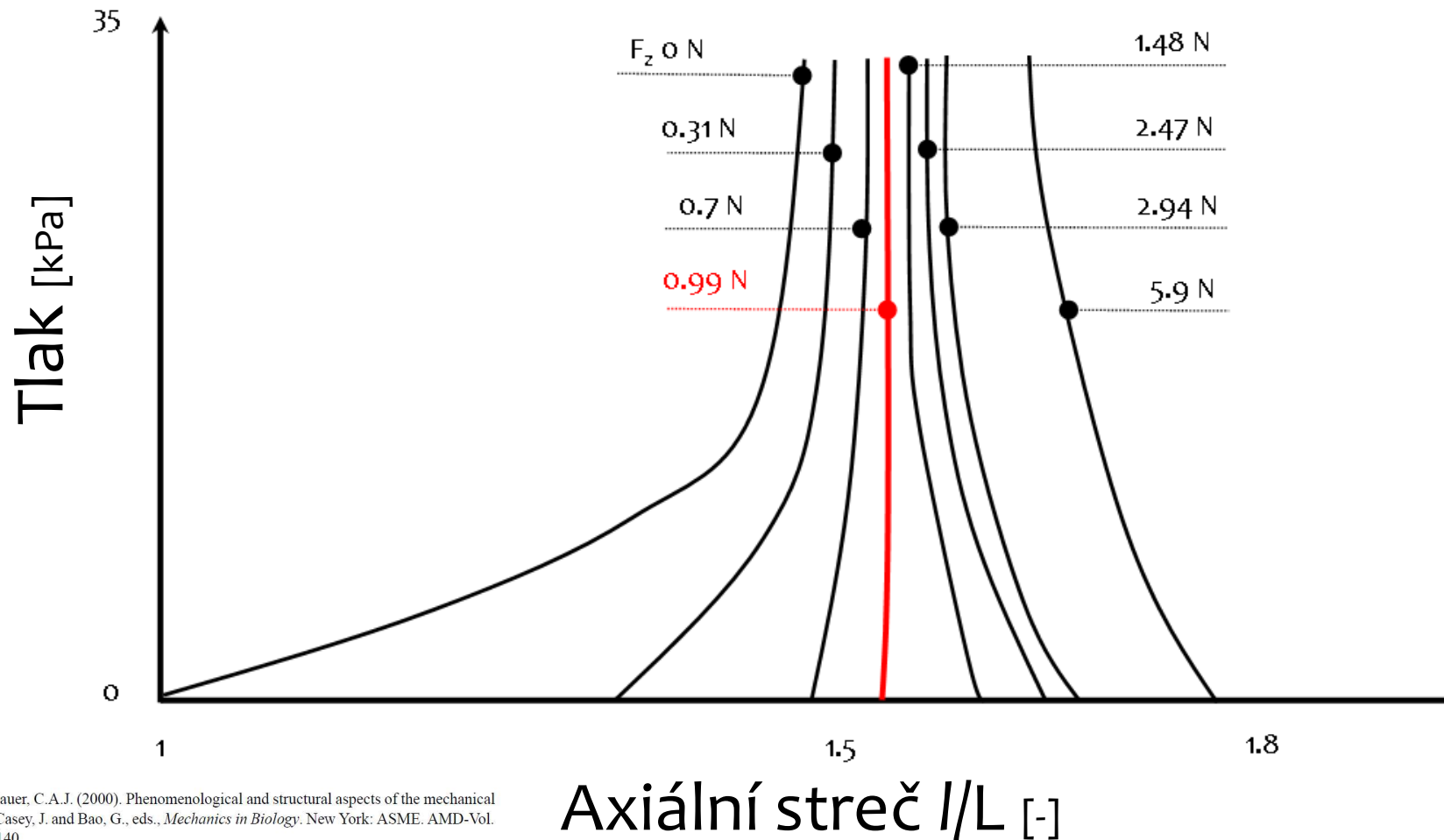
Lidská pánevní tepna



Ex vivo

■ Inflační-extenzní test

Lidská pánevní tepna



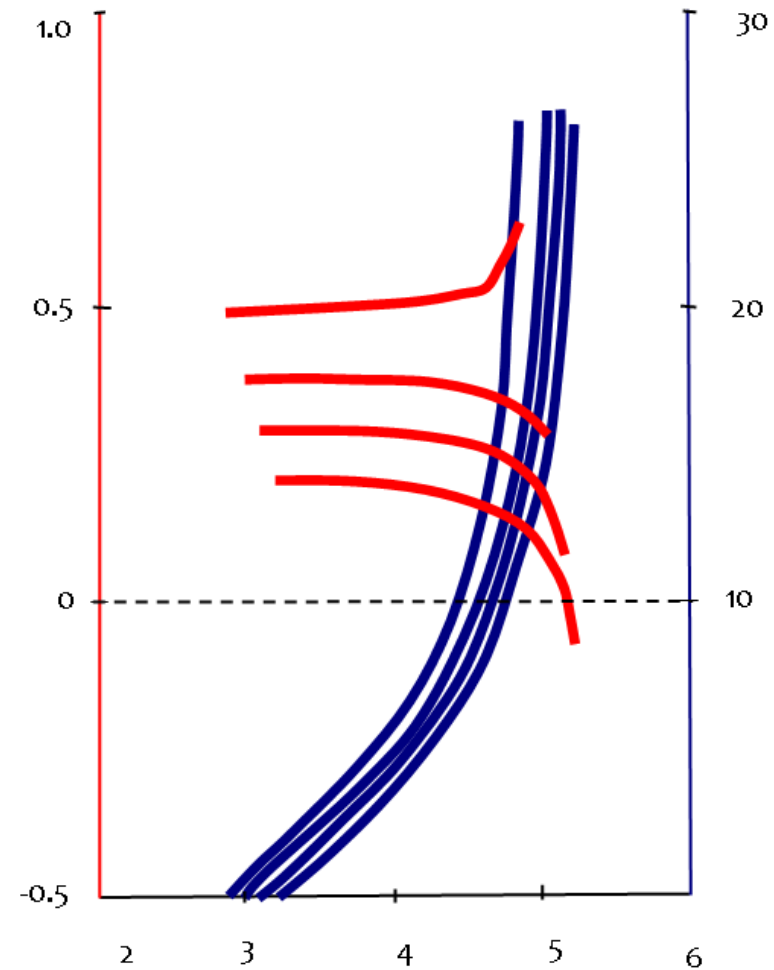
Ex vivo

■ Inflační-extenzní test

při konstantním předpětí

Psí společná karotida

Axiální síla [N]



Tlak [kPa]

Vnější průměr [mm]

