

СТАТЬЯ

УДК 612.13

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ СЕГМЕНТА ST В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

**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, в состав которого входит сегмент ST. Знание точного времени сегмента ST позволяет определить границу между фазами внутрисердечной гемодинамики – быстрого и медленного изгнания крови из желудочков, что необходимо для оценки систолической функции желудочков сердца. Длительность времени сегмента ST от минимальных до максимальных значений ЧСС составляет до 130 мс, и его динамика носит линейную зависимость от изменения ЧСС. В силу различных причин сегмент ST изменяет не только свою продолжительность, но и свое положение по отношению к изолинии, сливаясь в одно целое с восходящим коленом зубца T. Такое положение сегмента ST зачастую не позволяет точно разграничить окончание сегмента ST и начало зубца T, затрудняя точную диагностику состояния систолической функции желудочков. Достоверная оценка состояния систолической функции миокарда желудочков сердца возможна с использованием показателя индекса ФП, что в условиях постоянно меняющейся ЧСС требует точного определения окончания сегмента ST. Индивидуальные показатели – Q-T, QRS, ST – позволяют автоматизировать оценку сократительной способности миокарда желудочков сердца с помощью индекса фазы плато. Использование предлагаемого способа определения сегмента ST в систоле сердца позволяет вести достоверный контроль реакции сердца в условиях различных нагрузок на организм, своевременно выявлять и корректировать нарушения физиологии сердечной деятельности с целью предупреждения развития явной патологии.

**Ключевые слова:** сегмент ST, электрическая систола желудочков, индекс фазы плато, систолическая функция миокарда желудочков

**METHOD FOR DETERMINING ST SEGMENT TIME DEPENDING ON HEART RATE**

**Vorobev L.V.**

*Medical and Diagnostic Center «Vicom-med», Kremenchug, e-mail: leonid.vorobiov51@gmail.com*

Prevention of cardiovascular pathology includes, among other things, early detection of manifestations of cardiac abnormalities at the preclinical stage. The heart pumps blood into the vascular system through the systole of the ventricles of the heart, which is displayed on the ECG by the Q-T interval, which includes the ST segment. Knowing the exact time of the ST segment allows you to determine the boundary between the phases of intracardiac hemodynamics – fast and slow expulsion of blood from the ventricles, which is necessary to assess the systolic function of the ventricles of the heart. The duration of the ST segment from minimum to maximum heart rates is up to 130 ms. and its dynamics is linearly dependent on changes in heart rate. For various reasons, the ST segment changes not only its duration, but also its position with respect to the isoline merging with the ascending knee of the T wave. This position of the ST segment often does not allow to accurately distinguish between the end of the ST segment and the beginning of the T wave, making it difficult to accurately diagnose state of systolic ventricular function. A reliable assessment of the state of the systolic function of the ventricular myocardium is possible using the index of AF, which in a constantly changing heart rate requires accurate determination of the end of the ST segment. Individual indicators – Q-T, QRS, ST allow you to automate the assessment of myocardial contractility of the ventricles of the heart using the plateau phase index. Using the proposed method for determining the ST segment in the systole of the heart, it is possible to conduct reliable control of the reaction of the heart, under conditions of various loads on the body, to detect and correct violations of the physiology of cardiac activity in a timely manner, in order to prevent the development of an obvious pathology.

**Keywords:** ST segment, electrical ventricular systole, plateau phase index, ventricular myocardial systolic function

Сердечно-сосудистая система, обеспечивая жизнедеятельность организма, доставляет кровь к клеткам организма, а сердце в ней выполняет роль насоса по перекачке крови. Традиционно систолическая функция левого желудочка оценивается по фракции выброса при УЗИ сердца. Высокая трудоемкость УЗ-исследования, низкая выявляемость начальных проявлений сердечной недостаточности ограничивают широкую доступность к нему как со стороны здоровых людей, так

и пациентов с ранними признаками сердечной недостаточности. Оценка данной функции актуальна не только для больных сердечной патологией, но и для здоровых людей с целью уточнения толерантности сердца к физическим нагрузкам и рационализации физических нагрузок на сердце. Электрическая систола желудочков, отображаемая на ЭКГ интервалом Q-T, позволяет проводить оценку систолической функции желудочков сердца, без ограничений по доступности

