

УДК 534.632:612.172.2

DOI 10.34822/1999-7604-2020-3-34-45

ИЗМЕРЕНИЕ И СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПУЛЬСА

А. И. Дёмко [✉], Е. Г. Алмазова, О. Ю. Семенов

Сургутский государственный университет, Сургут, Россия,

[✉]E-mail: dai321@mail.ru

Представлен анализ параметров пульса в кардиоинтервалографии и приведено обоснование расчетов дополнительных параметров, обладающих хорошей информативностью при возможности оперативного измерения с высокой точностью. Используются понятия и характеристики теории вероятностей и математической статистики для оценки погрешности расчетов при ограниченном времени измерений. Рассмотрен алгоритм измерения параметров пульса. Предлагаемый расчет параметров временных интервалов пульса может быть использован в клинических условиях и спорте.

Ключевые слова: пульс, частота сердечных сокращений, измерение временных интервалов, статистические параметры пульса.

MEASUREMENT AND STATISTICAL PROCESSING OF PULSE TIME PARAMETERS

A. I. Dyomko [✉], E. G. Almazova, O. Yu. Semenov

Surgut State University, Surgut, Russia

[✉]E-mail: dai321@mail.ru

The article presents the analysis of the pulse parameters used in cardiointervalography and justification of calculations for additional parameters, which have good informational value and are available for high-precision measurement. The concepts and characteristics of probability theory and mathematical statistics are used for the estimation of calculating errors in restricted measurement time. An algorithm for measuring pulse parameters is considered. The introduced calculation of time parameters for the pulse can be used in sports and clinical conditions.

Keywords: pulse, heart rate, time intervals measurement, statistical parameters of the pulse.

Пульс является важным интегральным показателем состояния организма. Врачи называют пульс зеркалом функционирования сердечно-сосудистой системы. По его параметрам можно обнаружить проблемы с сердцем независимо от того, учащается он или, наоборот, становится медленнее.

Пульс (*лат. pulsus* – удар, толчок) – толчкообразные колебания стенок артерий, связанные с сердечными циклами. Частота сердечных сокращений (ЧСС) – это количество ударов сердца в минуту. В некоторых случаях ЧСС и пульс совпадают, поэтому эти термины могут употребляться как синонимы. Ритмичность сердцебиения – показатель, характеризующий временные интервалы между сердечными циклами. На вдохе ЧСС увеличивается, поэтому временные интервалы между сердечными сокращениями становятся меньше. На выдохе ЧСС уменьшается, поэтому время от одного удара сердца до другого больше по сравнению с вдохом. Аритмией называется нарушение сердечного ритма. Нарушение сердечного ритма, связанное с дыханием, называется синусовой дыхательной аритмией. Синусовая дыхательная аритмия считается физиологической нормой, если отклонения между временными промежутками на вдохе/выдохе не превышают 10 % [1].

Термины «частота пульса» и «частота сердечных сокращений», используемые в медицине, не совсем корректны, по нашему мнению, в части использования понятия «частота», которое применимо только к периодическим процессам.

Частотой называют физическую величину, характеризующую периодический процесс [2]. Частота равна числу повторений или реализации событий за единицу времени. Частота рассчитывается как отношение количества повторений или возникновения событий к промежутку времени, за которое они совершены.

Поскольку пульс является сложным квазипериодическим процессом, для его корректной характеристики следует использовать не только частотные, но и временные параметры. При этом можно показать, что временные параметры пульса более оперативно измеряемы, более точны (могут быть измерены с меньшей погрешностью) и обладают высокой информативностью [3–4].

В большинстве случаев под пульсом понимают число сердцебиений Π (целое число) за шестьдесят секунд (одну минуту). Подсчитанное значение пульса зависит от алгоритма расчета. При субъективном измерении (субъект – медицинский работник) алгоритм измерения пульса состоит в пальпации (пальцевом прижатии) артерий за время 60, 30, 15 или 10 с:

$$\Pi = \Pi_{60}, \quad (1)$$

где Π_{60} – число зарегистрированных толчкообразных колебаний стенок артерий (сердцебиений) за 60 с (целое число);

$$\Pi = 2 \cdot \Pi_{30}, \quad (2)$$

Π_{30} – число зарегистрированных сердцебиений (целое число) за 30 с;

$$\Pi = 4 \cdot \Pi_{15}, \quad (3)$$

Π_{15} – число зарегистрированных сердцебиений (целое число) за 15 с (используется при практических измерениях и в некоторых пульсомерах);

$$\Pi = 6 \cdot \Pi_{10}, \quad (4)$$

Π_{10} – число сердцебиений (целое число) за 10 с (используется при практических измерениях и в некоторых пульсомерах).

