

УДК 616.1

DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-1-116-120

## ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ПО ОПТИМАЛЬНОМУ КРИТЕРИЮ

© Ю.В. Сулова, К.Е. Швырева, Е.И. Глинкин

Тамбовский государственный технический университет  
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Советская, 106  
E-mail: glinkinei@rambler.ru

Представлена объективная оценка параметров гемодинамики благодаря применению оптимального критерия оценки сердечно-сосудистой системы.

*Ключевые слова:* сердечно-сосудистая система; мультипликативно-симметричная мера; оптимальный критерий; оценка показателей; точность

Известен метод диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы (ССС) [1–2], основанный на использовании взвешенных значений восьми показателей гемодинамики: минутный объем кровообращения (МОК), систолическое артериальное давление (САД), диастолическое артериальное давление (ДАД), среднее артериальное давление (СрАД), частота сердечных сокращений (ЧСС), ударный объем (УО), общее периферическое сопротивление сосудов (ОПСС), возраст (В), с последующим определением диагностического коэффициента  $K$ , представленного кодом в нормально дизъюнктивной форме:

$$K = \sum_{i=1}^8 M_i X_{iH}$$

где  $i = \overline{1,8}$  – число показателей гемодинамики;  $X_{iH}$  – дифференциальные показатели, выбранные приведенными погрешностями с относительными диапазонами  $\{0,1\}$ ;  $M_i$  – весовые дифференциальные коэффициенты, формируемые средневзвешенными мерами из единичной суммы.

Недостатком метода является недостоверная метрологическая эффективность, обусловленная низкой объективностью из-за необоснованного числа критериев оценки состояния ССС, формируемых по субъективным ненормируемым дифференциальным и интегральным мерам: приведенным погрешностям со средневзвешенными весовыми коэффициентами, рассчитываемыми итерационным анализом.

Для оценки объективности и, как следствие, точности полученных данных воспользуемся мультипликативной симметричной мерой (МСК)  $Q$ , представленной отношением произведения показателей как для систолического, так и для диастолического артериального давления группы пациентов к оптимальному эквиваленту, представленному средним арифметическим в  $n$ -й степени [3]. Рассмотрим изменение МСК  $Q$  в зависимости от числа используемых показателей состояния ССС.

В норме систолическое артериальное давление  $P$  располагается в диапазоне от 100 до 130 мм рт. ст. Однако для наглядности представленной модели рассмотрим диапазон от 60 до 180 мм рт. ст. с шагом в 10 мм рт. ст. с целью выявления потенциальных групп риска среди пациентов с различными, часто далеко отходящими от нормы значениями систолического артериального давления. На рис. 1а представлена зависимость МСК  $Q$  только от одного показателя – систолического артериального давления.

Физический смысл мультипликативной симметричной меры – точность, соответственно, график погрешности имеет вид, представленный на рис. 1б.

Анализ рис. 1 показывает, что наиболее благоприятным является значение систолического артериального давления, равное 120 мм рт. ст., что полностью подтверждает клинические исследования и мнение врачей-кардиологов. При этом значение  $P = 120$  мм рт. ст. соответствует значению  $Q = 100\%$  (критерий  $Q$  отражает точность), что доказывает уникальность используемого критерия. Однако нормой считается диапазон от 100 до 139 мм рт. ст., соответствующий значению  $Q = 99–100\%$ . График погрешности подтверждает полученные выводы: при значении  $P = 120$  мм рт. ст. погрешность равна нулю. Однако диагностика пациента лишь по одному показателю гемодинамики на практике является невозможной.

Рассмотрим зависимость МСК от трех показателей: систолического артериального давления  $P$ , диастолического артериального давления  $D$  и среднего артериального давления  $S$ . В этом случае мультипликативная симметричная мера будет определяться отношением произведения  $Q_i$  величин к их среднему арифметическому в  $i$ -й степени. В данном случае  $i = 3$ , что соответствует числу выбранных показателей. График зависимости представлен на рис. 2а ( $k$  – совокупное среднее нормированное значение для 3 показателей).

