

ДВИЖЕНИЕ КРОВИ ПО СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЕ (ССС) КАК МАРКОВСКАЯ ЦЕПЬ

Кислухин В.В.

ООО Медисоник, Россия, Москва, Девичий проезд 3-41, 8 916 7515034,
viktorK08@gmail.com

Введение. Для определения сердечного выброса, объема циркулирующей крови, величины и направления кровотока по внутрисердечным шунтам (при врожденных пороках сердца) используется метод разведения индикатора. При этом получение кривой разведения осуществляется в одной из артерий большого круга, а инъекция делается в одну из вен. Анализ и обработка получаемой кривой предполагает математическую модель движения индикатора как в норме так и при врожденных пороках сердца и это при рециркуляции индикатора – когда, в силу замкнутости ССС, индикатор возвращается, регистрируясь вместе с индикатором первого прохождения.

Метод. ССС, при описании движения крови, может рассматриваться как замкнутый ориентированный граф. Для составления уравнений движения крови выделяются три типа ребер графа ССС с различным движением крови. Это (а) сердечные камеры, где за сердечный цикл кровь смешивается с имеющейся в камере и часть крови выходит в следующую камеру или магистральный сосуд, а распределение времени прохождения имеет производящую функцию $a/(1-bx)$, где b есть фракция изгнания соответствующей камеры и $a+b=1$, (б) транспортные сосуды, прохождение по ним задается функцией x^n , где n есть время прохождения по данному сосуду и (с) микроциркуляция, где есть две особенности: (а) В каждом микрососуде кровоток меняется от движения до остановки. Примем, каждый микрососуд может быть или открытым или закрытым. Распределение вероятностей для эволюции открытых микрососудов – $(\alpha, \beta; \alpha+\beta=1)$, где α – вероятность открытому сосуду остаться открытым. Для закрытых микрососудов соответствующее распределение имеет вид $(\nu, \mu; \nu+\mu=1)$, где ν – вероятность закрытому микрососуду остаться закрытым. (б) В каждом органе распределение длин микрососудов имеет дисперсию. Распределение длин аппроксимируется Пуассоновским распределением $\{\exp(-\lambda) \times \lambda^k / k!; k=0, 1, 2, \dots\}$, где λ – и есть дисперсия. Объединение этих двух особенностей ведет к производящей функции: $\exp\{-\lambda + \lambda(\alpha x + \beta \mu x^2 / (1 - \nu x))\}$. Полученные уравнения позволяют построить на кривые разведения как для нормы так и для патологии.

Результаты. (а) Эксперименты на модели показали, что меняя параметры модели можно получить все возможные кривые разведения, включая случаи с внутрисердечными шунтами и одножелудочковым сердцем и оценить точность нахождения сердечного выброса и внутрисердечных сбросов при использовании различных алгоритмов обработки. (б) Показано, что феномен выделения активно циркулирующего объема крови, как части полного объема крови, наступает при патологии микроциркуляции, когда переход открытой-закрытой микрососуд длителен и занимает, в среднем, несколько минут.