За одну минуту может проводиться M измерений пульса длительностью измерения $T_{изм}$ каждое:

$$(5)$$

$$M = \frac{60}{T_{изм}},$$

где $T_{изм}$ – время (мерный интервал), за которое подсчитывается число сердцебиений.

Приведенные формулы могут быть обобщены для произвольного временного интервала подсчета числа сердечных сокращений в виде:

$$\Pi = M \cdot \Pi_T \quad (6)$$

где Π_T – подсчитанное (целое) число сердцебиений за время $T_{изм}$.

Рассмотренные субъективные способы имеют ограниченную оперативность и удовлетворительную точность. Погрешность измерения пульса зависит от величины и погрешности измерения мерного интервала $T_{изм}$, а также истинной величины пульса.

В общем случае погрешность измерения пульса обратно пропорциональна величине мерного интервала.

Считая сердечные интервалы (временные интервалы между R зубцами ЭКГ, или R - R интервалы) случайным процессом, случайная величина «вычисленное значение пульса за 60 секунд» является суммой случайных величин «измеренное число сердечных сокращений на первом интервале измерений» + «измеренное число сердечных сокращений на втором интервале измерений» + и так далее.

Практически измерение производится только на первом интервале (величиной 30, 15 или 10 с), а далее по умолчанию предполагается, что на других интервалах значение остается таким же, поэтому дисперсия результирующего расчета пульса возрастает (в простейшем случае для независимых случайных величин будет равна сумме дисперсий, а ошибка пропорциональна корню квадратному из суммы дисперсий, иначе следует учитывать корреляцию).

Ошибка субъективного измерения пульса ΔP состоит в пропуске импульсов сердцебиения (чаще всего последнего, приходящегося на границу или выходящего за границу временного интервала измерения $T_{изм}$) и не учитывает погрешность измерения временного интервала:

$$\Delta P = \sqrt{M} \cdot \frac{M}{P} = \sqrt{\frac{60}{T_{изм}}} \cdot \left(\frac{60}{T_{изм}} \right) \cdot \frac{1}{P} = \left(\frac{60}{T_{изм}} \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{1}{P}. \quad (7)$$

Если вычисленное значение пульса составляет 60, истинные значения могут быть разными в зависимости от времени измерения $T_{изм}$:

- а) 60 или 61 (одно значение пропущено на интервале 60 с) при измерении пульса за 60 с;
- б) 60, 61 или 62 (одно значение пропущено на интервале 30 с) при измерении пульса за 30 с;
- в) 60, 61, 62, 63 или 64 (одно значение пропущено на интервале 15 с) при измерении пульса за 15 с;
- г) 60, 61, 62, 63, 64, 65 или 66 (одно значение пропущено на интервале 10 с) при измерении пульса за 10 с.

Реальные ошибки измерения пульса будут больше вычисленных из-за добавления ошибок фиксации временного интервала, в течение которого выполняются измерения.

При аппаратном измерении (электрокардиографом, тонометром, пульсомером и др.) возможны два варианта измерения пульса:

1. Аналогичный субъективному и состоящему в подсчете числа сердцебиений или связанных с ним электрических, оптических, механических или акустических сигналов за определенный интервал времени и пересчет на минутный интервал (6).

2. Расчет временных интервалов между сердцебиениями (или связанных с ними сигналами) и пересчет их в пульс:

$$P = 60 / T_{пульс}, \quad (8)$$

где $T_{пульс}$ – период (или однократное значение) следования временных интервалов между сердцебиениями (в секундах).

Вычисленное значение пульса (8) может иметь вид десятичной дроби (например, пульс равен 63,87), приведение которой к привычному виду производится округлением (для приведенного примера округленный пульс равен 64) или отбрасыванием (усечением) значений после запятой (для приведенного примера усеченный пульс равен 63).

При рассмотрении пульса как случайного процесса для его описания [5] могут использоваться:

- функция распределения вероятностей (интегральная функция распределения вероятностей);
- плотность распределения вероятностей;
- корреляционная функция;
- спектральная плотность мощности;

- числовые характеристики (начальные и центральные моменты).

Однако использование в полных способах статистического описания пульса ограничивается отсутствием достаточных медицинских исследований на стыке статистики и кардиоинтервалографии. Максимальное использование статистических параметров пульса, возможно, позволит выявить более глубокую качественную и количественную связь пульса с состоянием как организма в целом, так и его отдельных систем.

В медицине используются следующие [6–7] характеристики пульса:

1. R_{RNNk} , или N_{Nk} – текущее значение (в k -м временном интервале) R - R интервала (временные интервалы между R зубцами ЭКГ), измеряется в единицах времени (мс).