Соответственно, график погрешности имеет вид, представленный на рис. 2б.

Согласно приведенным графикам, здоровые люди (т. е. люди с показателем  $Q = 99–100\%$ ) имеют значение

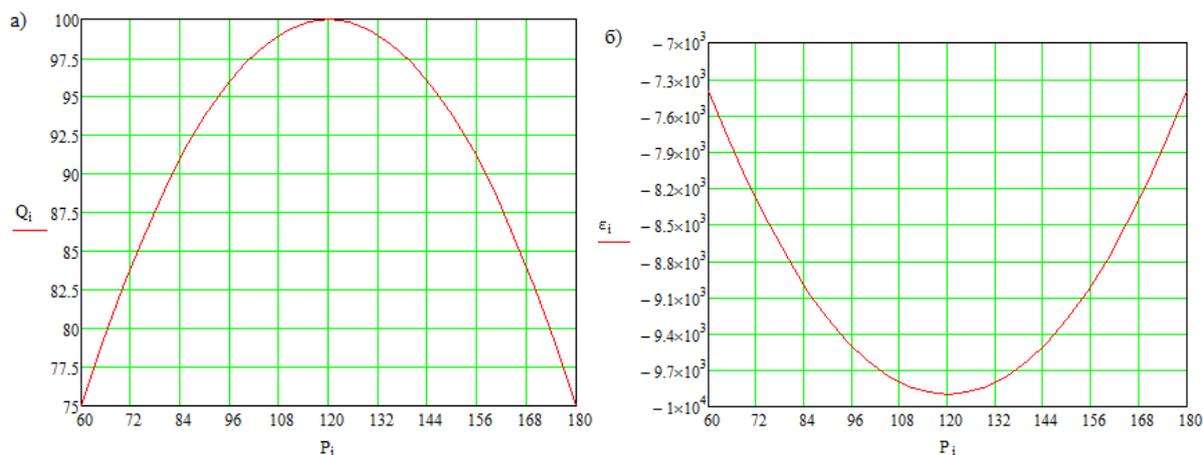


Рис. 1. Оценка CCC по 1 показателю: а) МСК  $Q$  от  $P$ ; б) погрешность

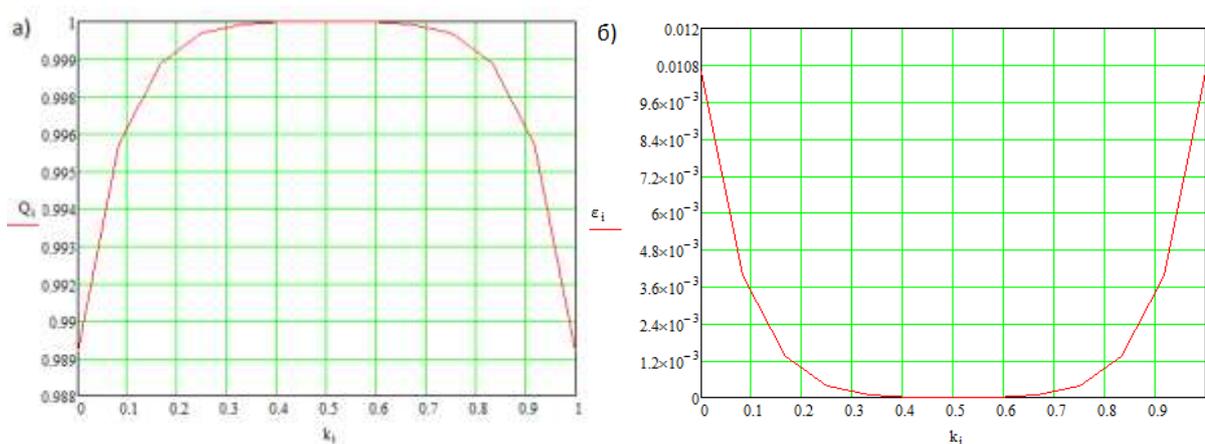


Рис. 2. Оценка CCC по 3 показателям: а) МСК  $Q$  от  $k$ ; б) погрешность

нормированного показателя  $k = 0,2-0,8$ , что соответствует средним значениям каждого использованного для суммарной диагностики показателя гемодинамики. И действительно, наиболее благоприятным для пациента считается среднее значение показателя из диапазона нормы. Соответственно, к диапазонам  $k = 0-0,2$  и  $k = 0,8-1$  относятся пациенты, предрасположенные к возникновению патологий CCC с гипо- и гиперфункциями. График погрешности подтверждает полученные данные: погрешность минимальна в диапазоне  $k = 0,2-0,8$ .

Наиболее интересен случай, когда МСК  $Q$  зависит одновременно от 8 показателей гемодинамики, а именно: минутного объема кровообращения  $V$ , систолического артериального давления  $P$ , диастолического артериального давления  $D$ , среднего артериального давления  $S$ , частоты сердечных сокращений  $F$ , ударного объема  $V_U$ , общего периферического сопротивления сосудов  $R$  и возраста  $B$ . В данном случае МСК также будет определяться отношением произведения  $Q_i$  величин к их среднему арифметическому в  $i$ -й степени. Однако теперь используется 8 показателей и, следовательно,  $i = 8$ . График оценки точности представлен на рис. 3а ( $k$  – совокупное среднее нормированное значение для 8 показателей).

Соответственно, график погрешности имеет вид, представленный на рис. 3б.

Анализ полученных графиков показывает, что при использовании 8 диагностических показателей интервал, соответствующий здоровым людям, существенно уменьшается и соответствует диапазону  $k = 0,3-0,7$ . Данный интервал – это середина всего рассмотренного диапазона, справа и слева от него располагаются интервалы для пациентов, относящихся к той или иной, изначально определенной группе риска (гипофункция CCC, гиперфункция). График погрешности полностью оправдывает полученные данные: погрешность минимальна в середине диапазона (интервал  $k = 0,3-0,7$ ) и возрастает при смещении к границам.

Однако значения МСК  $Q$  зависят не только от количества используемых диагностических показателей, но и от способа их нормировки. В качестве наглядного примера исследуем группу пациентов с конкретными, полученными опытным путем показателями систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления (табл. 1).

Для оценки точности полученных данных воспользуемся МСК  $Q$ , представленной отношением произведения показателей как для систолического, так и для диа-