ЭКГ-исследования, и позволяет проводить раннюю диагностику нарушения систолической функции желудочков сердца [1]. В сердечно-сосудистой патологии нарушения сократительной функции миокарда ведут к сердечной недостаточности, и ранняя диагностика снижения этой функции является важной и возможной с использованием электрокардиографии [2]. Одним из показателей, составляющих электрическую систолу, является сегмент ST, определяемый от конца зубца S до начала зубца T с максимальной продолжительностью до 120–150 мс [3]. Сегмент ST, занимая определенную величину времени и положение в систоле желудочков в силу различных воздействий на сердце, изменяет не только свою продолжительность, но и свое положение по отношению к изолинии, смещаясь вверх или вниз и сливаясь в одно целое с восходящим коленом зубца T. Такое положение сегмента ST зачастую не позволяет четко разграничить завершение сегмента ST и начало зубца T, что в конечном счете затрудняет точную диагностику состояния систолической функции желудочков. В большинстве научных источников делают акцент внимания только на смещении сегмента ST относительно изолинии и не придают значения временным параметрам сегмента ST. В литературе иногда приводится только максимально возможная длительность времени сегмента ST (фазы асинхронного сокращения миокарда) до 120-150 мс, которая, однако, не может быть использована для всех значений ЧСС. Научных работ по определению конкретного времени сегмента ST с учетом изменяющейся ЧСС выявлено не было [4]. Разграничение же времени зубца T и сегмента ST способствует точному определению состояния функции сократимости миокарда желудочков.

Целью и задачей данного исследования являлись поиск и обоснование подхода в определении конкретного времени сегмента ST при конкретной ЧСС и отвечающего требованиям физиологии сердечных сокращений в условиях изменяющейся ЧСС.

#### **Материалы и методы исследования**

Материалом данного исследования явился анализ сегмента ST 2,5 тысяч кардиоциклов из общего числа обратившихся в поликлинику лиц обоего пола, детского, молодого, среднего и старшего возрастов, в состоянии ЧСС покоя, брадикардии, тахикардии. Также проанализировано 1000 кардиоциклов у лиц без явной патологии на ЭКГ с определением доли времени сегмента ST в электрической систоле желудочков сердца (интервал Q-T) при всех значениях ЧСС. Полученные результаты легли в ос-

нову построения графика зависимости сегмента ST от ЧСС и определения времени сегмента ST для каждой ЧСС.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Интерес к сегменту ST в основном формируется клинической кардиологией в диагностике ИБС, используя анализ смещения сегмента ST вверх или вниз от изолинии, и реже физиологией, анализирующей временные характеристики сегмента ST в фазе изгнания крови из желудочков. Временные характеристики всех элементов ЭКГ не являются стационарными величинами и меняются вместе с изменением ЧСС, уменьшаясь при увеличении ЧСС и наоборот.

Интервал QRS-T отображает электрическую систолу желудочков и может быть использован для анализа систолической функции желудочков сердца. С точки зрения гемодинамики процесс систолы желудочков разделяется на фазу напряжения миокарда (QRS) и фазу изгнания крови (интервал S-T), которые имеют свое представление в потенциале действия кардиомиоцита. Анализ сердечной гемодинамики и положения в ней сегмента ST базируется на анализе потенциала действия кардиомиоцита и положения в нем определенных элементов ЭКГ представленных на рис. 1.

Отрезок – (в). Фаза асинхронного сокращения миокарда, отображаемая на ЭКГ сегментом ST.

Отрезок – (г + д). Фаза изометрического сокращения миокарда, отображаемая на ЭКГ зубцом T. Граница фазы плато с фазой быстрой конечной реполяризации проходит по середине зубца T.

Отрезок – (в + г + д). Вся фаза изгнания крови, сопряженная с фазами ПД (фаза плато и фаза конечной быстрой реполяризации) с длительностью, зависящей от ЧСС, и на ЭКГ представлена интервалом S-T [5–7].

Сегмент ST, являясь частью электрокардиограммы, представляя собой фазу асинхронного сокращения миокарда в систоле желудочков (интервал QRS-T), длится в среднем до 120–150 мс. Интервал S-T, являясь фазой изгнания крови из желудочков сердца, в свою очередь состоит из фазы быстрого изгнания (сегмент ST и первая половина зубца T) и фазы медленного изгнания (вторая половина зубца T). Знание времени сегмента ST позволяет определить время зубца T, отражающего фазу изометрического сокращения миокарда желудочков сердца, а также разделять фазы быстрого и медленного изгнания крови желудочками, что необходимо для расчета индекса ФП (фазы плато).