2. $ЧСС$, или H_R – частота сердечных сокращений, определяется как количество R - R интервалов в записи, деленное на продолжительность их записи, измеряется в числе событий за минуту (мин^{-1}):

$$H_R = 60 \cdot \frac{1000 \cdot N}{\sum_{k=1}^N N_{Nk}}, \quad (9)$$

где N – число сердечных сокращений, участвовавших в измерениях.

3. R_{RNN} – математическое ожидание (первый начальный момент, или средний интервал между желудочковыми комплексами R - R), измеряется в единицах времени (мс):

$$R_{RNN} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=1}^N N_{Nk}. \quad (10)$$

4. D_{NN} – дисперсия интервалов между желудочковыми комплексами R - R , приравнивается к своему выборочному (эмпирическому) значению, измеряется в квадратичных единицах времени (мс^2) и рассчитывается по формуле:

$$D_{NN} = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{k=1}^N (N_{Nk} - R_{RNN})^2. \quad (11)$$

5. S_{DNN} – среднее квадратическое отклонение, определяется как корень квадратный из дисперсии, измеряется в единицах времени (мс):

$$S_{DNN} = \sqrt{D_{NN}}. \quad (12)$$

6. C_V – коэффициент вариации, представляет собой нормированное среднее квадратическое отклонение и рассчитывается как отношение среднее квадратического отклонения к математическому ожиданию, измеряется в процентах (%):

$$C_V = \frac{S_{DNN}}{R_{RNN}} \cdot 100 \%. \quad (13)$$

7. R_{MSSD} – среднее квадратическая разностная характеристика (root mean sum successful devitlon), измеряется в единицах времени (мс) и рассчитывается по формуле:

$$R_{MSSD} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{k=1}^{N-1} (N_{Nk} - N_{N_{k+1}})^2}. \quad (14)$$

8. P_{NN50} – процентное отношение R - R интервалов, разностные характеристики которых $(N_{Nk} - N_{N_{k+1}}) > 50$ мс, к общему количеству R - R интервалов, измеряется в процентах (%).

Считаем целесообразным введение дополнительных параметров, характеризующих динамические временные свойства пульса, что может быть критерием степени расслабления организма, критерием напряженности нагрузки или критерием его пограничного состояния:

1. N_d – динамический коэффициент, определяющий число временных интервалов, включая текущий, в которых значения N_{N_k} изменялись (возрастали или уменьшались) в одном направлении (положительный – при увеличении значений N_{N_k} , отрицательный – при их уменьшении). В привычной трактовке это число тактов сердцебиения, в которых пульс увеличивался (уменьшался) (вариант: в течение трех последних тактов сердцебиения пульс возрастал; вариант привычного представления: в течение 3,5 последних секунд пульс возрастал).

2. D_{N_k} (мс) – мгновенный динамический коэффициент, определяемый как приращение текущего (k -го) временного интервала по отношению к предыдущему ($k-1$)-му (положительный – при увеличении значений N_{N_k} , отрицательный – при их уменьшении):

$$D_{N_k} = (N_{N_k} - N_{N_{k-1}}). \quad (15)$$

Вариант: в последнем такте сердцебиения временной интервал между импульсами сердцебиения возрос на 12 мс. В привычной трактовке это степень изменения частоты пульса в последнем такте сердцебиения (вариант: в последнем такте сердцебиения частота пульса возросла на 3 удара в минуту).

3. $\overline{D_N}$ (%) – относительный динамический коэффициент, определяемый как приращение текущего (k -го) временного интервала по отношению к предыдущему ($k-1$)-му (положительный – при увеличении значений N_{N_k} , отрицательный – при их уменьшении), нормированное к величине текущего временного интервала N_{N_k} :

$$\overline{D_N} = \frac{D_{N_k}}{N_{N_k}} \cdot 100 \%. \quad (16)$$

В привычной трактовке это относительная степень изменения пульса в последнем такте сердцебиения (вариант: в последнем такте сердцебиения пульс возрос на 7 % от предыдущего значения).

4. D_{NM} (мс) – усредненный динамический коэффициент, определяемый как среднее значение M соседних приращений одинакового знака (положительный – при увеличении значений N_{N_k} , и отрицательный – при их уменьшении):

$$D_{NM} = \frac{1}{M} \cdot \sum_{k=1}^M (N_{N_k} - N_{N_{k-1}}). \quad (17)$$

D_{NM} , в отличие от R_{MSSD} , имеет знак, показывающий направление изменения (в меньшую или большую сторону от предыдущего значения), кроме того, он характеризует только однонаправленные изменения. В привычной трактовке это средняя величина изменения пульса в последних тактах сердцебиений, где ее изменения происходили в одном направлении (вариант 1: в последние 3 такта сердцебиения пульс уменьшался на один удар в минуту за каждый такт; вариант 2: в последние 3 такта сердцебиения пульс уменьшался на один удар в минуту за каждую секунду; вариант 3: в последние 3 секунды пульс уменьшался на один удар в минуту за каждую секунду) [8–9].