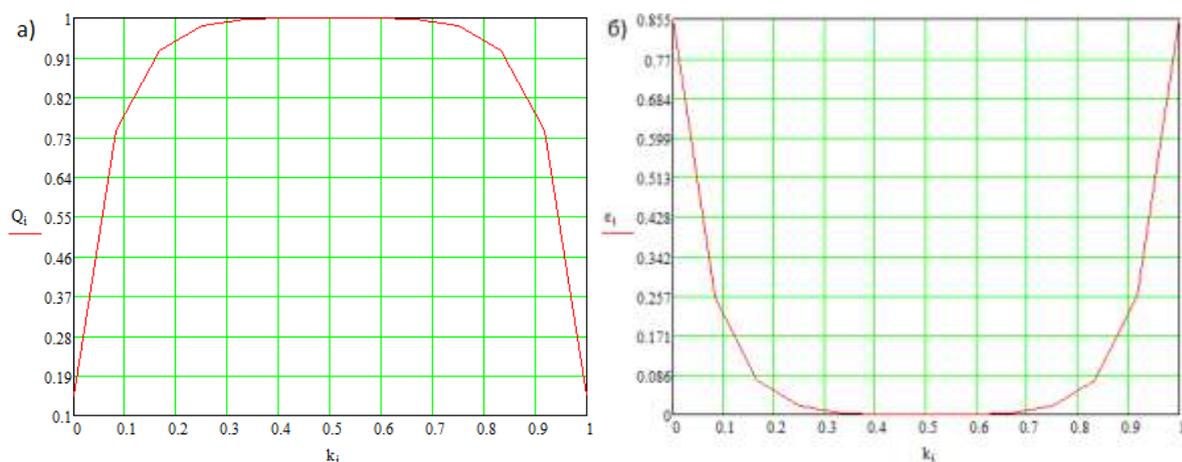


Рис. 3. Оценка CCC по 8 показателям: а) МСК  $Q$  от 8; б) погрешность

Таблица 1

Показатели артериального давления

Пациенты, №	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
САД, мм рт. ст.	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
ДАД, мм рт. ст.	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

Таблица 2

Дифференциальные оценки двух показателей САД

САД, мм рт. ст.	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
$Q$ , %	92,6	94,8	96,7	98,1	99,2	99,8	1	99,8	99,2	98,1	96,7	94,8	92,6
$\varepsilon$ , %	7,4	5,2	3,3	1,9	0,8	0,2	0	0,2	0,8	1,9	3,3	5,2	7,4

Таблица 3

Дифференциальные оценки двух показателей ДАД

ДАД, мм рт. ст.	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
$Q$ , %	81,6	87,2	91,8	95,4	97,9	99,5	1	99,5	97,9	95,4	91,8	87,2	81,6
$\varepsilon$ , %	18,4	12,8	8,2	4,5	2,1	0,5	0	0,5	2,1	4,5	8,2	12,8	18,4

столического артериального давления группы пациентов к оптимальному эквиваленту, представленному средним арифметическим в  $n$ -й степени. Оценки точности  $Q$  и погрешности  $\varepsilon$  при объединении двух показателей приведены в табл. 2–3.

Дифференциальные оценки  $Q$  показывают достоверность измерений по отношению к эквиваленту. Действительные показатели САД и ДАД нормированы значениями, соответственно, 110 и 70 мм рт. ст., что доказывает максимальная единичная точность при нулевой погрешности.

Кроме того, приведенные табл. 1–3 показывают, что при объединении двух показателей наблюдается искомая симметричность в отношении здоровых людей: интервал, соответствующий середине нормы диагностических показателей, т. е. наиболее благоприятное значение показателя гемодинамики, находится в середине диапа-

зона и соответствует 100 % точности. Справа и слева от него располагаются пациенты со значениями показателей, отклоняющимися от нормы, т. е. это диапазоны риска.

Докажем возможность интегральной оценки  $Q$  в зависимости от числа показателей. Табл. 4 систематизирует интегральные  $Q$  и  $\varepsilon$  при объединении двух показателей САД и ДАД мультипликативной симметричной мерой  $Q$ .

Табл. 2–4 иллюстрируют графики дифференциальных оценок САД (рис. 4а) и ДАД (рис. 4б) и вместе с ними интегральной оценки (рис. 5).

Анализ графиков (рис. 4–5) показывает, что при увеличении показателей разброс увеличивается, а обобщенный показатель расширяется по отношению к каждому в отдельности [4].

Таблица 4

## Интегральные оценки ДАД и САД

Пациенты, №	$Q, \%$	$\varepsilon, \%$
1	99,36	0,64
2	99,83	0,17
3	99,93	0,07
4	99,98	0,02
5	99,996	0,004
6	99,999	0,001
7	1	0
8	99,999	0,001
9	99,996	0,004
10	99,98	0,02
11	99,93	0,07
12	99,83	0,17
13	99,36	0,64