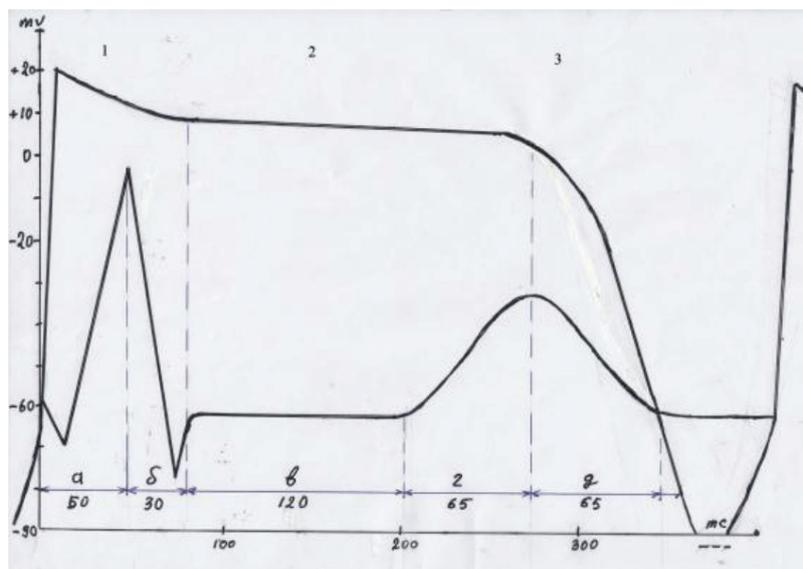


Рис. 1. Сопряжение фаз ПД с фазами гемодинамики систолы желудочков и элементов ЭКГ



Рис. 2. Четкое разделение сегмента ST и зубца T

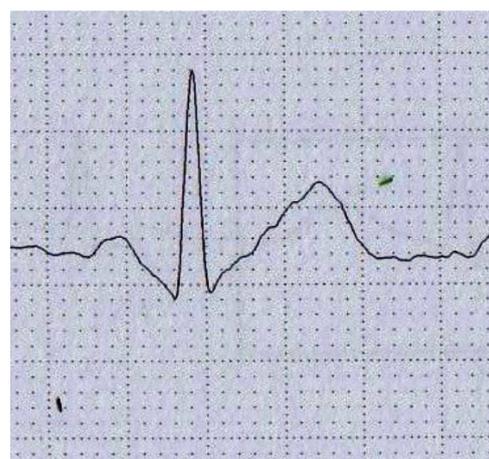


Рис. 3. Слияние сегмента ST с зубцом T

Собственно систолическая функция миокарда желудочков реализуется в фазе изгнания крови (интервал S-T), и точный расчет систолической функции требует точного расчета сегмента ST, который в свою очередь зависит от ЧСС. В электрокардиограмме зубец T отображает фазу изометрического сокращения миокарда желудочков, а в представлении потенциала действия начальная его половина относится к фазе медленной реполяризации миокарда, а конечная половина относится к фазе конечной быстрой реполяризации. На ЭКГ зубец T представлен в виде положительного зубца в отведениях I, II, AVF, V2-V6 с четким началом и окончанием, что в итоге не вызывает затруднений с измерением сегмента ST

(рис. 2) [8, 9]. Однако на практике зачастую зубец T не симметричен, и его начало сливается с сегментом ST, что в итоге не позволяет визуально точно разделить окончание сегмента ST и начало зубца T (рис. 3).

В этих случаях разграничить окончание сегмента ST и начало зубца T становится проблематично. Каждый элемент ЭКГ в целостной картине систолы желудочков занимает свое место и свою долю времени в сердечном цикле в зависимости от ЧСС. Опираясь на физиологию сердечных сокращений в процессе изменения ЧСС, становится возможным определить, какое время занимает сегмент ST в систоле желудочков, и его динамику на изменение ЧСС, что в свою очередь позволяет более точно

диагностировать состояние систолической функции желудочков сердца.

Для уточнения времени сегмента ST в интервале S-T были обработаны данные 2500 измерений в сплошной выборке ЭКГ с поликлинического приема и 1000 кардиоциклов у здоровых лиц, без наличия ЭКГ-патологии. Данные результатов динамики сегмента ST при изменении ЧСС представлены графиком (рис. 4).

