СТАТЬЯ

УДК 612.13

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛЖНОГО ЗНАЧЕНИЯ ИНТЕРВАЛА Q-T,
НЕ ТРЕБУЮЩЕГО ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ КОРРЕКЦИИ ПО ЧСС****Воробьев Л.В.***Лечебно-диагностический центр «Виком-мед», Кременчуг, e-mail: leonid.vorobiov51@gmail.com*

Профилактика сердечно-сосудистой патологии предусматривает в том числе и раннее выявление проявлений нарушения сердечной деятельности на доклиническом этапе. Сердце нагнетает кровь в сосудистую систему через систолу желудочков сердца, отображаемую на ЭКГ интервалом Q-T. Анализ состояния электрической систолы желудочков предусматривает сравнение фактического интервала Q-T с его должным – нормативным значением. Имеющиеся подходы к оценке электрической систолы с помощью формулы Базетта и ее модификаций не обеспечивают должной достоверности получаемых результатов. Достоверная оценка состояния электрической систолы желудочков в условиях постоянно меняющейся ЧСС возможна с использованием показателя физиологической доли интервала Q-T в сердечном цикле, изменяющейся в зависимости от величины ЧСС и не требующей дополнительной коррекции Q-T по ЧСС. Такой подход в определении должного норматива в зависимости от ЧСС позволяет не допускать диагностических ошибок в оценке функционального состояния систолы желудочков сердца, индивидуализировать оценку реакции сердца на нагрузку, опираясь на динамику фактических показателей Q-T конкретного человека, что обеспечивает более точную диагностику состояния систолы желудочков сердца. Использование метода определения должного интервала Q-T на основе физиологического представительства интервала Q-T в сердечном цикле (интервале R-R) позволяет вести достоверный контроль над реакцией сердца, в условиях различных нагрузок на организм, своевременно выявлять и корректировать нарушения физиологии сердечной деятельности, с целью предупреждения развития явной патологии.

Ключевые слова: электрическая систола желудочков, интервал Q-T, должный интервал Q-Td, интервал R-R, физиология сердечных сокращений

**A METHOD FOR DETERMINING THE QUALITY OF THE Q-T INTERVAL
OF A NON-REQUIRING AN ADDITIONAL HEART RATE CORRECTION****Vorobev L.V.***Medical and Diagnostic Center «Vicom-med», Kremenchug, e-mail: leonid.vorobiov51@gmail.com*

Prevention of cardiovascular pathology provides the, and early detection of manifestations, cardiac abnormalities at the preclinical stage. The heart pumps blood into the vascular system through the systole of the ventricles, displayed on ECG interval Q-T. Analysis of the condition of the electrical systole of the ventricles involves comparing the actual interval Q-T due to its normative value. Existing approaches to the assessment of the electrical systole using the formula Bazetta and its modifications is not sufficient to ensure reliability of the results. A reliable assessment of the state of the ventricular electrical systole in a constantly changing heart rate is possible using an indicator of the physiological fraction of the Q-T interval in the heart cycle, which varies depending on the heart rate and does not require additional Q-T correction for heart rate. This approach in determining a proper ratio depending on the heart rate helps to avoid diagnostic errors in the evaluation of functional status of ventricular systole of the heart, to individualize the assessment of the response of the heart to the load, based on the dynamics of the actual performance of the Q-T of a specific person, providing a more accurate diagnosis of ventricular systole of the heart. The use of the method of determining proper Q-T interval based on the physiological representation of the Q-T interval in the cardiac cycle (the R-R interval) enables accurate control of the reaction of the heart, in conditions of different loads on the body to promptly identify and correct physiological disorders of cardiac activity, with the aim of preventing the development of overt pathology.

Keywords: electrical ventricular systole, Q-T interval, proper Q-Td interval, R-R interval, physiology of heart contractions

Сердечно-сосудистая система является важнейшей системой жизнеобеспечения, осуществляющей доставку крови к клеткам организма. Основной ее функцией является осуществление кровотока в организме, где сердце по своей сути является насосом, по перекачке крови, что требует анализа сократительной функции миокарда [1]. Одной из составляющих общую систолу сердца является электрическая систола желудочков, отображаемая на ЭКГ интервалом Q-T [2].