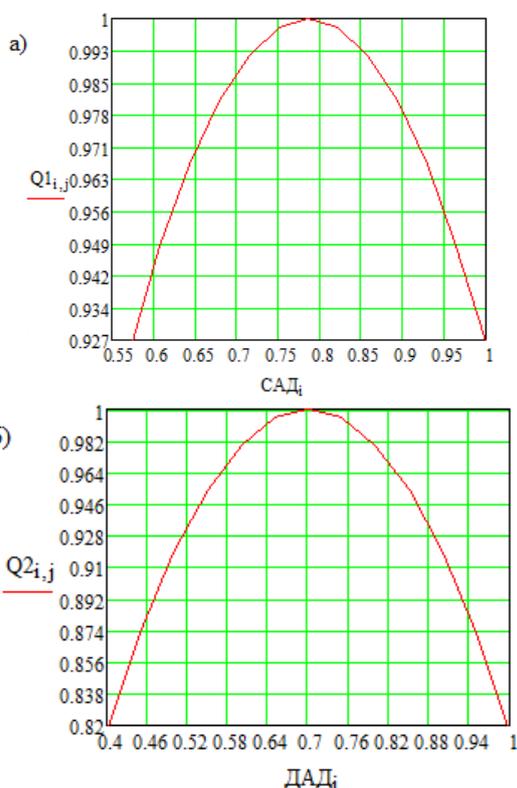


Рис. 4. Графики дифференциальных оценок САД и ДАД

## ВЫВОДЫ

1. При увеличении числа показателей разброс увеличивается (обобщенный показатель расширяется по отношению к дифференциальному).

Сулова Юлия Владимировна, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант по направлению подготовки «Биотехнические системы и технологии», кафедра биомедицинской техники, e-mail: porova21.04@mail.ru

Швырева Ксения Евгеньевна, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант по направлению подготовки «Биотехнические системы и технологии», кафедра биомедицинской техники, e-mail: aksyutka.shvyreva@mail.ru

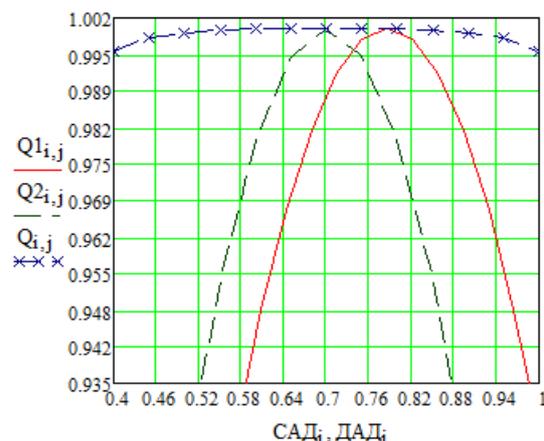


Рис. 5. Дифференциальные оценки САД и ДАД с их общим решением

2. С увеличением числа показателей погрешность уменьшается.

3. Мультипликативная симметричная мера  $Q$  зависит от нормировки диапазона, а именно:

- дифференциальные и интегральные оценки мультипликативно симметричной меры показывают достоверность измерений по отношению к эквиваленту. Действительные показатели САД и ДАД нормированы значениями соответственно 110 и 70 мм рт. ст., что доказывает максимальная единичная точность при нулевой погрешности;

- при увеличении числа показателей разброс увеличивается, а обобщенный показатель расширяется по отношению к каждому в отдельности, т. е. чем больше оценивать параметров, тем шире диапазон;

- при смещении диапазона измерений в среднюю область – точность оценки увеличивается, а погрешность снижается;

- при сдвиге диапазона к границам измерения – точность уменьшается, а погрешность растет.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попова Ю.В., Швырева К.Е., Леонтьев Е.А. Разработка метода диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы // Сборник трудов 27 Междунар. науч. конф. Тамбов: ТГУ, 2014. Т. 6. С. 155-157.
2. Чичёв С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий. М.: Спектр, 2014. 228 с.
3. Глинкин Е.И. Оптимальные меры оценки эффективности // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2014. Т. 19. Вып. 6. С. 1863-1869.
4. Швырева К.Е., Сулова Ю.В., Сюксина Т.С., Глинкин Е.И. Оценка артериального давления по оптимальному критерию // Актуальные вопросы биомедицинской инженерии: сб. материалов 5 Всерос. науч. конф. М.: Прондо, 2015. С. 210-214.

