

В.В. Григоренко, С.А. Лысенкова, Т.В. Гавриленко

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИТУАЦИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

С использованием методов математической статистики исследовались параметры состояния сердечно-сосудистой системы человека, при которых происходят катастрофические изменения системы и они переходят в критические состояния при заданном временном интервале.

Параметры системы, критическое состояние, среднеквадратическое отклонение, катастрофическое изменение сердечно-сосудистой системы, вероятность.

В настоящее время большой интерес представляет изучение здоровья коренного населения Ханты-Мансийского округа Югры, направленное на повышение его средней продолжительности жизни [1, 2].

Одним из основных показателей здоровья организма человека является состояние его сердечнососудистой системы (ССС). В данной статье представлены результаты анализа показателей состояния ССС при переходе в критические состояния, которые могут привести к остановке сердца, при этом рассмотрены катастрофические и продолженные во времени изменения межимпульсных интервалов с условно нормальных значений до критических.

В последнее время появилось множество работ исследования состояния здоровья человека, медицинской диагностики и прогнозирования состояния параметров жизнедеятельности человека с помощью методов математического моделирования [3].

Целью данной работы является изучение поведения параметров сердечно-сосудистой системы коренного населения ХМАО-Югры с помощью методов математической статистики, для анализа и предсказания потенциально опасных физиологических состояний за счет изучения выбросов среднеквадратических отклонений за пределы ± 6 , ± 26 , ± 36 и т.д. [2].

В качестве объекта исследования использовались показатели сердечно-сосудистой системы коренного населения Ханты-Мансийского автономного округа, в частности значения межимпульсных интервалов ССС.

В исследованиях приняли участие 111 представительниц коренных народов севера в возрасте от 18 до 102 лет. Все они были разбиты на три возрастные группы: в первой группе — 41 человек, во второй — 44 и в третьей группе — 26 человек. Данные были получены с помощью пульсоксиметра ЭЛОКС-01 М, регистрирующего пульсовую волну с одного из пальцев испытуемого в положении сидя, в течение пятиминутного интервала времени. В качестве основного параметра использовались значения межимпульсных интервалов сердечных сокращений. Межимпульсные интервалы ССС показывают ритм работы сердца. Нормальным является состояние, при котором интервалы между ударами сердца варьируются, но без значительных отклонений, т.е. примерно равны между собой, а равенство или существенное отклонение от среднего значения межимпульсных интервалов свидетельствует о наличии патологии: аритмии, брадикардии (замедление) и тахикардии (учащение). На рис. 1 представлены примеры пульсовой волны при условном нормагенезе (1а) и патогенезе (1б).

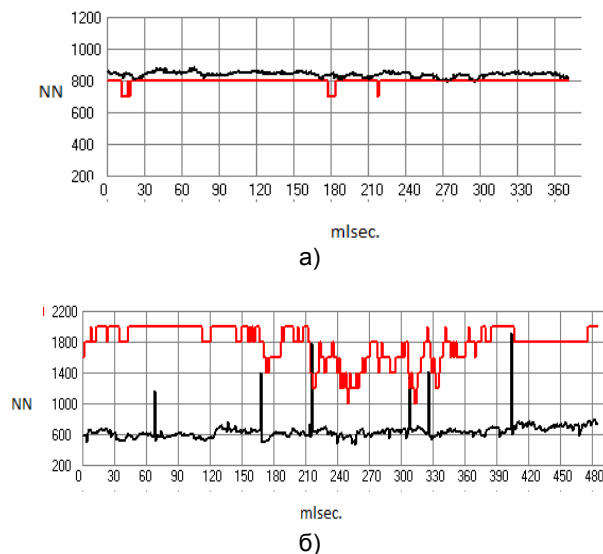


Рис. 1. Пример пульсовой волны при патогенезе

С помощью методов математической статистики выявлены выбросы в рядах данных межпульсных интервалов за пределы от ± 6 до $\pm 10\sigma$. Расчет проводился по следующей схеме:

- для каждого обследуемого вводились исходные данные о межпульсных расстояниях сердечного ритма NN, полученные на протяжении 5 минут;
- строили вариационный и статистический ряд данных для каждого испытуемого;
- далее рассчитывали объем V , сумма Σ и среднее арифметическое число элементов выборки;
- находили минимум и максимум элементов выборки;
- рассчитывали размах выборки по формуле:

$$R = \max - \min; \quad (1)$$

- по формуле Старджесса находили количество интервалов группировки;
- далее рассчитывали длину интервала группировки элементов выборки;
- находят середины интервалов группировки элементов выборки;
- далее рассчитывали частоты — количество n_i элементов выборки, попавших в i -й интервал;
- наряду с частотами одновременно рассчитывали накопленные частоты, относительные частоты, накопленные относительные частоты;
- рассчитывали дисперсию и среднееквадратическое отклонение;
- определяли коэффициент вариации, показывающий, на сколько процентов в среднем индивидуальные значения отличаются от средней арифметической. Коэффициент вариации является критерием надежности средней: если он превышает 40 %, то это свидетельствует о большой колеблемости признака и, следовательно, средняя арифметическая недостаточно надежна;
- рассчитывали коэффициент эксцесса — меру остроты пика распределения случайной величины;
- определяются величины 2σ , 3σ , 5σ , 8σ , 10σ ; рассчитывается количество выбросов точек межпульсного интервала за 2σ , 3σ , 5σ , 8σ , 10σ :