Большая часть жизни человека проходит не в зоне физического покоя (нормокардия), а в зоне активности организма, требующего

увеличения ЧСС и ее контроля с целью не превышать допустимые границы увеличения ЧСС. Поэтому для оценки физиологического состояния сердечной деятельности и реакции сердца на нагрузку необходимо анализировать ее не только в состоянии покоя, но и в состоянии нагрузок [3].

Для анализа электрической систолы желудочков кроме фактических показателей необходимы и должные нормативы на весь диапазон ЧСС, обеспечивающей жизненные потребности организма. Динамика фактического и должного интервала Q-T в здоровом сердце – однонаправлена и количественно равнозначна [4].

Впервые определение норматива должного значения интервала Q-T ввел в практику Базетт, используя коэффициент (K) для интервала Q-T [5]. Однако такой подход оказался корректным только для узкого диапазона ЧСС (60-90).

Использование постоянного коэффициента «K» в условиях брадикардии или тахикардии приводит к избыточному корригированию интервала Q-T [6]. Эта избыточность коррекции Q-T отображена в табл. 1, где должные результаты изменяются больше фактических почти в два раза.

Такие результаты не позволяют достоверно анализировать состояние систолы желудочков за пределами ЧСС покоя. В дальнейшем появились различные предложения по модификации расчетов должного интервала Q-T для коррекции фактического интервала Q-T по ЧСС [7]. Введенные в практику дополнительные формулы расчета должного интервала Q-T скорректированного по ЧСС вступают в противоречие с законами физиологии сердечных сокращений. По мере увеличения ЧСС эти формулы дают увеличение времени должного интервала Q-T вместо его уменьшения согласно физиологии сердечных сокращений, что в конечном счете также не позволяет достоверно анализировать реакцию систолы желудочков в условиях изменяющейся ЧСС. Подтверждением этого противоречия служат результаты определения должного Q-T из одних и тех же фактических величин Q-T по различным формулам, отображенным в табл. 2, где должный интервал Q-T увеличивается по мере увеличения ЧСС.

Выход из этих недочетов по определению должного показателя электрической систолы желудочков (Q-T) при конкретной ЧСС может быть только на основах соблюдения законов физиологии, физиологической доли (Q-T) в конкретном сердечном цикле (R-R) [8].

В свете требований соответствия законам физиологии необходимо напомнить основные из них:

1. Сердце обеспечивает организм должным кровотоком в зависимости от его потребностей. Основным фактором увеличения кровотока является увеличение ЧСС.

2. Увеличение ЧСС возможно только за счет сокращения времени всех элементов сердечного цикла.

3. Динамика фактических и должных (нормативных) величин сердечного цикла при изменении ЧСС в здоровом организме – синхронна и количественно равнозначна.

4. Сердечный цикл состоит из систолы и диастолы сердца. Систола сердца состоит из систолы предсердий и систолы желудочков. Сердечный цикл (R-R) состоит из интервала – (P-Q), интервала – (Q-T), сегмента – (TP), где каждый имеет свое нормативное представление времени в нем. Доля интервала Q-T не является постоянной и меняется в зависимости от изменения ЧСС.

5. Анатомия, функция и задачи, стоящие перед сердцем человека, одинаковы, и являются унифицированными для всей популяции человечества, без привязки к полу, возрасту, расе. Различаются у людей только размеры и возможности сердца к выполнению возложенных на него задач.

Таблица 1

Реакция должных величин интервала Q-Tс при увеличении ЧСС

Показатель (мс)	ЭКГ покоя	ЭКГ нагрузки	Динамика Q-Tв %
R-R	732	476	
ЧСС	82	126	
Фактический интервал Q-T	360	322	-10,6 %
Q-Tc Bazett	316	255	-19,4 %

Таблица 2

Реакция должных величин интервала Q-Tс при увеличении ЧСС

Показатель (мс)	ЭКГ1 покоя	ЭКГ2 нагрузки	Динамика Q-T в %
R-R	732	476	
ЧСС	82	126	
Фактический интервал Q-T	360	322	-10,6 %
Q-Tc Bazett в модификации Taran,Szilagi	421	446	+5,9 %
Q-Tc Framingham, Sagie	401	402	+0,2 %
Q-Tc Frideric	413	474	+14,7 %
Q-Tc Hodges	410	441	+7,5 %

Методом, отвечающим требованиям физиологии сердечных сокращений, является метод оценки доли времени интервала Q-T в сердечном цикле, с учетом ее изменения на единицу изменения ЧСС, дающий в итоге представление о должном показателе интервала Q-T при любом значении конкретной ЧСС.

