

Истраживачка тема: Биомеханика-осцилаторни модел оплодње

Аутор: Анђелка Хедрих

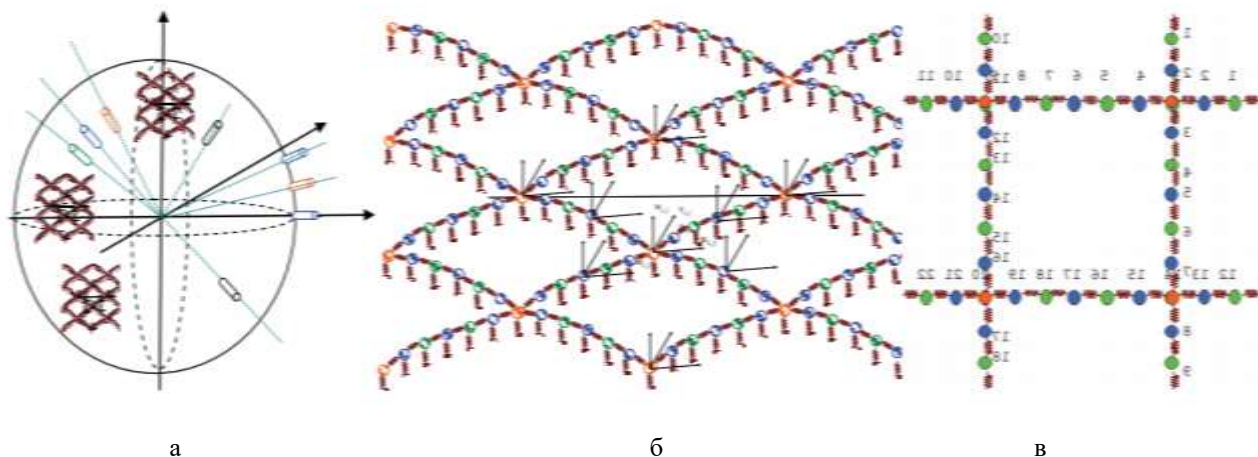
У оквиру теме из биомеханике, истраживачи се баве дефинисањем математичких и биомеханичких модела биолошких структура користећи између осталог и принципе феноменолошког мапирања. Истраживачке теме у оквиру биомеханике јесу: репродуктивна биомеханика и осцилаторни модел оплодње на нивоу међућелијског контакта јајне ћелије и сперматозоида; осцилаторни модел деобног вретена – који се заснива на систему везаних осцилатора који осцилују са фазним помаком и осцилаторни модел младог дрвета који се заснива на осцилацијама дискретне структуре налик конзоли са додатим масама. Проучавали смо како геометријске модификације ове дискретне структуре на конзоли (величина угла) и распоред маса утичу на осцилаторно понашање и стабилност модела младог дрвета. Проучавање енергије кретања хромозома током деобе ћелије путем осцилаторног модела деобног вретена може бити интересантан приступ за тумачење процеса настанка тумора и процеса диференцијације ћелија са биофизичког аспекта.

Новопокренута тема у оквиру овог сектора везана је за геометријске форме у формалним вртovima и за перцепцију тих геометријских форми према нивоу комплексности. На неким од тема истраживачи сарађују са истраживачима из Сектора за рачунарство као и са другим институцијама (Машински факултет у Нишу, Машински факултет у Београду, ПМФ у Нишу, Филозофски Факултет у Нишу).

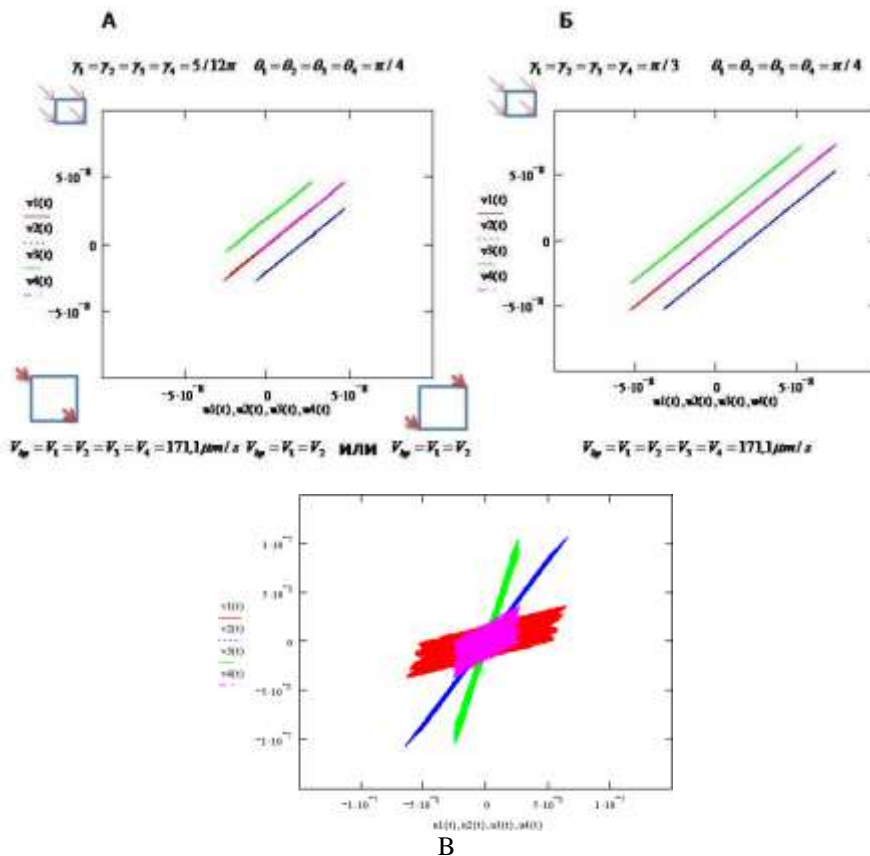
Истраживачи су активни учесници у манифестацији „Мај месец математике (МЗ)“.

