



Ссылка на статью:

// Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. УлГУ. Электрон. журн. 2021, № 1, с. 8-12.

Поступила: 24.02.2021

Окончательный вариант: 07.04.2021

© УлГУ

УДК 519.216:004.9:616.12-008.331.1

Модель нарушений циркадного ритма под воздействием изменений во внешней среде

Бутов А. А., Хисамутдинов Д. И.*

[*d.hisa@yandex.ru](mailto:d.hisa@yandex.ru)

УлГУ, Ульяновск, Россия

В работе рассматривается давление внешней среды как фактор нарушений циркадного ритма артериального давления в большом круге кровообращения. Разработка модели проведена в семимартингальных терминах и реализована с помощью методов компьютерного имитационного моделирования. Она показывает, что при воздействии внешних факторов на организм человека происходит увеличение значений артериального давления.

Ключевые слова: имитационное моделирование, случайный процесс, семимартингал, циркадный ритм.

Введение

Воздействие окружающей среды на живой организм определяется рядом факторов. Например, многие изменения в экологической обстановке оказывают влияние на состояние организма человека. Действия метеорологических факторов на пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями сегодня является общепризнанным и основывается на большом количестве исследований [4],[5],[6]. Их результаты свидетельствуют о том, что такие изменения погоды, как резкое повышение или понижение температуры окружающей среды, колебания атмосферного давления, повышение влажности воздуха приводят к повышению риска развития инфаркта миокарда, мозгового инсульта и повышению смертности пациентов.

Знание закономерностей развития метеопатических реакций позволит своевременно внести изменения в схему лечения с целью предупреждения развития гипертонических кризов, а также эффективного поддержания уровня артериального давления (АД) [5].

Целью данной работы выявление нарушений циркадного ритма под воздействием внешней среды для прогнозирования состояния здоровья пациента с сердечнососудисты-

ми заболеваниями. На основе разработанных, в данной работе, компьютерной и математических моделей.

1. Материалы и методы исследования

Гипертоническая болезнь (ГБ) является актуальной проблемой кардиологии. В России около 40 млн. человек страдают этим заболеванием [6]. Одной из основных причин смертности трудоспособного населения страны являются осложнения ГБ (инфаркт миокарда, хроническая сердечная и почечная недостаточность, атеросклероз и др.) [4],[6]. В связи с этим, существенное изменение артериального давления (АД) способствует развитию осложнений. Естественно, актуальным является построение адекватных математических и компьютерных имитационных моделей регуляции АД.

Комфортность антропоэкологической ситуации определяется большим количеством факторов окружающей среды, из которых более десяти относятся к климатическим факторам [5]. Среди климатических факторов наиболее подвижным является фактор погоды, характеризующийся комплексом метеорологических элементов, таких как температура воздуха, атмосферное давление, влажность, скорость ветра и др. Также активным дискуссиям подвергается вопрос о воздействии еще одного фактора – солнечной активности. Не являясь собственно метеорологическим или климатическим, данный гелиофизический фактор, безусловно, влияет на атмосферные процессы, «опосредованно» воздействуя и на самочувствие людей [5].

Для решения задачи прогнозирования поведения АД под воздействием давления внешней среды в настоящей работе разработаем математическую модель. Модель рассматривается в семимартингальных терминах. Параметры в ней вычисляются методом наименьших квадратов (МНК) и методами стохастического оценивания.

Рассмотрим на стохастическом базисе $B = (\Omega, \mathcal{F}, F = (\mathcal{F}_t)_{t \geq 0}, P)$ [1] непрерывный случайный процесс $X = (X_t)_{t \geq 0}$, представляющий последовательные значения артериального давления. Его можно рассмотреть как процесс изменения систолического или диастолического артериального давления путем изменения начальных параметров. Рассмотрим систему, в которой компонента X_t – систолическое АД, а Y_t – диастолическое АД. Траектории одномерного процесса (для систолического АД) описываются следующим стохастическим дифференциальным уравнением

$$dX_t = dY_t + \mu(Y_t - X_t)dt + \delta dW_t, X_0 \in [100, 150]. \quad (1)$$

где Y_t – процесс усредненного (невозмущенного) значения артериального давления в момент времени t , t – время, измеряемое в сутках, μ – коэффициент стремления к значению процесса Y_t , δ – коэффициент диффузии, $W = (W_t)_{0 \leq t \leq T}$ – стандартный винеровский процесс.