Целью и задачей данного исследования являлось нахождение и обоснование нового подхода в определении должного интервала Q-T отвечающего всем требованиям физиологии сердечных сокращений при любой ЧСС.

Материалы и методы исследования

Материалом данного исследования явился анализ 2500 электрокардиограмм лиц обоего пола, детского, молодого, среднего и старшего возрастов, в состоянии ЧСС покоя, брадикардии, тахикардии, без явной патологии на ЭКГ с определением доли интервала Q-T в сердечном цикле (интервале R-R) при всех значениях ЧСС.

Результаты исследования и их обсуждение

Сердечный цикл (R-R) состоит из систолы сердца (интервал P-T, состоящий из интервалов P-Q и Q-T) и диастолы (сегмент TP).

В общей структуре сердечного цикла каждый элемент цикла имеет свою долю представления в сердечном цикле, что отображено на рисунке.

Пример сердечного цикла с ЧСС 65 и процентным соотношением элементов цикла ко всему циклу.

1. Интервал P-Q – 160 мс (17,3%).

2. Интервал Q-T – 376 мс (40,6%).

3. Сегмент TP – 362 мс (39,1%). Это соотношение меняется в зависимости от ЧСС

Анализ электрической систолы сердца требует сравнение факта с должным показателем при любой ЧСС, в связи с этим значимым является достоверность получаемого нормативного значения интервала Q-T при любой ЧСС. В норме разность по-

казателей между фактическим и нормативным значением должна составлять менее 5–10%. Превышение факта к должному значению выше 10% трактуется как патология, свидетельствующая о нарушениях процессов реполяризации миокарда левого желудочка.

Предложенная модель расчета должного значения интервала Q-Td исходит из его физиологической доли в интервале R-R в зависимости от ЧСС и не требует дальнейшего его корригирования. Данные процентного соотношения интервала Q-T к требуемой ЧСС позволяют определить время должного интервала Q-Td для любой ЧСС с помощью формулы

$$Q-Td = (R-R * K) / 100,$$

где K – коэффициент, отражающий процент доли интервала – Q-T в интервале – R-R, для конкретной данной ЧСС.

Доля интервала Q-T в сердечном цикле (интервала R-R) не является постоянной величиной и линейно меняется в зависимости от ЧСС, увеличиваясь при увеличении ЧСС и уменьшаясь при уменьшении ЧСС. Процент соотношения интервала Q-T к сердечному циклу R-R в разрезе изменяющейся ЧСС представлен в табл. 3.

Результаты, отображающие долю интервала Q-T в интервале R-R в зависимости от ЧСС, могут быть математически преобразованы в окончательную табл. 4, отображающую уже время определенного должного интервала Q-T в зависимости от ЧСС.

В динамике интервал Q-T имеет линейную зависимость, но с изменением шага линейности по мере уменьшения – исчезновения сегмента TP в интервале R-R [9]. В среднем динамика Q-T на единицу ЧСС составляет 3 мс при ЧСС с 40 до 60, 2 мс при ЧСС с 61 до 80 и 1 мс при ЧСС с 81 до максимальной.

Анализ интервала Q-T в разделении полу и возрасту не выявил гендерной и возрастной зависимости, что подтверждается и в других работах [3]. Различия лежат в пределах статистической погрешности и не требуют отдельной коррекции по полу и возрасту.

Сердце обеспечивает должным кровотоком организм в зависимости от его потребностей, поэтому анализ сердечной деятельности должен проводиться с учетом данных, как ЭКГ покоя (ЭКГ 1), так и ЭКГ нагрузки (ЭКГ 2) и, соответственно, необходимо определять два значения должного интервала Q-T, как в покое (Q-Td1), так и в нагрузке (Q-Td2). Определение должного интервала Q-Td2 после нагрузки может идти двумя способами.