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \bar{x} - \sigma, \Delta_1 = x_1 - x_i, \Delta_1 > 0; \\
 x_2 &= \bar{x} + \sigma, \Delta_2 = x_2 - x_i, \Delta_2 < 0; \\
 x_3 &= \bar{x} - 2\sigma, \Delta_3 = x_3 - x_i, \Delta_3 > 0; \\
 x_4 &= \bar{x} + 2\sigma, \Delta_4 = x_4 - x_i, \Delta_4 < 0;
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

и так далее [4,5].

В табл. 1 представлен пример расчета попаданий точек межимпульсного интервала сердечного ритма в различные границы среднеквадратического отклонения для четырех испытуемых в возрасте от 18 до 102 лет.

Таблица 1

Расчет попаданий точек межимпульсного интервала сердечного ритма в различные границы среднеквадратического отклонения

Возраст, лет	Сред. значение межимпульсного интервала, \bar{x}	Дисперсия, σ^2	Среднеквадратическое отклонение, σ	Выбросы за пределы									
				$\pm\sigma$		$\pm 2\sigma$		$\pm 3\sigma$					
				-	+	-	+	-	+				
18	621,42	584,99	24	60	88	14	17	—	—				
49	914	2793	53	63	53	6	10	2	2				
70	1434	277	17	29	21	12	3	—	—				
Возраст, лет	Сред. значение межимпульсного интервала, \bar{x}	Дисперсия, σ^2	Среднеквадратическое отклонение, σ	Выбросы за пределы									
				$\pm\sigma$		....		$\pm 5\sigma$		.....		$\pm 10\sigma$	
				-	+	-	+	-	+	-	+	-	+
29	643	13690	117	18	21	...	...					—	1
46	790	3086	56	34	50	...	...	—	3	...	...	—	—
64	807	2740	52	25	8	...	...					—	1

С увеличением возраста для испытуемых в нормогенезе, среднее значение межимпульсного расстояния увеличивается, достигая 1434 мм/сек, и в патогенезе — 807 мм/сек. При этом, заметно, что с увеличением возраста дисперсия уменьшается в 2 раза от 585 до 277 в нормогенезе, и примерно в 6 раз, от 13690 до 2740 в патогенезе. То есть с увеличением возраста разброс вокруг средней величины и в нормальном и в патологическом состоянии сужается. Также в таблице 1 представлены результаты выбросов точек межимпульсных расстояний за пределы $\pm\sigma$, $\pm 2\sigma$... $\pm 10\sigma$.

Выявлено, что для всех испытуемых в нормогенезе выбросы не выходят за пределы $\pm 5\sigma$, однако существует небольшая группа испытуемых (20 человек), чьи ряды данных межимпульсного интервала выходят за пределы $\pm 8\sigma$, что может выступать в качестве индикатора патологии, брадикардии или тахикардии. Рассмотрим статистические параметры на типичных примерах.

В эксперименте приняли участие 6 представительниц коренного населения Югры, по одной из каждой возрастной группы в состоянии нормогенеза и патогенеза.

В исходный ряд данных были добавлены критические точки, при которых происходит остановка сердца при брадикардии (17 ударов в минуту, что соответствует 3530 миллисекунд для межимпульсного интервала) и тахикардии (220 ударов в минуту, что соответствует 273 миллисекундам для межимпульсного интервала). Пересчитаны средние значения, дисперсии и среднеквадратические отклонения, а также выбросы межимпульсного интервала сердечно-

го ритма при катастрофическом изменении параметров сердечно-сосудистой системы.

В таблице 2а и 2б представлены результаты попаданий точек межпульсного интервала сердечного ритма в различные границы среднеквадратического отклонения, при внезапной остановке сердца.

Таблица 2а

Результат попаданий точек межпульсного интервала сердечного ритма в различные границы среднеквадратического отклонения при внезапной остановке сердца, при нормалгенезе

Возраст, лет	Пульс, ударов в мин.	Среднеквадратическое отклонение, б	Выбросы межпульсного интервала
18	220	28,87	-12 б
	17	132	+21 б
49	220	27	-14 б
	17	134	+22 б
70	220	80	-14 б
	17	142	+14 б

Как видно из таблицы 2а выбросы межпульсного интервала выходят за пределы от $\pm 12б$ до $\pm 22б$. Поскольку вероятность попадания в интервал $\pm 3б - 0,99$, то вероятность попадания межпульсного интервала в интервал от $\pm 12б$ до $\pm 22б$ ничтожно мала, а значит внезапная остановка сердца у испытуемых с нормалгенезом — невозможное событие.