Для построения стохастической модели нарушений циркадного ритма, рассмотрим более подробно процесс, показывающий усредненное (невозмущенное) значение артериального давления в момент времени t .

$$Y_t = \sin\left(\frac{\xi}{2\pi} \cdot t\right) \quad (2)$$

Воздействие факторов внешней среды являются дополнительным параметром при моделировании [2]. Стохастическое дифференциальное уравнение (1) представляет математическую модель без учета дополнительных действующих факторов на организм человека. Дополним дифференциальное уравнение (1) исходя из воздействия внешней среды. Получим следующее дифференциальное уравнение:

$$dX_t = dY_t + \mu(Y_t - X_t)dt + \delta dW_t + (\zeta + Y_t - X_t)I(d\pi_t > 0), \quad (3)$$

где Y_t – процесс ожидаемого значения артериального давления в момент времени t , t – время, измеряемое в сутках, μ – коэффициент стремления к значению процесса Y_t , δ – коэффициент диффузии, $W = (W_t)_{0 \leq t \leq T}$ – стандартный винеровский процесс, ζ – случайная величина с математическим ожиданием a и дисперсией D (в данном случае дисперсия характеризует величину изменения артериального давления при воздействии факторов внешней среды на организм человека), $\pi = (\pi_t)_{0 \leq t \leq T}$ – пуассоновский процесс с интенсивностью λ (отвечает за наступление ситуации с воздействием внешних факторов).

2. Результаты исследования

Результатом исследования является построение математической модели, на основе которой создается компьютерная имитационная модель нарушений циркадного ритма под воздействием давления внешней среды. Разработка математической модели проведена в семимартингальных терминах. Реализация компьютерной имитационной модели выполнена на языке программирования высокого уровня C# в среде разработки Microsoft Visual Studio 2017.

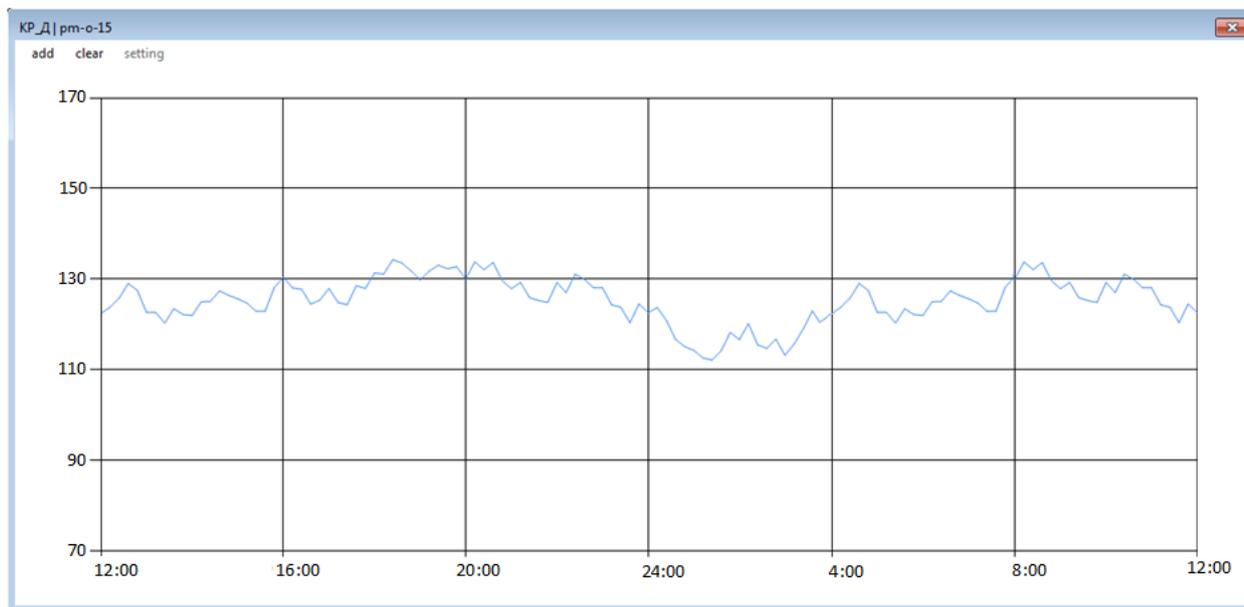


Рис. 1. Результат работы компьютерной модели для дифференциального уравнения (1).

На рис. 1 представлен результат работы программы для стохастического дифференциального уравнения (1) (Модель изменения артериального давления без учета внешних факторов).

