

ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ В'ЯЗКО-ПРУЖНОГО ДЕФОРМУВАННЯ АРТЕРІЙ ЛЮДИНИ З БЛЯШКОЮ СТАТИСТИЧНО ПРОГНОЗОВАНОГО РОЗМІРУ

Н.О. Фоменко¹, О.О. Ларін²

¹ аспірантка кафедри Динаміка та міцність машин, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

² професор кафедри Динаміка та міцність машин, док. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

Nataliia.Fomenko@infiz.khpi.edu.ua

oleksiy.larin@khpi.edu.ua

Атеросклероз – це серцево-судинне захворювання, що пов'язане з гіпертонією, цукровим діабетом, високим рівнем холестерину, віком. Виникає здебільшого в середніх і великих артеріях та, зокрема, в місцях роздвоєння і викривлення. Це запальне захворювання, при якому товстий пористий матеріал, що містить холестеринний жир, насичені стерини, білки, жирні кислоти, кальцій тощо, покритий ендотеліальною мембраною та тендітною фіброзною тканиною, що робить бляшки схильними до розриву, що може призвести до закупорки артерії. Незважаючи на досягнутий великий прогрес у моделюванні всіх рівнів формування та прогресу атеросклерозу [1-7], природа захворювання ще до кінця не вивчена.

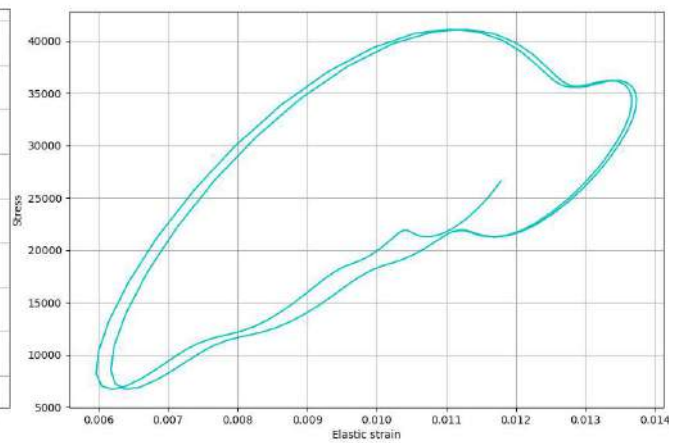
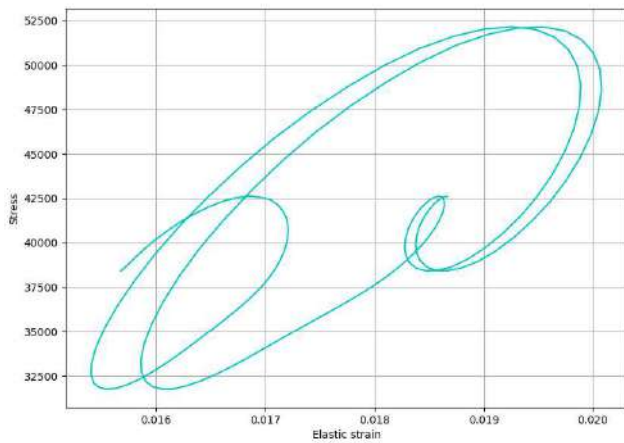
Метою роботи є дослідження циклів в'язко-пружного деформування кровоносних судин людини з урахуванням атеросклеротичної бляшки зі стохастичним розвитком. Для досягнення мети було виконано наступне: розроблено математичну постановку задачі чисельного аналізу. Створено макрос для побудови плоскої параметризованої геометричної моделі. Проведено комплекс варіаційних розрахунків на основі запропонованої параметризованої моделі для різних геометричних типів артерії, різних прикладених навантажень в залежності від типу пульсової хвилі, а також розмірів атеросклеротичної бляшки.

Артеріальний пульс є одним з найбільш фундаментальних показників життєдіяльності в медицині, який використовується з давніх часів. За допомогою використання нових інформаційних технологій, аналіз пульсової хвилі є інноваційним методом, який дозволяє проводити швидко і просте тестування, і використовується для виявлення багатьох аспектів серцевих захворювань, особливо тих, що пов'язані з жорсткістю артерій. [8] У даній роботі було розглянуто такі типи пульсових хвиль: типова форма пульсових хвиль при нормальному артеріальному тиску, при старому інфаркті міокарда та аритмії. [9] Залежності напружень від деформацій для нормального тиску та при інфаркті зображені на рис. 1 а, б.

