

## «Спортивное» сердце при ЧСС-155: ЭКГ и ЭхоКГ Тюрюмин Я.Л.

**Аннотация.** В статье рассматривается модель «идеальной» или «должной» ЭКГ в зависимости от периодов и фаз сердечного цикла при ЧСС=155 уд/мин. Цель исследования. Изучить продолжительности интервалов P-Q, Q-T, T-P и R-R, сегментов P-Q и S-T, комплекса QRS, пиков P и T, представленные в модели «идеальной» или «должной» ЭКГ при ЧСС-155 = 155 уд/мин. Основная часть. Проанализированы продолжительности интервалов P-Q, Q-T, T-P и R-R, сегментов P-Q и S-T, комплекса QRS, пиков P и T, при ЧСС=155 уд/мин в зависимости от периодов и фаз сердечного цикла. Выводы. Уменьшение продолжительности периода изгнания и периода наполнения желудочков сопровождается уменьшением продолжительности систолы желудочков и общей паузы сердца.

**Ключевые слова:** ЧСС, ЭКГ, ЭхоКГ, «спортивное» сердце.

## The athlete's heart at Heart Rate-155: ECG and echocardiography Turumin J.L.

**Abstract.** The article discusses the model of an “ideal” or “proper” ECG depending on the periods and phases of the cardiac cycle at heart rate = 155 beats/min. Purpose of the study. Study the durations of the P-Q, Q-T, T-P and R-R intervals, P-Q and S-T segments, the QRS complex, P and T peaks, presented in the “ideal” or “proper” ECG model at heart rate-155 = 155 beats/min. Main part. The durations of the P-Q, Q-T, T-P and R-R intervals, P-Q and S-T segments, the QRS complex, P and T peaks were analyzed at heart rate = 155 beats/min depending on the periods and phases of the cardiac cycle. Conclusions. A decrease in the duration of the ventricular ejection and the ventricular filling is accompanied by a decrease in the duration of the ventricular systole and cardiac diastole (rapid and slow ventricular filling = atrial and ventricular diastole).

**Key words:** heart rate, ECG, echocardiography, athlete's heart.

**Введение.** Порог аэробного обмена соответствует ЧСС=155 уд/мин, аэробно-анаэробная зона – ЧСС=155-170 уд/мин, порог анаэробного обмена – ЧСС-170 уд/мин, лактатная анаэробная зона – ЧСС=170-190 уд/мин [3, 6-9].

В аэробной зоне при ЧСС=140-155 уд/мин заканчиваются аэробные возможности для работы мышечных волокон I типа и ПА окислительных, в аэробно-анаэробной зоне при ЧСС=155-170 уд/мин для выполнения дальнейшей работы подключатся гликолитические мышечные волокна IIХ [7]. Как следствие, молочная кислота начинает накапливаться в гликолитических мышечных волокнах IIХ, но она еще не выходит в системный кровоток, поэтому концентрация молочной кислоты в крови меньше 4 ммоль/л [1, 3, 4, 6, 8, 9].

В зоне кардиовыносливости при ЧСС=120-140 уд/мин фракция выброса левого желудочка (механизм Франка-Старлинга) повышается до максимальных значений до 90% [1, 3, 4, 6, 8, 9]. В аэробной зоне при ЧСС=140-155 уд/мин дальнейший прирост минутного объема крови (МОК) происходит за счет учащения частоты сердечных сокращений (рефлекс Бейнбриджа) [1, 3, 4, 6, 8, 9]. Фракция выброса левого желудочка в этой зоне начинает немного снижаться до 85%. Скорость потребления V-O<sub>2</sub> прирастает за счет увеличения ЧСС и показателей артериовенозной разницы по кислороду (АВР-O<sub>2</sub>) до 80% [1, 3, 4, 6, 8, 9].

Какие изменения происходят в работе «спортивного» сердца в аэробно-анаэробной зоне при ЧСС=155-170 уд/мин?

**Цель исследования.** Изучить продолжительности интервалов P-Q, Q-T, T-P и R-R, сегментов P-Q и S-T, комплекса QRS, пиков P и T, представленные в модели «идеальной» или «должной» ЭКГ при ЧСС-155 = 155 уд/мин в зависимости от периодов и фаз сердечного цикла в соответствии с данными ЭхоКГ.

**Методы исследования.** В модели «идеальной» или «должной» ЭКГ использовали модифицированную формулу Н. Bazett [10]. Продолжительности интервалов P-Q, Q-T, T-P и R-R, сегментов P-Q и S-T, комплекса QRS, пиков P и T, представленные в модели «идеальной» или «должной» ЭКГ находились в физиологических соотношениях и не конфликтовали между собой и соответствовали периодам и фазам сердечного цикла в соответствии с данными ЭхоКГ [1-6, 8-10].