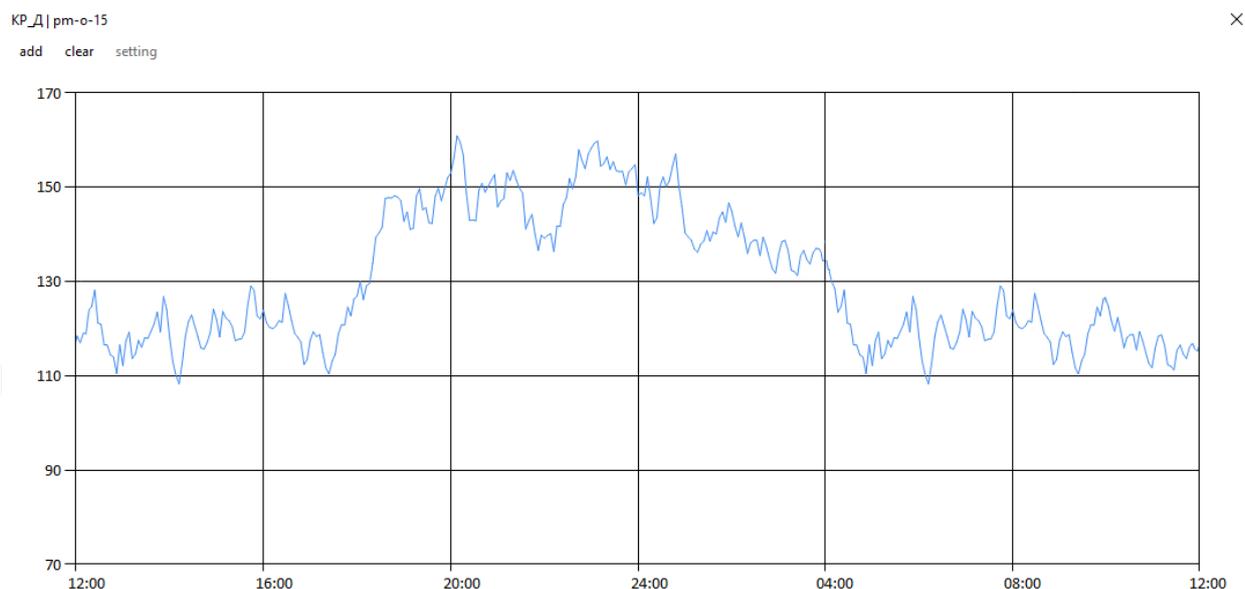


Рис. 2. Результат работы компьютерной модели для дифференциального уравнения (3).

На рис. 2 представлен результат работы программы для стохастического дифференциального уравнения (3). В данном случае, в математическую модель добавлен дополнительный фактор внешнего давления окружающей среды на человека, учтены резкие изменения внешней среды в непредсказуемые моменты в виде скачков Пуассоновского процесса.

Таким образом, построенная модель адекватно отражает наблюдаемые «скачкообразные» изменения показателей АД при рассмотрении влияния внешней среды на циркадный ритм.

Заключение

В ходе исследования разработана компьютерная имитационная модель, определяющая изменения показателей артериального давления человека под воздействием изменений во внешней среде в течении суточного циркадного ритма. Модель показала что, при воздействии внешних факторов, происходят резкие и непредсказуемые изменения показателей АД. Среднесуточные показатели также увеличиваются. Для организма человека данные колебания могут способствовать развитию ГБ и ее осложнений.

Список литературы

1. Бутов А.А., Волков М.А., Санников И.А. *Математические модели биологических процессов: методическое пособие*. Ульяновск: УлГУ, 2001.

2. Гаврилова М.С. Имитационная модель циркадианного ритма систолического артериального давления // *Научный потенциал молодёжи – будущему России: материалы межрег. научно-практ. конф. Волгодонск, 29 апреля 2011 г.* - Шахты : ФГБОУ ВПО «ЮРГУЭС», 2011. -С. 20. - ISBN 978-5-93834-679-6.
3. Бутов А.А., Коваленко А.А., Шабалин А.С. *Математические модели физиологии в самостоятельных работах студентов и работах аспирантов: методическое пособие. Ч. 4.* Ульяновск: УлГУ, 2018.
4. Artyukhov, I.P., Grinshtein, Y.I., Petrova, M.M. et al. Prevalence of arterial hypertension in the Krasnoyarsk Krai (Siberia, Russia) // *BMC Cardiovasc Disord.* 2017. 17, Article number: 138.
5. Савенков М.П., Кириченко А.В., Иванов С.Н. Сезонная коррекция антигипертензивной терапии // *Consilium medicum.* 2008. 10(5), с. 40–44.
6. Vilkov V. G., Shalnova S. A., Balanova Yu. A., Evstifeeva S.E., Imaeva A.E., Kapustina A. V., Muromtseva G.A. Prevalence of hypotension in populations of the Russian Federation and the United States of America according to 30-year follow-up // *Cardiovascular Therapy and Prevention.* 2020. Т. 19, № 3, с.33–38.