

ცოცხალი ორგანიზმების სისხლძარღვებში ლაზერ-ინდუცირებული თრომბოზის მართვადი მართვის მოდელირება

თამაზ ობგაძე, ბესიკ ბაბალაშვილი
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე

შესწავლილია დაზიანებული სისხლძარღვების კედლებზე წარმოქმნილი თრომბის დინამიკა, რომელიც ეყრდნობა არსებულ ექსპერიმენტებს. რეგრესიული ანალიზის საფუძველზე აგებულია შესაბამისი თანადობები და აქედან გამომდინარე, აგებულია შესაბამისი მათემატიკური მოდელიც, რომელიც შეესაბამება თრომბის მოცულობის ცვლილების დინამიკურ სურათს.

საკვანძო სიტყვები: თრომბი. ფიბრინის ბადე. რეგრესიული ანალიზი. მოდელი.

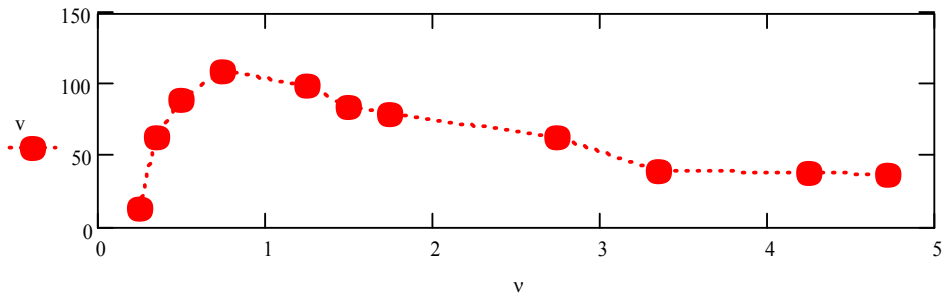
1. შესავალი

ცოცხალი ორგანიზმების სისხლძარღვებში ლაზერ-ინდუცირებული თრომბოზის მართვის მოდელირება ეფუძნება ეთიმოლოგიის და იაპონიის სამეცნიერო ცენტრებში, ასევე, სანკტ-პეტერბურგის სამედიცინო უნივერსიტეტის პათოფიზიოლოგიის კათედრაზე [1].

თრომბოზი, როგორც წესი, წარმოიქმნება სისხლძარღვების კედლის დაზიანების გამო. ამიტომ, თრომბოზის წარმოქმნის მოდელირებისას, ექსპერიმენტებში, ცდილობენ დააზიანონ სისხლძარღვების კედელი ლაზერის ფოკუსირებული სხივით და აკვირდებიან თრომბოზის განვითარების დინამიკას მიკროსკოპით. ექსპერიმენტებიდან გამომდინარე, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ წარმოქმნილი თრომბის ზრდა ხორციელდება სამ ეტაპად:

1. საწყისი სტადია, როცა ხორციელდება თრომბოციტების ფირფიტების პირველადი ადგენა დაზიანებული სისხლძარღვის კედელზე;
2. აგრეგაციის სტადია, როცა ხორციელდება თრომბის ზრდა პირველად თრომბოციტებზე სისხლიდან დალექილი ახალი თრომბოციტებითა და ფიბრინის ბადის წარმოქმნით;
3. საბოლოო სტადია, როცა სისხლძარღვის სანათური იკეტება, ან თრომბი წყდება სისხლძარღვის კედელს.

თუ, გავითვალისწინებთ ექსპერიმენტების შედეგებს [1], რომელიც მოყვანილია 1-ელ ნახაზზე, გვეჩვენება საშუალება შევამოწმოთ ჩვენ მიერ აგებული თეორიული მოდელი.



ნახ.1. თრომბის ზრდის სიჩქარის დამოკიდებულება სანათურში მოძრავი სისხლის სიჩქარეზე

ფენომენოლოგიური შესწავლისას, ბუნებრივია, შემოვიფარგლოთ თრომბოზის წარმოქმნის მეორე და მესამე სტადიით, ვინაიდან, პირველი სტადია განპირობებულია ლაზერის ურთიერთქმედებით სისხლძარღვის კედელთან.