Поступила в редакцию 25 ноября 2016 г.

Глинкин Евгений Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры биомедицинской техники, заслуженный изобретатель Российской Федерации, e-mail: glinkinei@rambler.ru

UDC 616.1

DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-1-116-120

## PERFORMANCE EVALUATION OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM ON THE OPTIMAL CRITERION

© Y.V. Suslova, K.E. Shvyreva, E.I. Glinkin

Tambov State Technical University

106 Sovetskaya St., Tambov, Russian Federation, 392000

E-mail: glinkinei@rambler.ru

An objective assessment of hemodynamic parameters due to the application of the optimal criterion for evaluation of the cardiovascular system is presented.

*Key words:* cardiovascular system; multiplicative symmetric measure; optimum criterion; evaluation indicators; precision

### REFERENCES

1. Popova Yu.V., Shvyreva K.E., Leont'ev E.A. Razrabotka metoda diagnostiki zabolevaniy serdechno-sosudistoy sistemy [Development of diagnostic method of cardio-vascular system diseases]. *Sbornik trudov 27 Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [A Collection of Works of 27 International Scientific Practical Conference]. Tambov, Tambov State Technical University Publ., 2014, vol. 6. pp. 155-157. (In Russian).
2. Chichev S.I., Kalinin V.F., Glinkin E.I. *Metodologiya proektirovaniya tsifrovoy podstantsii v formate novykh tekhnologiy* [Methods of Projecting Digital Electric Substation in the Form of New Technologies]. Moscow, Spektr Publ., 2014, 228 p. (In Russian).
3. Glinkin E.I. Optimal'nye mery otsenki effektivnosti [Optimal measures of efficiency assessment]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Transactions of the Tambov State Technical University*, 2014, vol. 19, no. 6, pp. 1863-1869. (In Russian).
4. Shvyreva K.E., Suslova Yu.V., Syuksina T.S., Glinkin E.I. Otsenka arterial'nogo davleniya po optimal'nomu kriteriyu [Arterial tension estimation according to definitive criteria]. *Sbornik materialov 5 Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii «Aktual'nye voprosy biomeditsinskoy inzhenerii»* [A Collection of Materials of 5 All-Russian Scientific Conference “Relevant Issues of Biomedical Engineering”]. Moscow, Prondo Publ., 2015, pp. 210-214. (In Russian).

Received 25 November 2016

Suslova Yuliya Vladimirovna, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Master's Degree Student on Training Direction “Biotechnical Systems and Technologies”, Biomedical Technics Department, e-mail: popova21.04@mail.ru

Shvyreva Kseniya Evgenevna, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Master's Degree Student on Training Direction “Biotechnical Systems and Technologies”, Biomedical Technics Department, e-mail: aksyutka.shvyreva@mail.ru

Glinkin Evgeniy Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Professor of Biomedical Technics Department, Honored Inventor of Russian Federation, e-mail: glinkinei@rambler.ru

### Информация для цитирования:

Сулова Ю.В., Швырева К.Е., Глинкин Е.И. Оценка показателей сердечно-сосудистой системы по оптимальному критерию // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2017. Т. 22. Вып. 1. С. 116-120. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-1-116-120

Suslova Y.V., Shvyreva K.E., Glinkin E.I. Otsenka pokazateley serdechno-sosudistoy sistemy po optimal'nomu kriteriyu [Performance evaluation of the cardiovascular system on the optimal criterion]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2017, vol. 22, no. 1, pp. 116-120. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-1-116-120 (In Russian).