Результаты измерений выявили линейную зависимость изменения сегмента ST от изменения ЧСС с шагом линейности на один сердечный цикл, равным 0,753 мс. Вся шкала времени сегмента ST составила от 0 до 130 мс и охватила диапазон ЧСС от 30 до 202 сокращений сердца. При ЧСС 30 время сегмента ST достигает 130 мс и уменьшается до 0 мс при ЧСС 202. Такая же линейная зависимость от ЧСС наблюдается и в динамике всего интервала Q-T [10]. При знании шага линейности изменения сегмента ST на единицу ЧСС стало возможным определять время сегмента ST для каждой конкретной ЧСС. Данные результатов определения времени сегмента ST для конкретной ЧСС представлены в таблице.

Так как десятые, сотые доли миллисекунды практически не влияют на конечный итог определения показателя функции сократимости миокарда, в котором участвует и показатель времени сегмента ST, поэтому время сегмента ST может быть представлено в целых числах.

Полученные временные параметры сегмента ST позволяют проводить точный расчет систолической функции желудочков сердца в виде индекса ФП (фазы плато), который достоверно соотносится с измерениями фракции выброса левого желудочка при УЗИ сердца, что наглядно представлено на рис. 5 и 6 [11].

Систолическая функция желудочков сердца, определенная с использованием времени сегмента ST как в стандартных отведениях ЭКГ, так и в левых грудных отведениях, хорошо соотносима, что позволяет определять ее, используя как стандартные отведения ЭКГ, так и грудные, что отображено на рис. 7 и 8.

Для полноценного анализа систолической функции миокарда желудочков сердца необходимы такие показатели ЭКГ, как интервал Q-T, комплекс QRS, сегмент ST в конкретных величинах и при конкретной ЧСС. Определение конкретного времени сегмента ST обеспечивает возможность полной автоматизации процесса расчета индекса ФП, как маркера состояния сократительной функции миокарда с помощью ЭКГ. Формула расчета показателя сегмента ST для автоматизированного анализа представлена в виде:

$$\text{сегмент ST} = 130 - [(ЧСС - 30) * 0,753],$$

где ЧСС – фактическая ЧСС, зарегистрированная на ЭКГ.