Таблица 3

Таблица процентного соотношения интервала Q-T в интервале R-R в зависимости от ЧСС

ЧСС	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
%Q-T	32,2	32,6	33,0	33,4	33,8	34,2	34,6	35,0	35,4	35,8	36,1
ЧСС	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
%Q-T	36,6	37,0	37,3	37,8	38,2	38,6	39,0	39,4	39,8	40,2	40,6
ЧСС	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
%Q-T	41,0	41,4	41,8	42,2	42,5	42,9	43,3	43,7	44,1	44,5	44,8
ЧСС	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
%Q-T	45,2	45,6	46,0	46,3	46,7	47,1	47,5	47,8	48,2	48,6	49,0
ЧСС	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
%Q-T	49,4	49,8	50,2	50,6	51,0	51,4	51,7	52,1	52,4	52,8	53,2
ЧСС	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
%Q-T	53,6	53,9	54,4	54,8	55,1	55,5	55,9	56,3	56,6	57,0	57,4
ЧСС	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
%Q-T	57,7	58,0	58,3	58,7	59,0	59,3	59,6	59,9	60,2	60,5	60,8
ЧСС	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131
%Q-T	61,1	61,4	61,7	62,1	62,3	62,6	62,9	63,2	63,5	63,7	64,0
ЧСС	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142
%Q-T	64,3	64,6	64,8	65,1	65,4	65,7	66,0	66,3	66,5	66,7	66,9
ЧСС	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153
%Q-T	67,1	67,4	67,6	67,8	68,1	68,3	68,5	68,7	68,9	69,1	69,3
ЧСС	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164
%Q-T	69,5	69,7	69,9	70,1	70,2	70,4	70,6	70,8	71,0	71,1	71,2
ЧСС	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
%Q-T	71,3	71,4	71,5	71,6	71,8	72,0	72,1	72,3	72,5	72,7	72,9

Таблица 4

Таблица значений должного интервала Q-T в миллисекундах в зависимости от ЧСС

ЧСС	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Q-Tms	438	434	430	426	422	418	415	412	408	405	401
ЧСС	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Q-Tms	399	396	393	391	388	386	383	381	379	377	374
ЧСС	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
Q-Tms	372	370	368	366	364	362	360	359	357	355	353
ЧСС	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
Q-Tms	352	350	349	347	346	344	343	341	340	339	338
ЧСС	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
Q-Tms	337	335	334	333	332	331	330	329	327	326	325
ЧСС	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
Q-Tms	324	323	323	322	321	320	319	318	317	316	315
ЧСС	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
Q-Tms	314	313	312	311	310	309	308	307	306	305	304
ЧСС	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131
Q-Tms	303	302	301	300	299	298	297	296	295	294	293
ЧСС	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142
Q-Tms	292	291	290	289	288	287	286	285	284	283	281
ЧСС	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153
Q-Tms	281	280	279	278	277	276	275	274	273	272	271
ЧСС	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164
Q-Tms	270	269	268	267	266	265	264	263	262	261	260
ЧСС	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
Q-Tms	259	258	257	256	255	254	253	252	251	250	249

Первый основан на использовании табличного коэффициента (К) интервала Q-T из табл. 3, согласно достигнутой ЧСС с использованием формулы

$$Q-Td2 = (R-R2 \cdot K) / 100.$$

В табл. 5 представлен результат определения Q-Td1 и Q-Td2 с помощью коэффициента, используемого из табл. 3.

Таблица 5
Результат определения
должного интервала Q-T по табл. 3

Показатель	ЭКГ 1	ЭКГ 2
ЧСС	79	132
R-R мс.	759	453
Фактический Q-T мс.	357	308
Долж. Q-Td1 и 2 мс. по тб.	349	292

В данном примере фактические интервалы Q-T ЭКГ покоя и нагрузки адекватно совпадают с должными значениями, определенными по данной формуле и без признаков излишней коррекции Q-T при тахикардии.

Второй способ определения должного интервала Q-Td2 нагрузки наиболее точно отображает индивидуальную реакцию сердечной деятельности на нагрузку конкретного человека и используется при адекватной, физиологической динамике интервала Q-T в ответ на нагрузку. В этом случае используется вторая формула определения индивидуального должного интервала Q-Td2 нагрузки, которая выглядит следующим образом:

$$Q-Td2 = Q-Td1 - (Q-T1 - Q-T2),$$

где Q-Td2 – искомый должный интервал Q-T для ЧСС2;

Q-Td1 – должный интервал Q-T для ЧСС1; (Q-T1 – Q-T2) – разница фактических интервалов Q-T между ЧСС1 и ЧСС2.

