

ФРАКТАЛНА СТРУКТУРА НА СЪРДЕЧНО-СЪДОВАТА СИСТЕМА

П. Гацов

Медицински университет – Плевен

FRACTAL STRUCTURE OF CARDIOVASCULAR SYSTEM

P. Gatzov

Medical University – Pleven

Резюме. Структурата на различни системи, целящи снабдяването на обем крайно вещество с определен флуид, каквато е например кръвта в съдовата система, се подчиняват на сходни закони, които могат да се изразят със съответните математически уравнения. Тези системи имат фрактална структура, т.е. всяка малка част на системата повтаря устройството на цялата система. Познаването на тези зависимости могат да ни позволят да изчислим определен параметър от сърдечно-съдовата система, например големината на кръвоснабдявания миокард, познавайки диаметъра на кръвоснабдяващата го коронарна артерия. Този подход е изключително подходящ при болните с коронарна болест на сърцето, където обемът на исхемичния миокард е от особено голямо значение за съдбата на болния. Целта на настоящия обзор е да представи основните взаимовръзки между показателите от анатомията и физиологията на сърдечно-съдовата система.

Ключови думи: сърдечно-съдова система, фрактална структура, частична миокардна маса

Адрес за кореспонденция: Проф. Пламен Гацов, дмн, Медицински университет – Плевен, ул. „Климент Охридски” № 1, 5800 Плевен, тел. 0887 487 393, e-mail: plamengatzov@yahoo.com

Abstract. The structure of different systems, aiming to supply a volume of definite tissue with a specific fluid, which is for example the blood in the vascular system, obeys on similar laws, which can be expressed by mathematical equations. Those systems have fractal structure, that means every small part of the system repeats the structure of entire system. Knowing those dependencies permits calculation of one particular parameter of cardiovascular system, for example, the amount of myocardium on the basis of diameter of coronary artery supplying it. This approach is extremely applicable to the patients with coronary artery disease, where the amount of ischemic myocardium is of paramount importance for the patient's fate. The aim of the current review is to present the main interdependencies between anatomical and physiological parameters of cardiovascular system.

Key words: cardiovascular system, fractal structure, fractional myocardial mass

Address for correspondence: Prof. Plamen Gatzov, MD, DSc, Medical University – Pleven, 1, Kliment Ohridski Str., BG – 5800 Pleven, Mob: +359 887 487 393, e-mail: plamengatzov@yahoo.com

Увод

Наблюденията за фракталното устройство на различни природни системи съществуват отдавна, но съвременна формулировка е дадена

през XX век от Б. Манделброт. Същността е в това, че в природата (в това число и при живите организми) съществуват зависимости между отделните части и цялото, при което има пов-

торение на формата и принципа на устройство на частта с тези на цялото [1]. За това повторение могат да се дадат много примери – реките с техните притоци, формата на бреговите ивици, структурата на кристалите, строежът на растенията, съдовата, бронхиалната и нервната системи на животните, и дори устройството на населените места (фиг. 1).

Това повторение в устройството на системите се подчинява на математически зависимости, които най-често се изразяват като степенни уравнения. Тези зависимости определят отношенията между отделните параметри в една система, каквито са например връзките между телесната маса и показателите на сърдечно-съдовата система, като пулс, кислородна консумация, минутен обем, миокардна маса, капилярна гъстота и т.н. Познаването на тези зависимости може да ни помогне да определим нормалните стойности на даден показател, знаейки друг, и съответно да установим патологичните отклонения от тези стойности.

По-долу са изброени някои от тези зависимости за сърдечно-съдовата система при човека и други бозайници.

Основни принципи в устройството на съдовете на сърцето за бозайниците и човека

Всички съдове (артериални и венозни) се разклоняват на фрактален принцип, който

може да се изрази със съответните степенни уравнения.

- Капилярите нямат разклонения.
- Отношенията между различните показатели на сърдечно-съдовата система в самата нея и общи параметри, като телесната маса на индивида, могат да се изразят с ясни математически закони, представяни чрез степенни уравнения.