5. $\overline{D_{NM}}$ (%) – относительный усредненный динамический коэффициент, определяемый как отношение усредненного динамического коэффициента к среднему значению временного интервала (положительный – при увеличении значений N_{N_k} , отрицательный – при их уменьшении):

$$\overline{D_{NM}} = \frac{D_{NM}}{\frac{1}{M} \cdot \left(\sum_{k=1}^M (N_{N_k}) \right)} \cdot 100 \% . \quad (18)$$

В привычной трактовке это средняя относительная величина изменения пульса в последних тактах сердцебиений, где ее изменения происходили в одном направлении (вариант 1: в последние 3 такта сердцебиения пульс уменьшался на 3 % за один такт; вариант 2: в последние 3 такта сердцебиения пульс уменьшался на 2 % за одну секунду; вариант 3: в последние 3 секунды пульс уменьшался на 4 % за одну секунду).

6. Π_t – мгновенный пульс, определенный в текущий момент времени (может быть нецелым числом):

$$\Pi_t = 60 \cdot \frac{1000}{N_{N_k}} . \quad (19)$$

Общепринятое значение пульса может быть получено выделением целой $E[x]$ части числа:

$$\Pi = E[\Pi_t] = E \left[\frac{6 \cdot 10^4}{N_{N_k}} \right] . \quad (20)$$

7. Π_{cp} – средний пульс, определенный за несколько (N) тактов сердцебиений (может быть нецелым числом):

$$\Pi_{cp} = 60 \cdot \frac{1000 \cdot N}{\sum_{k=1}^N N_{N_k}} = \frac{6 \cdot 10^4}{\sum_{k=1}^N N_{N_k}} . \quad (21)$$

Общепринятое значение пульса может быть получено выделением целой $E[x]$ части числа:

$$\Pi = E[\Pi_{cp}] = E \left[\frac{6 \cdot 10^4 \cdot N}{\sum_{k=1}^N N_{N_k}} \right] . \quad (22)$$

Используя максимальную $R_{RNN \max}$, среднюю R_{RNN} и минимальную $R_{RNN \min}$ величины сердечного интервала, по аналогии с (19), можно вычислить минимальный, средний и максимальный мгновенный пульс:

$$\Pi_{\min} = 60 \cdot \frac{1000}{R_{RNN \max}} , \quad (23)$$

$$\Pi_{cp} = 60 \cdot \frac{1000}{R_{RNN}} , \quad (24)$$

$$\Pi_{\max} = 60 \cdot \frac{1000}{R_{RNN \min}} . \quad (25)$$

Разность между максимальным $\Pi_{\max}$ и минимальным $\Pi_{\min}$ значениями характеризует аритмию пульса $\Delta \Pi_{\text{аритм}}$:

$$\Delta P_{\text{аритм}} = P_{\text{макс}} - P_{\text{мин}}, \quad (26)$$

а отношение аритмии пульса $\Delta P_{\text{аритм}}$ к среднему значению $P_{\text{ср}}$ характеризует относительную (нормированную) аритмию пульса $\overline{\Delta P_{\text{аритм}}}$ (%):

$$\overline{\Delta P_{\text{аритм}}} = \frac{\Delta P_{\text{аритм}}}{P_{\text{ср}}} \cdot 100 \%. \quad (27)$$

На рисунке 1 в качестве примера представлены пульсограммы мужчины.

Для вычисления пульса необходимо измерить временные интервалы между сердечными сокращениями, что может быть реализовано следующими способами:

1. Фиксированием местоположения максимумов и измерением временных интервалов между соседними максимумами.
2. Вычислением корреляционных функций и определением по ним временных интервалов.
3. Преобразованием пульсограммы в последовательность прямоугольных импульсов и определением по ним параметров пульса.