Було досліджено вплив бляшки на деформації судин у часі. Для цього виконано статистичну оцінку можливого розвитку розмірів бляшки, запропоновано статистичну оцінку можливого розвитку її розмірів на основі феноменологічної моделі росту. В роботі пропонується використовувати степеневу модель для кінетичного рівняння росту розмірів бляшки.

Було обрано випадковим чином 15 значень частки площі перекриття для віку 40 років і 15 значень для віку 60 років, побудували графіки залежності напружень від деформацій. Графік середнього значення показано чорним кольором (рис. 2 а, б).

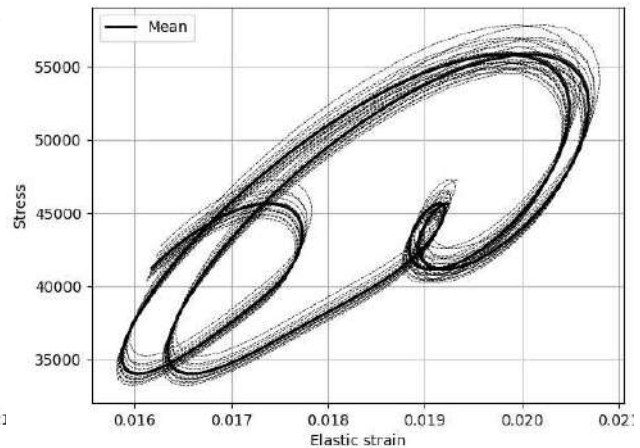
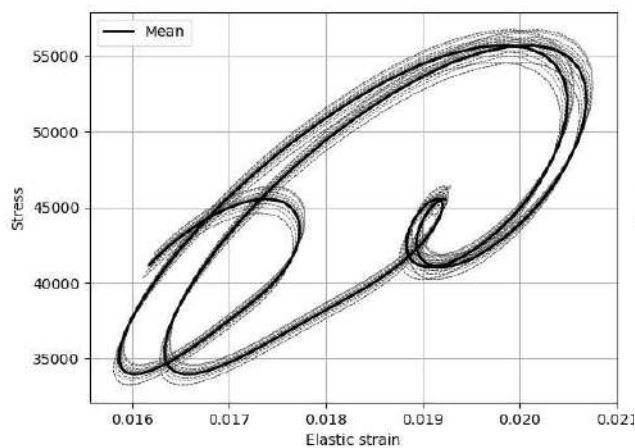
Для отримання цих результатів була написана керуюча програма на мові Python. Вона запускає файл з APDL-макросом, виконує розрахунки, кількість яких визначається користувачем, зберігає розраховані напруження та деформації у файли .csv, зчитує їх та будує графіки залежності напружень від деформацій (рис. 2 а, б).



а

б

Рис. 1 – Залежність напружень від деформацій: а – при нормальному артеріальному тиску; б – при інфаркті



а

б

Рис.2 – Залежність напружень від деформацій при випадкових значеннях частки площі перекриття бляшки просвіту судини: а – для віку 40 років; б – для віку 60 років

Список літератури:

1. N. Avgerinos and P. Neofytou, "Mathematical modelling and simulation of atherosclerosis formation and progress: A review," *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 47, no. 8, pp. 1764–1785,, 2019.
2. W. Anlamlert and Y. J. Bell, "Modeling fibrous cap formation in atherosclerotic plaque development: stability and oscillatory behavior", *Advances in Difference Equations*, vol. 1, 2017.
3. F. He, L. Hua, and L. Gao, "Computational analysis of blood flow and wall mechanics in a model of early atherosclerotic artery," *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 31, no. 2, pp. 1015–1020,, 2017.
4. M. Crowther, "Pathogenesis of atherosclerosis," *Hematology*, vol. 2005, no. 1, 2005.
5. S. Pozzi, A. Redaelli, C. Vergara, E. Votta, and P. Zunino, "Mathematical modeling and numerical simulation of atherosclerotic plaque progression based on fluid-structure interaction," *J. Math. Fluid Mech.*, vol. 23, no. 3, pp. 1–21,, 2021.
6. P. S., C. Vergara, S. Pozzi, and C. Vergara, "Mathematical and numerical models of atherosclerotic plaque progression in carotid arteries," 2020.
7. D. Pleouras, "Simulation of atherosclerotic plaque growth using computational biomechanics and patient-specific data," *Sci. Reports* 2020, vol. 10, no. 1, pp. 1–14,, 2020.
8. I. Moxham, "Understanding arterial pressure waveforms", *Southern African Journal of Anaesthesia and Analgesia*, vol. 9, no. 1. P, pp. 40–42,, 2003.
9. P. S., C. Vergara, S. Pozzi, and C. Vergara, "Mathematical and numerical models of atherosclerotic plaque progression in carotid arteries," 2020.