თრომბოზის წარმოქმნის დინამიკის შესასწავლად საჭიროა თანმიმდევრობით ამოიხსნას რამდენიმე ამოცანა:

1. შესწავლილი იქნას ლაზერის ურთიერთქმედება სისხლძარღვის კედელთან;
2. სისხლძარღვის კედლის ლაზერით დაზიანების ფიზიკური, ქიმიური და ბიოლოგიური შედეგების ანალიზი;
3. დადგინდეს სანათურის ჰიდროდინამიკური მახასიათებლები, სისხლის შემაღენლობის ცვლილებისა და თრომბის წარმოქმნის დინამიკა;
4. დადგინდეს თრომბოზის წარმოქმნის ურთიერთქმედების მექანიზმი ჰიდროდინამიკურ მახასიათებლებთან;
5. განისაზღვროს თრომბოზის განვითარების მთლიანი დინამიკა და შედგეს შესაბამისი ჰიდროდინამიკური მოდელი.

სანამ დავიწყებდეთ თრომბის ზოგადი დინამიკის მოდელირებას, შევისწავლოთ თრომბის დინამიკა ექსპერიმენტებზე (ნახ.1) დაყრდნობით.

2. ექსპერიმენტული წირის შესაბამისი თეორიული მრუდის აგება არაწრფივი დაპროგრამების მეთოდით

თუ, მოვხსნით რიცხვით მნიშვნელობებს 1-ელი ნახაზის დამოკიდებულებიდან, შეგვიძლია შევადგინოთ მატრიცები

$$v := \begin{pmatrix} 0.25 \\ 0.35 \\ 0.5 \\ 0.75 \\ 1.25 \\ 1.5 \\ 1.75 \\ 2.75 \\ 3.35 \\ 4.25 \\ 4.72 \end{pmatrix}, \quad v := \begin{pmatrix} 13 \\ 63 \\ 90 \\ 110 \\ 100 \\ 85 \\ 80 \\ 63 \\ 40 \\ 38 \\ 37 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

სადაც, პირველი მატრიცა შეესაბამება სანათურში სისხლის მოძრაობის სიჩქარეს (მმ/წმ), ხოლო, მეორე მატრიცა - თრომბის ზრდის სიჩქარეს (ნმმ/წმ). ვეძებთ შესაბამისი დამოკიდებულება 1-ელი ნახაზიდან გამომდინარე, შემდეგი სახით:

$$vt(x) := (\alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \varepsilon^2) \cdot e^{-\gamma \cdot x}, \quad (2)$$

მაშინ, შეგვიძლია Mathcad-ზე შევადგინოთ შესაბამისი პროგრამა:

$$vt(\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon, i) := [\alpha \cdot (v_i)^2 + \beta \cdot v_i + \varepsilon^2] \cdot e^{-\gamma \cdot v_i}$$

$$f(\alpha, \beta, \gamma) := \sum_{i=0}^{10} (vt(\alpha, \beta, \gamma, i) - v_i)^2$$

$$\alpha := 0.1 \quad \beta := 0.1 \quad \gamma := 0.1 \quad \varepsilon := 0.1$$

Given

$$R := \text{Minimize}(f, \alpha, \beta, \gamma, \varepsilon)$$

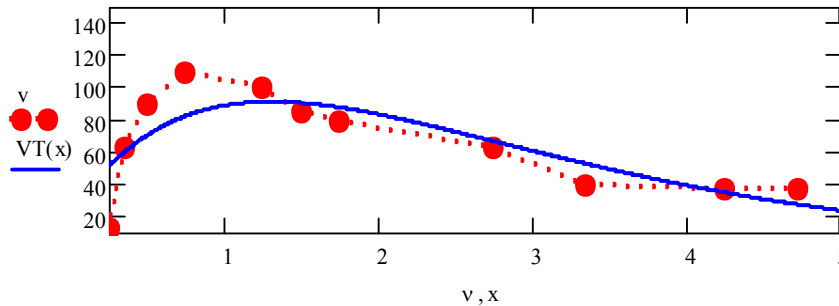
$$R = \begin{pmatrix} -12.059 \\ 152.27 \\ 0.603 \\ 4.702 \end{pmatrix}$$

$$\alpha := R_0 \quad \beta := R_1 \quad \gamma := R_2 \quad \varepsilon := R_3$$