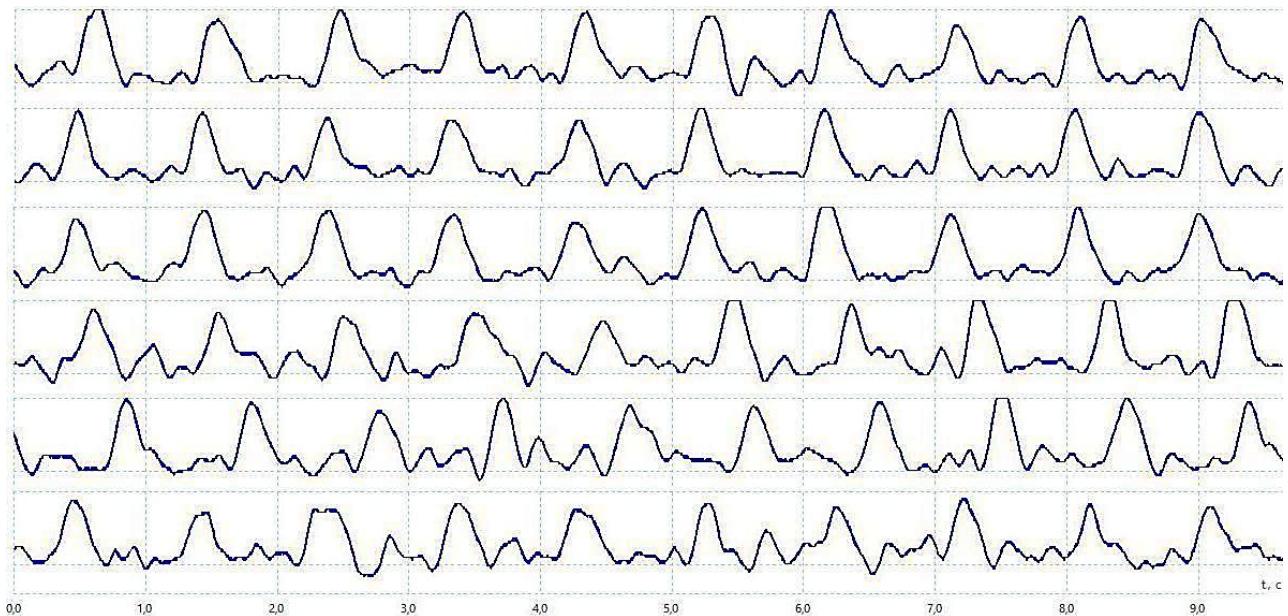


Рис. 1. Пульсограммы
Примечание: составлено авторами.

На рисунке 2 представлено преобразование пульсограммы для получения измерительных импульсов в соответствии с приведенным выше последним способом.

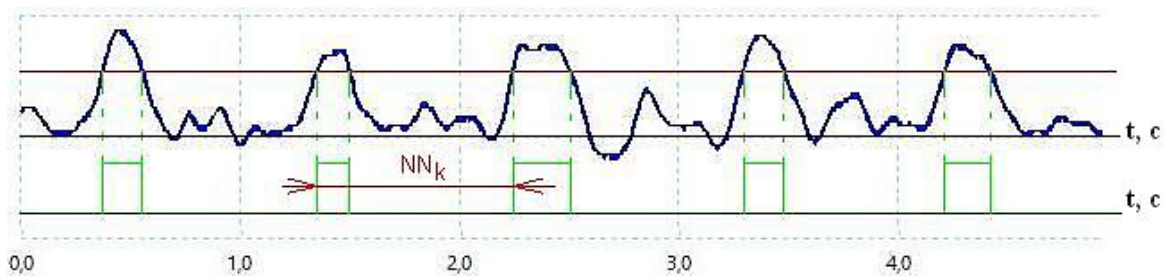


Рис. 2. Пульсограмма и измерительные импульсы
Примечание: составлено авторами.

Ошибка измерения пульса характеризуется среднеквадратическим значением временных R-R интервалов [6]:

$$\sigma_{\tau} = \frac{\kappa}{qF_{эфф}} = \frac{\kappa T_{эфф}}{q} = \frac{\kappa}{q\sqrt{R_{\tau}^{//}}}, \quad (28)$$

где q – отношение сигнал/шум;

$F_{эфф}$ – эффективная ширина спектра сигнала;

$T_{эфф}$ – эффективная длительность сигнала ($F_{эфф} = 1/T_{эфф}$);

$R_{\tau}^{//}$ – вторая производная нулевого сечения функции неопределенности сигнала (вторая производная корреляционной функции).

Следовательно, при зафиксированном отношении сигнал/шум (величине мешающих сигналов) минимальная погрешность измерения временного интервала будет в случае:

- если сигнальная функция (пульсограмма или электрокардиограмма) будет иметь минимально короткие импульсы (по сравнению с расстоянием между импульсами);
- если сигнальная функция (импульсы пульсограммы или электрокардиограммы) имеет максимальную скорость изменения (максимальную производную от сигнальной функции) функции (наилучший результат, когда вид функции в точке измерения близок к вертикальной линии, наихудший – к горизонтальной) в точках, которые используются для измерения временного интервала [10–12].

На рисунке 3 представлен алгоритм измерения пульса в соответствии с третьим способом измерения временных интервалов между сердечными сокращениями.