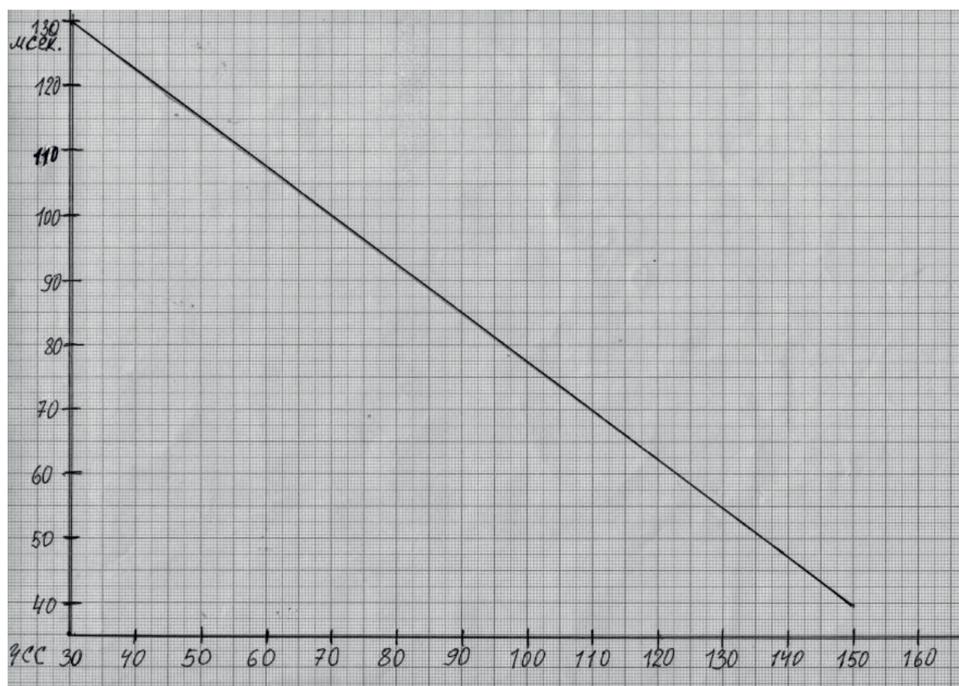


Рис. 4. График зависимости динамики времени сегмента ST от ЧСС

Таблица времени сегмента ST (мс) и его динамики в зависимости от ЧСС

ЧСС	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
STms.	119	118	117	117	116	115	114	114	113	112	111
<b>ЧСС</b>	<b>55</b>	<b>56</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>59</b>	<b>60</b>	<b>61</b>	<b>62</b>	<b>63</b>	<b>64</b>	<b>65</b>
STms	111	110	109	108	108	107	106	105	105	104	103
<b>ЧСС</b>	<b>66</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>69</b>	<b>70</b>	<b>71</b>	<b>72</b>	<b>73</b>	<b>74</b>	<b>75</b>	<b>76</b>
STms	102	102	101	100	99	99	98	97	96	96	95
<b>ЧСС</b>	<b>77</b>	<b>78</b>	<b>79</b>	<b>80</b>	<b>81</b>	<b>82</b>	<b>83</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>86</b>	<b>87</b>
STms	94	93	93	92	91	90	90	89	88	87	87
<b>ЧСС</b>	<b>88</b>	<b>89</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>96</b>	<b>97</b>	<b>98</b>
STms	86.3	85	84	84	83	82	81	81	80	79	78
<b>ЧСС</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>101</b>	<b>102</b>	<b>103</b>	<b>104</b>	<b>105</b>	<b>106</b>	<b>107</b>	<b>108</b>	<b>109</b>
STms	78	77	76	75	75	74	73	72	72	71	70
<b>ЧСС</b>	<b>110</b>	<b>111</b>	<b>112</b>	<b>113</b>	<b>114</b>	<b>115</b>	<b>116</b>	<b>117</b>	<b>118</b>	<b>119</b>	<b>120</b>
STms	69	69	68	67	66	66	65	64	63	63	62
<b>ЧСС</b>	<b>121</b>	<b>122</b>	<b>123</b>	<b>124</b>	<b>125</b>	<b>126</b>	<b>127</b>	<b>128</b>	<b>129</b>	<b>130</b>	<b>131</b>
STms	61	60	60	59	58	57	57	56	55	54	54
<b>ЧСС</b>	<b>132</b>	<b>133</b>	<b>134</b>	<b>135</b>	<b>136</b>	<b>137</b>	<b>138</b>	<b>139</b>	<b>140</b>	<b>141</b>	<b>142</b>
STms	53	52	51	51	50	49	48	48	47	46	45
<b>ЧСС</b>	<b>143</b>	<b>144</b>	<b>145</b>	<b>146</b>	<b>147</b>	<b>148</b>	<b>149</b>	<b>150</b>	<b>151</b>	<b>152</b>	<b>153</b>
STms	45	44	43	42	42	41	40	39	39	38	37
<b>ЧСС</b>	<b>154</b>	<b>155</b>	<b>156</b>	<b>157</b>	<b>158</b>	<b>159</b>	<b>160</b>	<b>161</b>	<b>162</b>	<b>163</b>	<b>164</b>
STms	36	36	35	34	33	33	32	31	30	30	29
<b>ЧСС</b>	<b>165</b>	<b>166</b>	<b>167</b>	<b>168</b>	<b>169</b>	<b>170</b>	<b>171</b>	<b>172</b>	<b>173</b>	<b>174</b>	<b>175</b>
STms	28	27	27	26	25	24	24	23	22	21	21