**Основная часть.** При ЧСС = 60 ударов в минуту в покое основную физическую работу выполняют мышечные волокна I типа (100%), дыхательный коэффициент равен 0.70. В покое при ЧСС = 50-70 ударов в минуту в сердечной мышце для ресинтеза АТФ в основном используются свободные жирные кислоты 100%.

ЭКГ: При ЧСС = 60 ударов в минуту интервал R-R = 1000 мс, интервал P-Q (Ф1) = 171 мс, пик P = 113 мс, сегмент P-Q = 58 мс, интервал Q-T = 364 мс, комплекс QRS (Ф2+Ф3) = 81 мс, сегмент S-T (Ф4) = 107 мс, пик T (Ф5+Ф6+Ф7) = 176 мс, пик T систолическая часть (Ф5) = 107 мс, пик T диастолическая часть (Ф6,7) = 69 мс, интервал T-P (Ф8+Ф9) = 465 мс. Систола желудочков интервал Q-T (Ф2+Ф3+Ф4+Ф5) = комплекс QRS (Ф2+Ф3) + сегмент S-T (Ф4) + пик Tsys (Ф5) = 295 мс. Диастола желудочков интервал T-Q (Ф6+Ф7+Ф8+Ф9+Ф1) = пик Tdias (Ф6+Ф7) + интервал T-P (Ф8+Ф9) + интервал P-Q (Ф1) = 705 мс. Систола = 30%, диастола = 70%.

ЭхоКГ: Конечно-диастолический объем (КДОлж) левого желудочка = 170 мл. Конечно-систолический объем (КСОлж) левого желудочка = 70 мл. Ударный объем (УОлж) левого желудочка = 100 мл. Фракция выброса (ФВлж) левого желудочка = 60%. Минутный объем крови (МОК) = 5 л/мин. Артериовенозная разница по кислороду (АВР-О<sub>2</sub>) = 25%. Скорость потребления кислорода (V-О<sub>2</sub>) в покое = 250 мл О<sub>2</sub>/мин или 3.5 мл О<sub>2</sub>/мин/кг.

Фаза быстрого изгнания (Ф4) крови из левого желудочка соответствует продолжительности сегмента S-T (Ф4) и составляет 70 мл УОлж. Фаза медленного изгнания (Ф5) соответствует продолжительности пика Tsys (Ф5) и составляет 30 мл УО. УОлж = 100 мл. ФВлж = 60%. Фаза быстрого и медленного наполнения (Ф8+Ф9) крови в левый желудочек соответствует продолжительности интервала T-P (Ф8+Ф9) и составляет 50 мл + 15 мл = 65 мл УОлж. Окончательное наполнение кровью левого желудочка происходит в систолу предсердий, соответствует сегменту P-Q (Ф1) и составляет 35 мл УОлж. Таким образом, весь УОлж 100 мл поступает в левый желудочек в три этапа (Ф8+Ф9+Ф1).

ЭКГ: При ЧСС = 155 ударов в минуту интервал R-R = 387 мс, интервал P-Q ( $\Phi_1$ ) = 109 мс, пик P = 72 мс, сегмент P-Q = 37 мс, интервал Q-T = 231 мс, комплекс QRS ( $\Phi_2+\Phi_3$ ) = 62 мс, сегмент S-T ( $\Phi_4$ ) = 34 мс, пик T ( $\Phi_5+\Phi_6+\Phi_7$ ) = 135 мс, пик T систолическая часть ( $\Phi_5$ ) = 82 мс, пик T диастолическая часть ( $\Phi_6+\Phi_7$ ) = 53 мс, интервал T-P ( $\Phi_8 = 48$  мс,  $\Phi_9 = 0$  мс) = 48 мс. Систола желудочков интервал Q-T ( $\Phi_2+\Phi_3+\Phi_4+\Phi_5$ ) = комплекс QRS ( $\Phi_2+\Phi_3$ ) + сегмент S-T ( $\Phi_4$ ) + пик Tsys ( $\Phi_5$ ) = 178 мс. Диастола желудочков интервал TQ ( $\Phi_6+\Phi_7+\Phi_8+\Phi_1$ ) = пик Tdias ( $\Phi_6+\Phi_7$ ) + интервал T-P ( $\Phi_8$ ) + интервал P-Q ( $\Phi_1$ ) = 209 мс. Систола = 46%, диастола = 54%.

ЭхоКГ: КДОлж = 170 мл. КСОлж = 17 мл. УОлж = 153 мл. ФВлж = 90%. МОК = 23.7 л/мин. АВР-О<sub>2</sub> = 80%. V-О<sub>2</sub> = 3794 мл О<sub>2</sub>/мин.