Рис. 3. Алгоритм измерения пульса

Примечание: составлено авторами.

Из пульсограммы формируются прямоугольные импульсы по превышению мгновенных значений порогового уровня. Расстояния между передними фронтами прямоугольных импульсов измеряются цифровым образом путем измерения числа счетных импульсов, попадающих в измеряемый интервал N_{Nk} . Измеренные значения временных интервалов N_{Nk} используются для расчета мгновенных (мгновенного пульса P_t , мгновенного динамического коэффициента D_{Nk} , относительного динамического коэффициента $\overline{D_N}$) и усредненных (аритмии $\Delta P_{аритм}$, динамического коэффициента N_d , усредненного динамического коэффициента D_{NM} , относительного усредненного динамического коэффициента $\overline{D_{NM}}$, среднего пульса P_{cp}) параметров пульса [13–15].

Полученные значения отображаются на индикаторе, кроме того, выдается тревожная сигнализация (звуковая и/или световая) и передаются данные по радиоканалу на пункт сбора и архивации.

Результаты обработки одной из пульсограмм сведены в таблицу.

Таблица

Временные интервалы пульса

Номер интервала	N_{Nk} , мс	D_{Nk} , мс	$\overline{D_N}$, %	P_t , мин ⁻¹
1	955			62,82
2	971	16	1,66	61,79
3	935	-36	-3,75	64,17
4	920	-15	-1,56	65,21
5	955	35	3,64	62,82
6	952	-3	-0,31	63,02
7	975	23	2,39	61,53
8	935	-40	-4,16	64,17
9	978	43	4,48	61,34
10	984	6	0,62	60,97
11	981	-3	-0,31	61,16
12	962	-19	-1,97	62,37
13	961	-1	-0,10	62,43
14	973	12	1,25	61,66

Примечание: составлено авторами.

Обработка показателей таблицы дает максимальное значение временного интервала между сердцебиениями в 10-м интервале – $R_{RNNmax} = 984$ мс, минимальное значение в 4-м интервале – $R_{RNNmin} = 920$ мс, среднее значение – $R_{RNN} = 959,78$ мс. Максимальное значение пульса – $P_{max} = 65,21$ мин⁻¹, минимальное значение пульса – $P_{min} = 60,97$ мин⁻¹, среднее значение пульса – $P_{cp} = 62,51$ мин⁻¹, аритмия – $\Delta P_{аритм} = 4,24$ мин⁻¹, нормированная аритмия – 6,78 %.

На рисунках 4–6 приведены результаты обработки пульсограммы из таблицы.

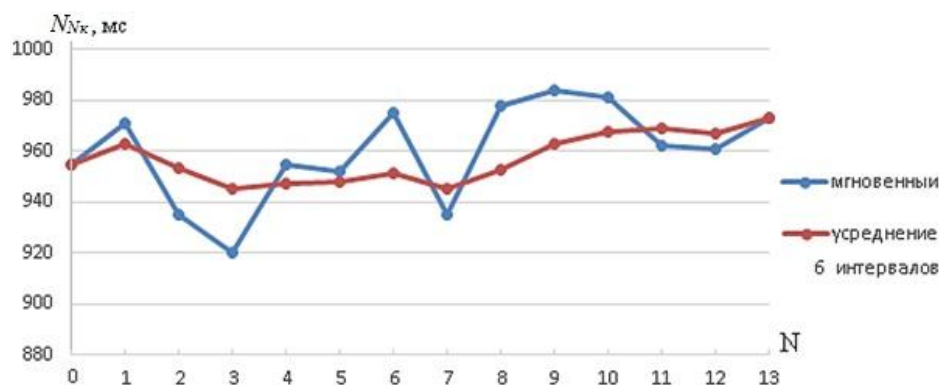


Рис. 4. Пульсограммы мгновенные и усредненные за шесть интервалов

Примечание: составлено авторами.



Рис. 5. Разброс временных интервалов пульсограммы

Примечание: составлено авторами.