Осцилаторни модел оплодње

Процес оплодње јајне ћелије може се сматрати осцилаторним процесом: свака ћелија осцилује сетом сопствених кружних фреквенција. У интеракцији јајне ћелије и сперматозоида јајна ћелија осцилује у принудном режиму. На основу теорије осцилација предлажемо да до оплодње долази при резонанцији односно када бар један сперматозоид који је у контакту са јајном ћелијом осцилује бар једном од сопствених фреквенција којим осцилује јајна ћелија. Направљен је једнослојни и вишеслојни модел спољашњег омотача јајне ћелије – зоне пелуциде (ZP). На овој структури одвија се међућелијски контакт између јајне челије и сперматозоида. Једнослојни модел је у виду осцилаторне мреже (Слика 1.) и за описивање динамике осциловања коришћен је систем обичних диференцијалних једначина. У случају проучавања динамике осциловања оплођене јајне ћелије коришћен је систем диференцијалних једначина са изводима нецелог реда. На осцилаторном моделу зоне пелуциде проучавали смо како угао под којим сперматозоид делује на јајну ћелију, брзина, распоред и број сперматозоида који су у контакту утичу на осцилаторно понашање ZP мреже. Анализом шеме осциловања чворних молекула у виду Лисажуових (Lissajous) фигура разматрана су стања која су повољна/неповољна за оплодњу и услови синхронизације осциловања чворних молекула. Идентификовани су углови сперматозоида који узрокују повољна осцилаторна стања ZP (нпр. $\pi/4$, $(\pi/12, 5/12 \pi)$). (Слика 2). Модификовани осцилаторни модел ZP употребљен је за анализу енергетског стања мреже пре и после оплодње. Утицај дебљине ZP на напоне и деформације који настају на њој при деловању сперматозоида проучавани су на моделу ZP, у виду шупље сфере (Слика 3). У теоријском моделу који заговарамо, стохастички распоред сперматозоида и њихово кинетичко дејство на површину ZP може изазвати различите механичке и хемијске стимулусе који мењају хемијска, електрична и еластична својства ZP, а то се одражава на промену осцилаторног стања саме структуре (Слика 4). Уколико стимулуси довољно дуго делују доћи ће до промене стања целе структуре у стање које је погодно за оплодњу. Модел ZP у виду шупље сфере погодан је за проучавање локалних феномена стања напона и деформације. Осцилаторни модел оплодње и биомеханички модели које смо поставили дају могућност за сагледавање феномена оплодње са биомеханичког и биофизичког аспекта, што нуди и нова решења у погледу лечења стерилитета.

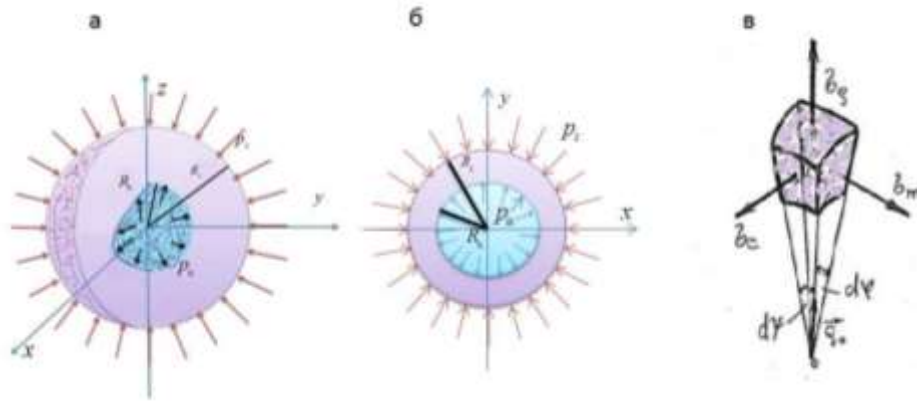


Слика 1. а Модел осцилаторне мреже зоне пелуциде који показује радијални смер осе конструктивних елемената модела – ZP протеина. б Део – ZP мреже на делу сфере (ооцита). Наранџаста (– ZP 1), плава (– ZP2) и зелена (ZP3) представљају ZP протеине. Мрежа је идентична и у циркуларном и у меридионалном правцу. Оса показује правце кретања ZP протеина. Сваки ZP протеин повезан је са сфером еластичним опругама које могу осциловати у радијалном смеру. в. сегмент модела сферне површинске мреже – ZP. *Преузето из Хедрих, Н.А.: Осцилаторно понашање зона--е reusida-е миша пре и после оплођења. Ед: Дисертација Д Београд, Србија (2016).*