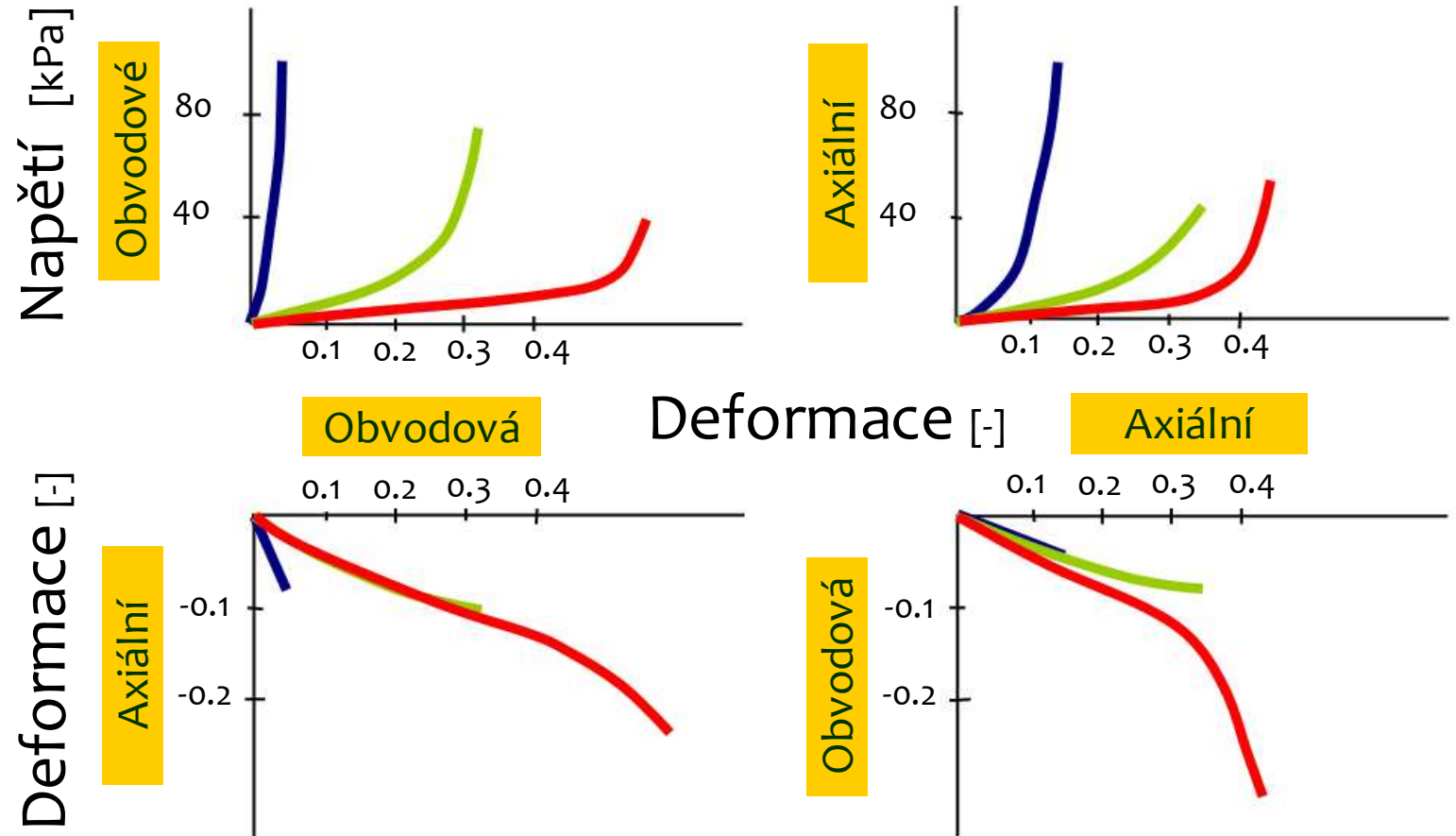
Ex vivo

■ Tahový test

2. Piola-Krichhoffovo napětí vs. Green-Lagrangeova deformace

Lidská aorta (žena 80 let)

Adventicie —
Medie —
Intima —



G.A. Holzapfel (2006) Determination of material models for arterial walls from uniaxial extension tests and histological structure. Journal of Theoretical Biology, 238:290-302