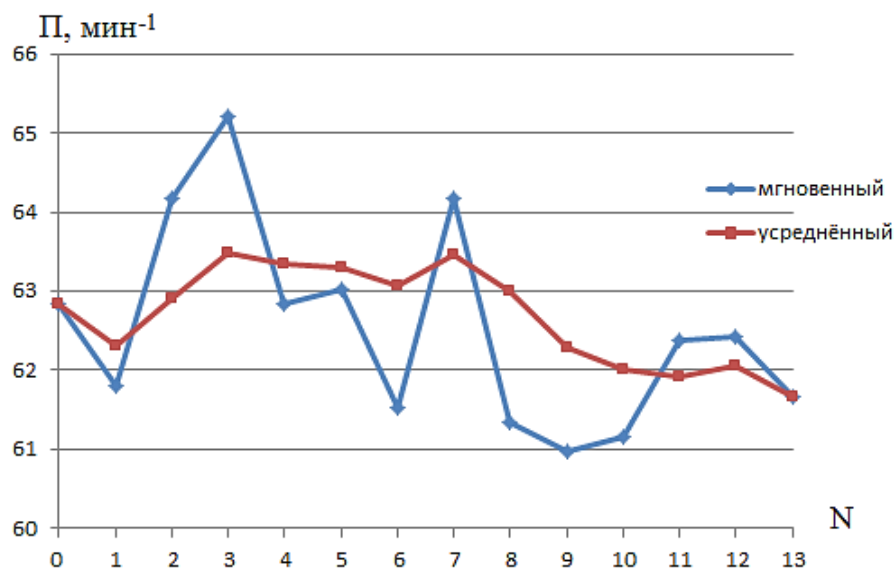


Рис. 6. Пульс мгновенный и усредненный за шесть интервалов

Примечание: составлено авторами.

Отсюда следует способ расчета временных параметров пульса: любым образом (электрическим, оптическим, механическим, акустическим и т. п.) полученные импульсные сигналы, связанные с сердцебиением, преобразуются пороговым устройством в прямоугольные импульсы, временные параметры которых измеряются (и рассчитываются) любым способом (аппаратным, математическим, субъективным).

На рисунке 7 приведена структурная схема пульсомера, работающего в соответствии с рассмотренным алгоритмом.

Пульсомер производит измерение временных интервалов между фронтами (началами) соседних одноименных сердечных импульсов. Расчет всех необходимых параметров пульса (включая рассматриваемые в данной статье) производится на основе ряда вычисленных величин N_{Nk} .

Могут использоваться различные типы [16–17] сенсоров, воспринимающих сердечные сокращения, поэтому пульсомер может быть закреплен для контакта на руке, груди или другой части тела пациента (спортсмена). Беспроводной модуль связи передает измеренные

значения на компьютер или телефон. Звук зуммера предупреждает о выходе параметров пульса за пределы выставленных границ.

В качестве параметра может использоваться минимальное (максимальное) значение пульса или превышение скорости нарастания (спада) пульса допустимых значений (или любые другие параметры) для контроля состояния пациентов или спортсменов на тренировках.

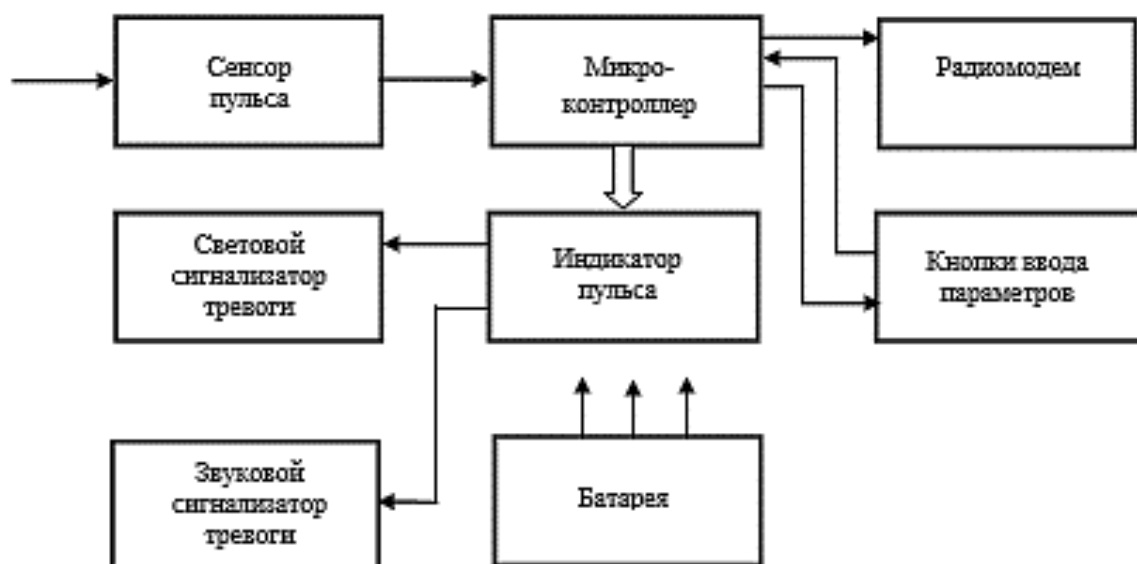


Рис. 7. Пульсомер

Примечание: составлено авторами.