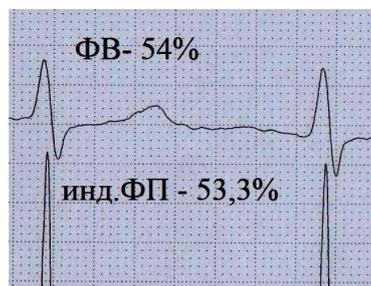


Рис. 5. Соотношение индекса ФП и ФВ

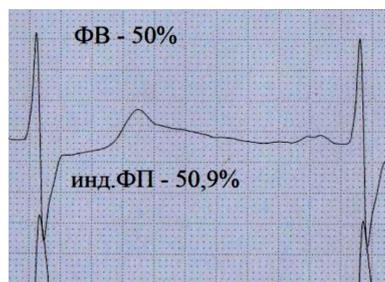


Рис. 6. Соотношение индекса ФП и ФВ

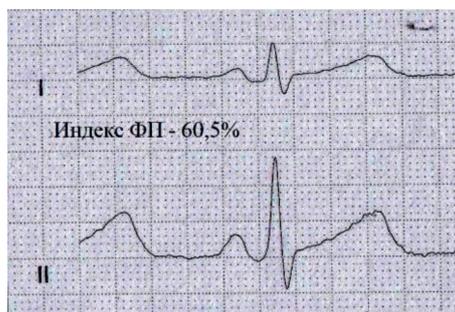


Рис. 7. Стандартные отведения

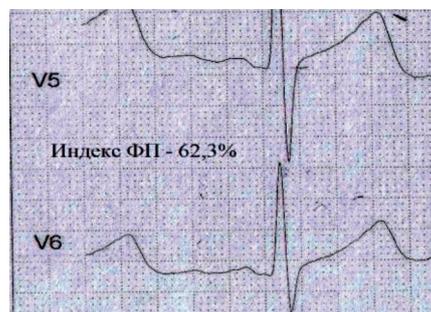


Рис. 8. Грудные отведения

### Выводы

1. Практический интерес к уточнению времени сегмента ST при конкретной ЧСС обусловлен тем, что точное время сегмента

ST необходимо для точной оценки систолической функции миокарда желудочков сердца, определяемой с помощью ЭКГ.

2. Изменение времени сегмента ST носит линейную зависимость от ЧСС, и диа-

пазон изменений времени сегмента ST в сердечной деятельности укладывается от 0 до 130 мс в зависимости от ЧСС.

3. Результаты оценки систолической функции желудочков сердца с использованием значений времени сегмента ST одинаковы как для стандартных, так и левых грудных отведений ЭКГ.

4. Метод оценки систолической функции желудочков сердца с помощью анализа электрической систолы желудочков сердца (индекс ФП) достоверно коррелирует с методом анализа механической систолы левого желудочка (фракция выброса левого желудочка) при УЗИ сердца.

5. Точность оценки систолической функции желудочков сердца, определяемая с помощью показателей электрической систолы желудочков сердца, не подвержена субъективным влияниям от неточности расположения электродов ЭКГ, а также при тахикардии.

6. Знание величины и динамики сегмента ST в зависимости от ЧСС позволяет автоматизировать процесс анализа сократительной функции миокарда в любой модели электрокардиографа, выявляя важные признаки или риски сердечной недостаточности на ранних этапах сердечной патологии.

### Список литературы

1. Вымятина З.К., Семенцов А.С. Физиология сердечно-сосудистой системы: учебно-методическое пособие. Томск, 2016. С. 60.
2. Малов Ю.С. Удлинение систолы желудочков – признак нарушения сократительной функции миокарда // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2016. Вып. 1. С. 5–7.
3. Белоконь Н.А., Кубергер М.Б. Болезни сердца и сосудов у детей. Руководство для врачей // Медицина. 1987. Т. 1. С. 44.
4. Варламова Н.Г., Бойко Е.Р. Годовой цикл электрокардиографии у женщин Европейского Севера // Вестник образования и науки Российской академии естественных наук. 2018. № 22 (1). С. 59.
5. Моисеев В.С., Мартынова Н.А., Мухина Н.А. Внутренние болезни. ГЭОТАР Медиа. 2013. С. 473–474.
6. Жданова И.В., Зуева Т.В. Электрофизиологические основы электрокардиографии: учебное пособие. Екатеринбург: УГМУ, 2019. С. 37.
7. Евлахов В.И., Пуговкин А.П., Рудакова Т.Л., Шалковская Л.Н. Основы физиологии сердца: учебное пособие. СПб.: СпецЛит, 2015. С. 62–67.
8. Меньшикова И.Г., Рудь С.С., Лоскутова Н.В., Скляр И.В. Основы клинической электрокардиографии (учебное пособие для студентов медицинских ВУЗов). Благовещенск – Хабаровск, 2010. С. 20.
9. Витрук С.К. Пособие по функциональным методам исследования сердечно-сосудистой системы. Киев: «Здоровья», 1990. С. 63.
10. Воробьев Л.В. Метод определения должного интервала Q-T не требующего дополнительной коррекции по ЧСС // Научное обозрение. Медицинские науки. 2019. № 2. С. 44. DOI: 10.17513/srms.1081.
11. Воробьев Л.В. Метод определения состояния систолической функции левого желудочка сердца по ЭКГ // Научное обозрение. Медицинские науки. 2020. № 1. С. 8. DOI: 10.17513/srms.1092.