Результаты определения должного индивидуального значения интервала Q-Td2 по второй формуле представлены в табл. 6.

$$Q-Td2 = 352 - (357 - 308) = 303.$$

Таблица 6
Результат определения должного интервала
Q-T по первой и второй формуле

Показатель	ЭКГ 1	ЭКГ 2
ЧСС	79	132
R-R мс.	759	453
Фактический Q-T мс.	357	308
Должный Q-Td1-2 мс. по тб.	349	292
Должный Q-Td2 мс. по форм.		303

В данном примере фактический интервал Q-T (ЭКГ 2) составляет 101,6% от индивидуального должного интервала Q-T, определенного по формуле $Q-Td2 = Q-Td1 - (Q-T1 - Q-T2)$ и 102,3% определенного по формуле $Q-Td = (R-R \cdot K) / 100$ с помощью табличного коэффициента (К). Определяемый по табличному коэффициенту должный интервал Q-Td2 может отличаться от должного интервала Q-Td2, определяемого второй формуле. Это связано с тем, что в первом способе используется среднестатистический норматив для всех людей, взятый из таблицы.

Второй способ определения должного интервала Q-Td2 базируется на индивидуальной реакции сердца человека на нагрузку, что более точно отображает состояние электрической систолы желудочков сердца конкретного человека. Показатель Q-Td2 рассчитывается по второй формуле при условии, что разница между ЧСС покоя и нагрузки составляет более 20 и показатель времени динамики QT на единицу ЧСС $[(QT1-QT2) / (ЧСС2-ЧСС1)]$ составляет – 0,95–1,73, что отвечает условиям физиологической реакции сердечной деятельности на нагрузку. В случае нефизиологической динамики по количеству и направленности между динамикой фактического интервала Q-T покоя и нагрузки и динамикой ЧСС покоя и нагрузки, а также разнице между ЧСС1 и ЧСС2 менее 20, должный интервал Q-Td2 определяется по первой формуле

$$Q-Td2 = (R-R2 \cdot K) / 100.$$

Выводы

1. Предлагаемое определение должного интервала Q-T опирается на аксиому физиологии сердечных сокращений в виде определенной процентной доли электрической систолы желудочков в сердечном цикле в зависимости от ЧСС и не требует дальнейшей коррекции интервала Q-T по ЧСС.

2. Оценка должного интервала Q-T при анализе нескольких ЭКГ с разными значениями ЧСС может проводиться также с учетом индивидуальной реакции сердца на нагрузку конкретного человека, используя вторую формулу расчета должного интервала Q-T.

3. Использование нового подхода в определении должного интервала Q-T позволяет повысить качество диагностики состояния электрической систолы желудочков сердца, как в состоянии покоя, так и в нагрузке.

Список литературы

1. Малов Ю.С. Удлинение систолы желудочков – признак нарушения сократительной функции миокарда //

Вестник Санкт-Петербургского университета. 2016. № 1. С. 5–7.

2. Вымятина З.К., Семенцов А.С. Физиология сердечно-сосудистой системы: учебно-методическое пособие. Томск, 2016. 60 с.

3. Терегулов Ю.З., Саямова Л.Ф., Максумова Н.В., Гизатуллина А.Ф. Оценка интервала Q-T при проведении пробы с физической нагрузкой // Практическая медицина. 2018. № 1 (112). С. 30–36.

4. Воробьев Л.В. ЭКГ-анализ интервала Q-T с позиции физиологичности сердечных сокращений // Научное обозрение. Медицинские науки. 2019. № 1. С. 10–15.

5. Bazett H.C. An analysis of the time-relations of electrocardiograms. Heart. 1920. V. 7. P. 353–370.

6. Остроумова О.Д. Удлинение интервала Q-T // РМЖ № 18 2001 [Электронный ресурс]. URL: https://www.rmj.ru/articles/kardiologiya/Udlinenie_intervala_QT/#ixzz61r66puRi (дата обращения: 13.11.2019).

7. Горлишев В.П. Метод коррекции электрокардиографического интервала с учетом частоты сердечных сокращений // Проблемы управления. 2016. № 6. С. 65–70.

8. Воробьев Л.В. Современные возможности в ранней диагностике и профилактике нарушений сердечно-сосудистой системы: монография. 2018. С. 68–67.

9. Арсентьева Р.Х. Синдром удлиненного интервала Q-T // Вестник современной клинической медицины. 2012. Т. 5. № 3. С. 69–70.