მაშინ, ადვილად მივიღებთ შესაბამის ანალიზურ დამოკიდებულებას,

$$VI(x) := (\alpha \cdot x^2 + \beta \cdot x + \varepsilon^2) \cdot e^{-\gamma \cdot x}, \quad (3)$$

რაც გამოსახულია მე-2 ნახაზზე:



ნახ.2. ექსპერიმენტული და თეორიული დამოკიდებულებები თრომბის წარმოქმნის და სანათურში სისხლის მოძრაობის სიჩქარებს შორის

როგორც ნახაზიდან ჩანს, თეორიული გრაფიკი საკმაოდ კარგად უახლოვდება ექსპერიმენტულს. თუმცა, ეს მოდელირების მხოლოდ ესკიზური ვარიანტია. განვიხილოთ ტრომბოწარმოქმნის პროცესი უფრო დეტალურად.

3. თრომბის ზრდის მათემატიკური მოდელირება

როგორც ცნობილია, თრომბები წარმოიქმნება დაზიანებული სისხლძარღვების კედლებზე. სისხლი ცდილობს შეავსოს კედლების დაზიანებული ნაწილი თრომბოციტების ადგეზიით და დაამაგროს ისინი ფიბრინის ბადით. შემდგომში ხდება ტრომბოციტების აგრეგაცია და თრომბის მოცულობა ნელ-ნელა იზრდება. ეს პროცესი შეიძლება გამოვსახოთ მათემატიკური მოდელის საშუალებით

$$\frac{dM}{dt} = f(M, t), \quad (4)$$

სადაც $f(M, t)$ - თრომბის M - მოცულობის ზრდის სიჩქარის კანონია, რომელიც განისაზღვრება რეგრესიული ანალიზის ბაზაზე,

$$f(M, t) = -\frac{1}{\gamma} \cdot M - \alpha \cdot (\gamma \cdot t + 2) \cdot e^{-\gamma \cdot t}. \quad (5)$$

მაშინ გვქვია, რომ

$$M = (\alpha \cdot t^2 + \beta \cdot t + \varepsilon^2) \cdot e^{-\gamma \cdot t}. \quad (6)$$

რაც შეესაბამება ექსპერიმენტალურ (3) შედეგს.

4. დასკვნა

ამრიგად, ჩვენ ავაგეთ ექსპერიმენტალური მონაცემების შესაბამისი თეორიული მრუდი და ავაგეთ შესაბამისი მათემატიკური მოდელიც, რომელიც შეესაბამება ამ ექსპერიმენტებს.

ლიტერატურა:

1.Кондратьев А.С., Филиппов М.Э. Математическое моделирование реальных процессов, Компьютерные методы в образовании, №1, 1999

MATHEMATICAL MODELLING LASER-INDUCED TROMBODYNAMICS IN BLOOD VESSELS OF LIVE ORGANISMS

Obgadze Tamaz, Babalashvili Besik
Georgian Technical University

Summary

In work it is studied dynamics of the blood clots arising on damaged walls of blood vessels which is based on existing experiments. On a basis regress the analysis corresponding parities and mathematical model which corresponds to a dynamic picture of growth of volume of a blood clot are under construction.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕР-ИНДУЦИРОВАННОГО ТРОМБООБРАЗОВАНИЯ В КРОВЕНОСНЫХ СОСУДАХ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Обгадзе Т., Бабалашвили Б.

Грузинский Технический Университет

Резюме

В работе изучена динамика тромбов, возникающих на повреждённых стенках кровеносных сосудов, которая основывается на существующих экспериментах. На основе регрессионного анализа строятся соответствующие соотношения и математическая модель, которая соответствует динамической картине роста объёма тромба.