Погрешность измерения временного интервала для такого пульсомера определяется частотой следования импульсов генератора импульсов и может быть практически любой желаемой величины (допустим 0,1 %), что во много раз меньше погрешности измерения пульса традиционными методами.

Выводы

1. Применение предложенных параметров повышает оперативность, точность и информативность измерения пульса.
2. Предлагаемым методом за время 60/П могут быть вычислены пульс, аритмия и динамические коэффициенты: пульс вычисляется при среднем значении пульса 40 ударов в минуту – за 1,5 с, а при среднем значении пульса 90 ударов в минуту – за 0,66 с.
3. Традиционный метод не позволяет вычислить пульс при измерении за 1,5 с.
4. При измерении за 4 с и среднем пульсе 60 ударов в минуту может быть обеспечена погрешность измерения меньше 0,1 %, а при традиционном методе измерения пульс будет вычислен с разбросом 25 % (от 45 до 60 ударов в минуту).
5. Предложенные временные параметры, позволяющие оперативно и точно определять динамические характеристики пульса, можно использовать в спортивных тренажерах и мониторинговых системах в клинической практике для контроля состояния пациентов.
6. Возможность малогабаритной реализации пульсомера и беспроводная передача данных позволят встраивать его в мобильные устройства и даже в одежду.

Литература

1. Чубейко В. О. Ритмичность сердцебиения и пульса – что это такое? URL: <https://pulsnorma.ru/izuchenie-pulsa/ritmichnost-pulsa.html#i> (дата обращения: 22.06.2020).
2. Интерактивный справочник. URL: <https://www.webmath.ru/poleznoe.php> (дата обращения: 22.06.2020).

3. Лаурэ Д. А., Лагутина Н. С., Парамонов И. В. Разработка алгоритма измерения частоты пульса человека с помощью камеры мобильного телефона // Моделирование и анализ информ. систем. 2014. Т. 21, № 4. С. 91–103.
4. Laure D. Heart Rate Measuring Using Mobile Phone's Camera // Proceedings of the 12th Conference of Open Innovations Association Fruct and Seminar on e-Travel. Oulu, Finland, November 5–9, 2012. Saint Petersburg : SUAI, 2012. P. 272–273.
5. Математика. Энциклопедия / под ред. Ю. В. Прохорова. М. : Большая Российская энциклопедия, 2003. 845 с.
6. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем // Вестник аритмологии. 2002. № 2. С. 65–73.
7. Белишева Н. К., Черноус С. А. Диагностика состояния вегетативной нервной системы на основе вариабельности сердечного ритма // Известия ТРТУ. Мед. информ. системы. 2000. № 4 (18). С. 123–125.
8. Гордеев Е. О., Попова М. А., Тюрина И. А., Ефимова Л. П., Коваленко Л. В. Влияние факторов риска на тяжесть течения ишемической болезни сердца в условиях крайнего севера // Вятский мед. вестник. 2005. № 1. С. 36.
9. Шипилова Г. Н., Литовченко О. Г., Алмазова Е. Г. Сравнительный анализ структуры аритмии у подростков городов Сургута и Нижнекамска (Ханты-Мансийский автономный округ – Югра) // Журнал медико-биологических исследований. 2018. Т. 6, № 3. С. 295–301.
10. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М. : Радио и связь. 1985. 384 с.
11. Дёмко А. И., Семенов О. Ю. Корреляционная обработка ультразвуковых сигналов в уровнеметрии // Электронные средства и системы управления : материалы докл. Междунар. науч.-практич. конф. Томск, 2019. Т. 1, № 1-1. С. 31–34.
12. Morris F., Brady W. J., Camm J. ABC of Clinical Electrocardiography. London, England, BMJ Books, 2003. 79 p.
13. Банерджи А. Медицинская статистика понятным языком: вводный курс / под ред. В. П. Леонова. М. : Практическая медицина, 2014. 287 с.
14. Юнкеров В. И., Григорьев С. Е. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований. СПб. : ВМедА, 2002. 266 с.
15. Dyomko A. I., Semenov O. Yu., Churilova I. N. Quasi-Optimal Processing Simulation of Ultrasonic Signals // Journal of Physics: Conference Series. 2020. No. 1488. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1488/1/012004> (дата обращения: 01.09.2020).
16. Андреев А. С. Обзор методов математической обработки электроэнцефалограмм. Аппаратные и программные средства медицинской диагностики и терапии // Известия ЮФУ. Технич. науки. 2000. С. 111–112.
17. Lang T. Basic Statistical Reporting for Articles Published in Clinical Medical Journal: the SAMPL Guidelines / eds. T. Lang, D. Altman, Smart P., Maisonneuve H., Polderman A. Science Editor's Handbook. European Association of Science Editors, 2013. 232 p.