● Съществува закономерна връзка между диаметъра на коронарната артерия и обема на съдовата структура, дистално до ниво на капиляри.

● Връзката между коронарния кръвоток и миокардната маса е пряка и зависи от плътността на капилярите за обем миокард.

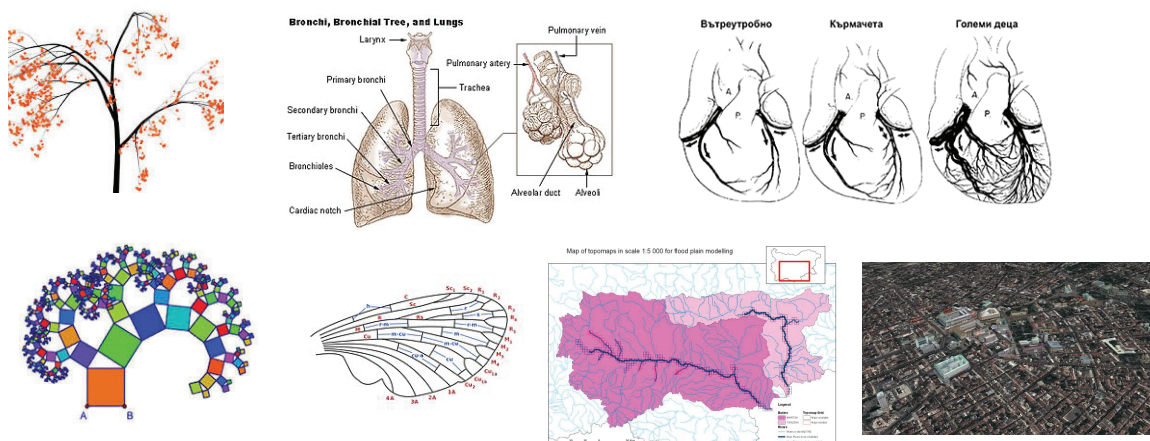
● Обемът на миокарда включва обема на съдовете (вкл. капилярите) и обема на извънсъдовите структури (мускулни клетки, съединителна тъкан и т.н.).

● Плътността на капилярите е стандартна при здрави хора и е пропорционална на кардиомиоцитната маса.

● При болните плътността на капилярите се променя и може да се определи с помощта на миокардна биопсия.

● Масата на сърцето (a) и обемът на камерите (l) са пропорционални на телесната маса (M) (∞ в случая е символ за зависимост):

$$a \propto M^{1/3} \quad l \propto M^{1/3} \quad h \propto M^{1/3}.$$



Фиг. 1. Фрактално устройство на различни системи

- Дължината и диаметърът (d) на кардиомиоцитите е пропорционална на сърдечната и телесна маса (M):

$$d^* \propto (M/Nc)^{1/3}.$$

- Обемът кръв във всички съдове (Lc – дължина на капилярите, Nc – брой на капилярите) е пропорционален на телесната маса:

$$NcRc^2Lc \propto M.$$

- Докато в артериалната система големината на кръвотока зависи от инерционните сили (тласъка от сърдечното съкращение), то в капилярите и венозната система зависи основно от вискозитета на кръвта [1, 2].

- Сърдечната честота (ϕ) е обратнопропорционална на телесната маса:

$$\phi \propto M^{-1/4}.$$

- Минутният обем (Qb) е право пропорционален на телесната маса:

$$Qb \propto M^{3/4}.$$

- Радиусът на капилярите (Rc) е пропорционален на телесната маса, но варира сравнително малко между видовете бозайници:

$$Rc = 0,0027M^{1/12}.$$

- Броят на артериалните и венозните съдове не зависи от телесната маса и е постоянна величина.

- Артериално налягане е твърде близко при различните видове бозайници и е до голяма степен независимо от телесната маса [3].

- Развитието на коронарните артерии претърпява растеж и стареене, което променя степенните отношения с останалите показатели [4].