Таблица 2б

Результат попаданий точек межпульсного интервала сердечного ритма в различные границы среднеквадратического отклонения при внезапной остановке сердца, при патогенезе

Возраст, лет	Пульс, ударов в мин.	Среднеквадратическое отклонение, б	Выбросы межпульсного интервала
29	220	118	+8 б
	17	175,53	+16 б
46	220	61	- 8 б
	17	149	+18 б
64	220	59	+14 б
	17	148	+18 б

Как видно из таблицы 2б при патогенезе с внезапной остановкой сердца выбросы межпульсного интервала выходят за пределы от $\pm 8б$ до $\pm 18б$, что значительно меньше, чем у испытуемых с нормалгенезом, а значит и вероятность наступления внезапной остановки сердца у людей с патологией намного больше.

Далее исходный ряд значений межпульсных интервалов был дополнен двумя диапазонами модельных точек, что соответствует одной минуте проведения эксперимента. Данный ряд позволяет смоделировать ситуацию наступления коллапса продолженного во времени, для определения вероятности наступления подобного рода событий. Первый диапазон содержал монотонно

убывающий ряд точек со значениями от первого значения точки разрыва до точки минимального значения, соответствующий моменту критического состояния (внезапной остановке сердца при пульсе 220 ударов в минуту). Второй диапазон содержал монотонно возрастающий ряд от точки последнего значения разрыва до точки максимального значения, соответствующий моменту критического состояния (внезапной остановке сердца при пульсе 17 ударов в минуту).

В таблице 3а и 3б представлены результаты попаданий точек межимпульсного интервала сердечного ритма в различные границы среднеквадратического отклонения, при переходе параметров в критическое состояние.

Таблица 3а

Результат попаданий точек межимпульсного интервала сердечного ритма в различные границы среднеквадратического отклонения при переходе параметров в критическое состояние, при нормогенезе

Возраст, лет	Пульс, ударов в мин.	Среднеквадратическое отклонение, б	Выбросы межимпульсного интервала
18	220	132	-7б
	17	500	+3б
49	220	66	-14б
	17	547	+3б
70	220	230	-3б
	17	449	+3б

Таблица 3б

Результат попаданий точек межимпульсного интервала сердечного ритма в различные границы среднеквадратического отклонения при переходе параметров в критическое состояние, при патогенезе

Возраст, лет	Пульс, ударов в мин.	Среднеквадратическое отклонение, б	Выбросы межимпульсного интервала
29	220	136	+10б
	17	547	+3б
46	220	151	+3б
	17	558	-3б
64	220	128	-6б
	17	550	+3б

Как видно из таблиц 3а и 3б при монотонном переходе к критическому состоянию выбросы межимпульсных интервалов для испытуемых в нормогенезе и патогенезе, уменьшились примерно в 2–4 раза, что говорит о существенном росте вероятности наступления критического состояния сердечного ритма.

Моделирование ситуации наступления критических состояний предназначалось для исследования границы увеличения вероятности наступления критического состояния. Предполагалось, что в ситуации при монотонном переходе к критическому состоянию мы получим те же вероятности, что и в мгновенном. Результаты расчетов показали, что вероятность наступления критических состояний сердечно-сосудистой системы при монотонном переходе

значительно уменьшилась. И так как считается, что данные межимпульсных интервалов подчиняются нормальному закону распределения, укладываемому в диапазон $\pm 3\sigma$.

Вывод: применение методов математической параметрической статистики для анализа биомедицинских показателей не применимо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гавриленко Т.В., Еськов В.М., Хадарцев А.А., Химикина О.И., Соколова А.А. Новые методы для геронтологии в прогнозах долгожительства коренного населения Югры // Успехи геронтологии. 2014. Т. 27. № 1. С. 30–36.

2. Григоренко В.В., Еськов В.М., Гавриленко Т.В. Методы математической статистики в задачах анализа патологических состояний населения // Международная конференция «Математика и информационные технологии в нефтегазовом комплексе». 2014. Т. С. 182.

3. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е., Хадарцев А.А. Особые свойства биосистем и их моделирование. // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. XVIII, № 3. С. 331–332.

4. Микшина В.С., Острейковский В.А., Булгаков К.Н. К разработке обобщающей модели представления знаний в системах поддержки принятия решений // Фундаментальные исследования, № 2. 2004. С. 85–86.

5. Mikshina V.C., Egorov A.A. Use of Probabilistic Neural Networks to Solve Classification Problems in Surgery // Optical Memory and Neural Networks, 2011. Vol. 20, No 3. P. 224–231.

Сургутский Государственный Университет ХМАО-Югры

grigv_84@mail.ru

lsa1108@mail.ru

taras.gavrilenko@gmail.com

Grigorenko V.V., Lysenkova S.A., Gavrilenko T.V.

MATHEMATICAL MODELING OF THE SITUATION OF OCCURRENCE OF CRITICAL CONDITIONS IN THE HUMAN BODY

Using methods of mathematical statistics was investigated parameters of the cardiovascular system of man, in which there are catastrophic changes of the system and they go into a critical state at a given time interval.

System parameters, the critical condition, the standard deviation, a catastrophic change in the cardiovascular system, the probability.