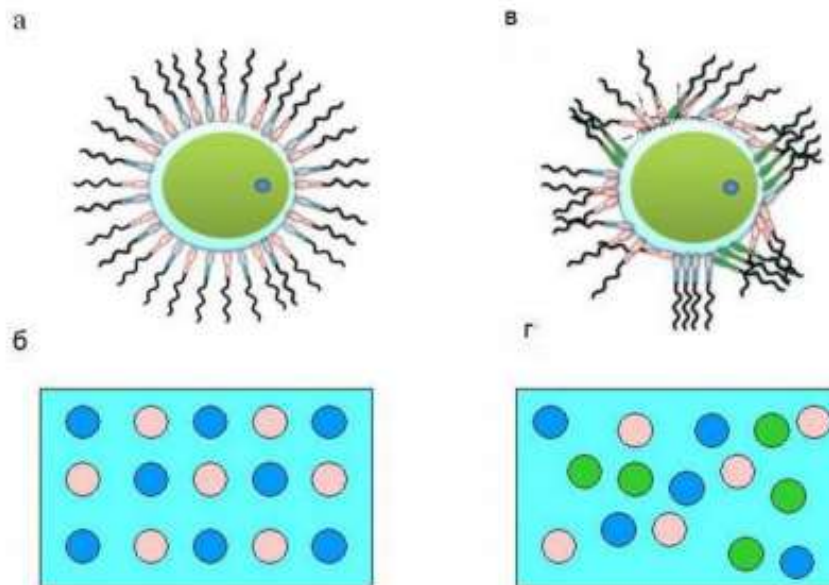


Слика 2. Резултујуће трајекторије осцилаторног кретања четири чворна молекула у тангентној равни када у почетном тренутку импулсно дејствују на чворне молекуле 4 хиперактивисана сперматозооида под угловима γ и θ : А. $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4 = 5/12\pi$ и $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = \pi/4$. Б. $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4 = \pi/3$ и $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = \pi/4$ Исто осцилаторно понашање као на слици А запажа се и када импулсно дејствују два хиперактивисана сперматозооида у дијагоналним позицијама. Да би избегли преклапање резултујућих

трајекторија чворних молекула, резултујуће трајекторије чворних молекула померене су за 2×10^{-8} и то u_2, v_3, u_4, v_4 . В. Резултујућа померања сва четири чворна молекула, у тангентној равни када на сваки од њих импулсно дејствује по један хиперактивисани сперматозоид под различитим упадним угловима γ и θ : $\gamma_1 = \pi/3$ и $\theta_1 = \pi/6$; $\gamma_2 = \pi/4$ и $\theta_2 = \pi/6$; $\gamma_3 = \pi/4$ и $\theta_3 = \pi/2$; $\gamma_4 = \pi/2$ и $\theta_4 = \pi/4$. Преузето из Хедрих, Н. А.: *Осцилаторно понашање Zona-e Pelucida-e миша пре и после оплодње*. Ed: *Disertation D Belgrade, Serbia* (2016).



Слика 3. Модел зоне пелуциде у виду шупље сфере. Притисак на спољашњу површину централно је симетричан и равномеран. В. Запремински елемент зоне пелуциде са сферичним координатама. Модификовани модел шупље сфере преузет из (Rašković, 1985). преузето из *Анджелка Хедрих, Катика (Стевановић) Хедрих. Multi-parametric dependence of deformation work of Zona Pelucida in fertilization process trough quasi-static continual shell-like ZP model. Discontinuity, Nonlinearity, and Complexity 6(4) (2017) 465–476. DOI: 10.5890/DNC.2017.12.005.*



Слика 4. Хипотетички распоред сперматозооида на површини ZP. А. симетрични распоред сперматозооида, који имају две различите брзине. Б. Симетрична дистрибуција поља са истим механичко-хемијским утицајем. В. Асиметрични произвољни распоред сперматозооида, који имају различите брзине и различите углове дејства. Г. Асиметрична дистрибуција поља са различитим механичко-хемијским утицајем. Преузето из *Хедрих, А., Mitrovic-Jovanovic, A., Lazarevic, M.: Influence of the sperm velocity on fertilization capacity in the oscillatory model of mouse zona pellucida. In (Ed: Indeitsev D. KA). Advanced Problems in Mechanics. APM 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. SpringeSpringer, Cham pp. 1–21 (2021).*