Фаза быстрого изгнания ( $\Phi_4$ ) = 107 мл УОлж. Фаза медленного изгнания ( $\Phi_5$ ) = 46 мл УОлж. Фаза быстрого изгнания ( $\Phi_4$ ) все больше смещается в сторону фазы медленного изгнания ( $\Phi_5$ ). Фаза быстрого наполнения ( $\Phi_8$ ) = 99 мл УОлж. Фаза наполнения в систолу предсердий ( $\Phi_1$ ) = 54 мл УОлж. Наполнение левого желудочка происходит в два этапа ( $\Phi_8+\Phi_1$ ).

При ЧСС = 155 ударов в минуту в сердечной мышце для ресинтеза АТФ используются свободные жирные кислоты (20%) и глюкоза (80), дыхательный коэффициент = 0.92. Описана динамика изменения периодов и фаз сердечного цикла в зависимости от ЧСС, УОлж и АВР-О<sub>2</sub>, механизма ресинтеза АТФ, скорости потребления V-О<sub>2</sub> и дыхательного коэффициента [1-15]. При ЧСС=155-170 уд/мин уменьшается продолжительность II фазы (за счет укорочения сегмента S-T) и III фазы сердца (за счет исчезновения интервала T-P ( $\Phi_9$ )).

**Выводы.** Фаза быстрого изгнания ( $\Phi_4$ ) смещается в сторону фазы медленного изгнания ( $\Phi_5$ ). Продолжительность фазы быстрого наполнения ( $\Phi_8$ ) уменьшается до функционального минимума, фаза медленного наполнения желудочков ( $\Phi_9$ ) отсутствует. Уменьшение продолжительности фазы медленного изгнания (за счет сдвига фазы быстрого изгнания) сопровождается укорочением систолы желудочков. Уменьшение продолжительности фазы наполнения желудочков (за счет отсутствия фазы медленного наполнения) сопровождается укорочением диастолы желудочков и продолжительности общей паузы сердца. Эти факторы способствуют незначительному уменьшению УОлж и ФВлж с 90% до 85%. Таким образом, прирост скорости потребления V-О<sub>2</sub> в аэробно-анаэробной зоне при ЧСС=155-170 уд/мин связан с незначительным уменьшением УОлж и ФВлж до 85% при дальнейшем росте ЧСС до 170 уд/мин и АВР-О<sub>2</sub> до 85%.

#### Список литературы

1. Гайтон, А.К. Медицинская физиология / А.К. Гайтон, Д.Э. Холл / Пер. с англ.; под ред. В.И. Кобрина. – М.: Логосфера, 2008. – 1296 с.
2. Горбенко, А.В. Спортивное сердце: норма или патология / А.В. Горбенко, Ю.П. Скирденко, Н.А. Николаев, О.В. Замахина, С.А. Шерстюк, А.В. Ершов // Патология кровообращения и кардиохирургия. – 2020. – Том. 24, № 2. – С. 16-25.
3. Платонов, В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В.Н. Платонов. – К.: Олимпийская литература, 2004. – 808 с.

4. Тюрюмин Я.Л. «Спортивное» сердце: ЧССмакс, ЭКГ и ЭхоКГ // В сборнике: Спорт – дорога к миру между народами. Москва, 2023. – С. 212-216.
5. Тюрюмин Я.Л. ЧСС-170: ЭКГ и ЭхоКГ // В сборнике: Тенденции развития легкоатлетического спорта в России и мире в современных условиях: проблемы и перспективы. Москва, 2023. – С. 35-39.
6. Тюрюмин, Я.Л. «Спортивное» сердце: механизмы ресинтеза АТФ // В сборнике: Актуальные вопросы науки и образования. Ульяновск, 2022. – С. 1061-1065.
7. Тюрюмин Я.Л. Типы мышечных волокон. Зоны мощности и причины утомления // В сборнике: Тенденции развития легкоатлетического спорта в России и в мире в современных условиях: проблемы и перспективы. Москва, 2022. – С. 30-35.
8. Тюрюмин, Я.Л. «Спортивное» сердце. Зоны тренировочных нагрузок // В сборнике: Фундаментальные и прикладные гуманитарные исследования в сфере физической культуры, спорта и олимпизма: традиции и инновации. Москва, 2022. – С. 235-239.
9. Тюрюмин, Я.Л. «Спортивное» сердце: ЧСС максимальная и ЭКГ // В сборнике: Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры. Волгоград, 2023. – Ч. I. – С. 357-362.
10. Bazett, H. An analysis of the time-relations of electrocardiograms / H. Bazett // Ann Noninvasive Electrocardiol. 1997. – Vol. 2, No. 2. – P. 177-194.

**Тюрюмин Я.Л.** «Спортивное» сердце при ЧСС-155: ЭКГ и ЭхоКГ // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Спортивная адаптология: перспективы развития», посвященной памяти В.Н. Селуянова (29 марта 2024 г.). – Москва, 2024. – в печати.