Значение на познаването на фракталната структура на съдовете

От практическа гледна точка тези зависимости биха ни позволили, знаейки един от параметрите, да изчислим стойностите на други, които ни интересуват. Така например, ако знаем диаметъра на дадена коронарна артерия, ние бихме могли да изчислим големината на подлежащия, кръвоснабдяван от нея миокард. За целта от някои автори е предложен моделът „ствол-корона”, който представя всяка една

съдова система по аналогия с устройството на дървото, като началната част е „стволът”, а всички разклонения в тъканите са „короната”. Този модел позволява експериментално установяване и математическо представяне на съотношенията между големината на кръвоснабдявания орган (тяло), площта на напречното сечение на началната и дисталната част на васкулатурата, нейната дължина, брой разклонения, общ обем, транзиторно време на кръвта, обем на пренасяния флуид – в случая кръвта и т.н. [5]. Всички тези зависимости могат да бъдат представени като степенни уравнения и въпреки известните междувидови и възрастови различия, те са значително сходни между различните видове бозайници и човека. Тези зависимости могат да предскажат големината на кръвоснабдяваната зона – в случая миокард, ако знаем площта на кръвоснабдяващата го артерия. Тази зависимост е показана и обяснена добре в статията “Measurement from arteriograms of regional myocardial bed size distal to any point in the coronary vascular tree for assessing anatomic area at risk” на Seiler, Kirkeeide и Lance Gould, публикувана в списание JACC от 1993 [6]. Авторите стигат до следните изводи:

1. Регионалната миокардна мускулна маса е право пропорционална на дължината на разклоненията на коронарната артерия и по този начин може да бъде определена за всяка точка от коронарната артерия, изобразена чрез артериограма.

2. Фракцията на миокардната мускулна маса на определено ниво на коронарната артерия може да бъде определено по коронарната артериограма, независимо от увеличението на образа от апарата.

3. Подлежащата зона, снабдявана от дадена артерия, е в математически точна неправолънейна зависимост с площта на снабдяващата артерия.

От това следва, че ние можем да определим миокардната мускулна маса, снабдявана от дадена артерия, знаейки нейният диаме-

тър (съответно площ) и дължината на нейните разклонения. Тези модели вече се използват в клиничната практика за определяне например на т.нар. *частична миокардна мускулна маса* (fractional myocardial mass), кръвоснабдявана от стенотична артерия, и потенциално измерване на обема исхемичен миокард [7].

Заклучение

- Анатомията на коронарните съдове има фрактален характер.

- Анатомични показатели, като телесна маса, дължина и площ на коронарните артерии, миокардни обеми и маса, големина на капилярите и т.н., са в пряка връзка както помежду си, така и с различни функционални показатели, като артериално налягане, пулсова честота, транзиторно време за преминаване на кръвта и др.

- Тези взаимоотношения се подчиняват на строги математически закони, изразяващи се със степенни уравнения.

Библиография

1. Dawson, T.H. Allometric scaling in biology. Science 1998, 281, doi:10.1126/science.281.5378.751a.)
2. Dawson, T.H. Scaling laws for capillary vessels of mammals at rest and in exercise. Proc. R. Soc. Lond. B 2003, 270, 755–763. 15.
3. Seymour RS, Blaylock AJ. Physiol. Biochem. Zool. 2000, 73:389-405
4. Chen Xi et al. Growth, aging and scaling laws of coronary arterial trees. JR Soc Interface, 2015;12(113)20150830
5. Razavi M, Shirani E, Kassab G. et al. Scalingt laws of flow rate vessel blood volume, lenth and transit times, with number of capillaries. Front Physiol 2018;9:581
6. Seiler C, Kirkeeide R, Lance Gould K, Measerment from arteriograms of regional myocardial bed size to any point of coronary vascular tree for assessing anatomical area at risk. JACC 1993; 22(3):783-797
7. Hyung YK, et al. JACC Cardiovasc Interv, 2016;9(15): DOI: 10.1016/j.jcin.2016.04.008