http://www.biomech.tugraz.at/files/publications/Holzapfel-J_Theor_Biol-2006

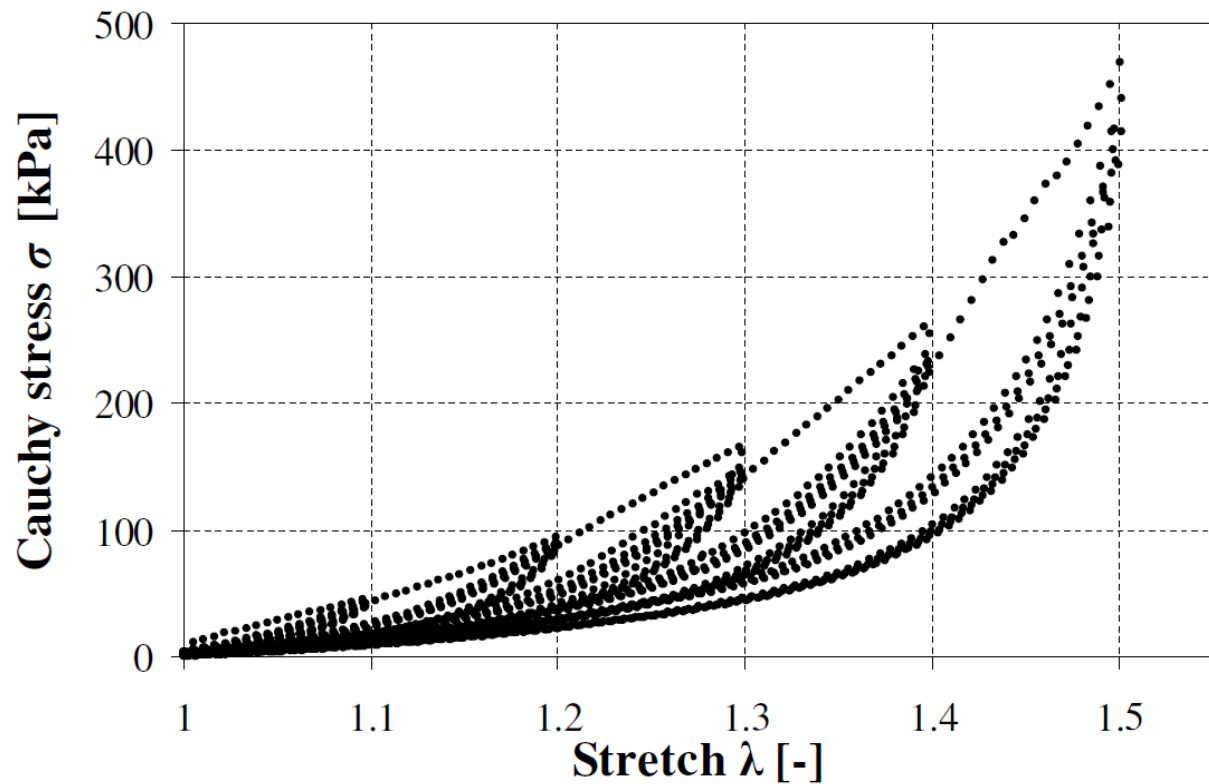
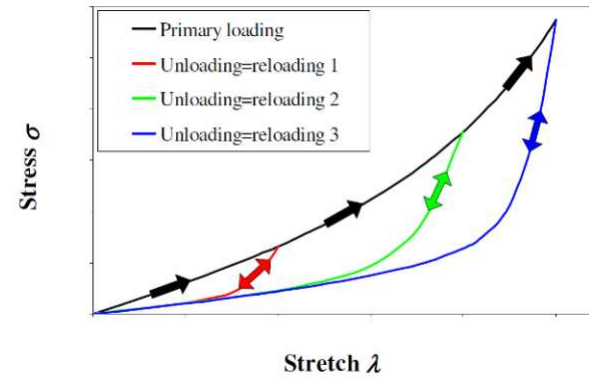
Ex vivo

■ Viskoelasticita

Creep

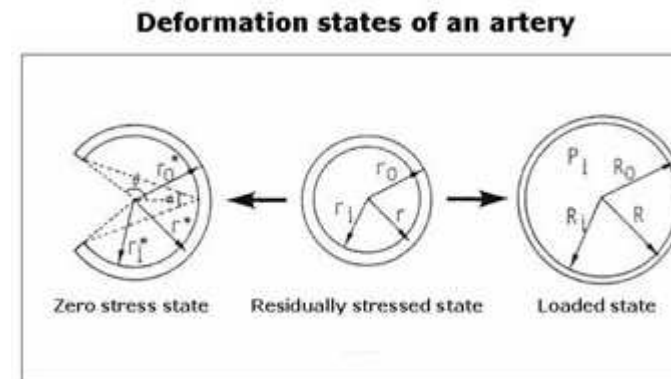
Relaxace

Hystereze



Ex vivo

■ Zbytková napětí/deformace



Díky nehomogenní struktuře tepenné stěny

(v průběhu života jsou součástí adaptace; jsou vlastní většině tkání)

Závěr

■ K dalšímu čtení

Z IP V *CVUT.CZ* jdi na

<http://www.springerlink.com/content/r1qg55/#section=247089&page=1&locus=0>

http://www.biomech.tugraz.at/files/publications/Holzapfel_CISM-Book-2009

http://www.biomech.tugraz.at/files/publications/Holzapfel-CISM_Courses_Lectures_No._441-2003

<http://www.maths.gla.ac.uk/~xl/RWO-talk.pdf>

<http://ocw.mit.edu/courses/biological-engineering/20-410j-molecular-cellular-and-tissue-biomechanics-be-410j-spring-2003/lecture-notes/>

<http://www.engineering.uiowa.edu/~bme050/cvb-solids.pdf>

<http://www.engin.umich.edu/class/bme332/chap11bloodvessel/bme332bloodves.htm>