

ХАРАКТЕРИСТИКА ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНОГО СОКРАЩЕНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК. ЧСС-170: 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=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-170 = 170 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=170 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.

Heart Rate-170: 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 = 170 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-170 = 170 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 = 170 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].

При ЧСС от 70 до 170 уд/мин имеется прямая зависимость между дозированием физической нагрузки, ЧСС и скоростью потреблением кислорода (тест PWC-170) [3, 6-9]. Увеличение ЧСС и ударного объема левого желудочка (УОлж) сопровождается приростом минутного объема крови (МОК). В этом диапазоне ЧСС УОлж и фракция выброса левого желудочка (ФВлж) достигают максимальных показателей [1, 3, 4, 6-9].

В аэробно-анаэробной зоне при ЧСС=155-170 уд/мин заканчиваются аэробные возможности для работы мышечных волокон I типа и ПА окислительных, и для выполнения дальнейшей работы подключатся гликолитические мышечные волокна ПХ [7]. Как следствие, молочная кислота начинает накапливаться в гликолитических мышечных волокнах ПХ, но она еще не выходит в системный кровоток, поэтому концентрация молочной кислоты в крови меньше 4 ммоль/л. При превышении ЧСС больше 170 уд/мин, молочная кислота начинает выходить из мышечных волокон ПХ в системный кровоток, и ее концентрация повышается более 4 ммоль/л. График прироста скорости потребления V-O₂ становится более пологим [1, 3, 4, 6, 8, 9].

Скорость потребления $V-O_2$ включает: ЧСС, УОлж и показатели артериовенозной разницы по кислороду ($ABP-O_2$). При повышении физической нагрузки сердце перестраивает свою работу [1, 3, 4, 6, 8, 9]. Сердце использует два механизма адаптации к физической нагрузке: 1) учащение частоты сердечных сокращений (рефлекс Бейнбриджа); 2) увеличение ударного объема левого желудочка (механизм Франка-Старлинга) за счет увеличения конечно-диастолического объема левого желудочка [1, 3, 4, 6, 8, 9].

Почему график прироста скорости потребления $V-O_2$ становится более пологим при ЧСС больше 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-170 = 170 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 = 50 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 = 50 ударов в минуту интервал R-R = 1200 мс, интервал P-Q (Φ_1) = 187 мс, пик P = 123 мс, сегмент P-Q = 64 мс, интервал Q-T = 397 мс, комплекс QRS ($\Phi_2+\Phi_3$) = 89 мс, сегмент S-T (Φ_4) = 115 мс, пик T ($\Phi_5+\Phi_6+\Phi_7$) = 194 мс, пик T систолическая часть (Φ_5) = 118 мс, пик T диастолическая часть ($\Phi_6,7$) = 75 мс, интервал T-P ($\Phi_8+\Phi_9$) = 616 мс. Систола желудочков интервал Q-T ($\Phi_2+\Phi_3+\Phi_4+\Phi_5$) = комплекс QRS ($\Phi_2+\Phi_3$) + сегмент S-T (Φ_4) + пик Tsys (Φ_5) = 322 мс. Диастола желудочков интервал T-Q ($\Phi_6+\Phi_7+\Phi_8+\Phi_9+\Phi_1$) = пик Tdias ($\Phi_6+\Phi_7$) + интервал T-P ($\Phi_8+\Phi_9$) + интервал P-Q (Φ_1) = 878 мс. Систола = 27%, диастола = 73%.

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 ($ABP-O_2$) = 25%. Скорость потребления кислорода ($V-O_2$) в покое = 250 мл/мин или 3.5 мл/мин/кг.

Фаза быстрого изгнания (Φ_4) крови из левого желудочка соответствует продолжительности сегмента S-T (Φ_4) и составляет 70 мл УОлж. Фаза медленного изгнания (Φ_5) соответствует продолжительности пика Tsys (Φ_5) и составляет 30 мл УО. УОлж = 100 мл. ФВлж = 60%. Фаза быстрого и медленного

наполнения ($\Phi_8+\Phi_9$) крови в левый желудочек соответствует продолжительности интервала Т-Р ($\Phi_8+\Phi_9$) и составляет 50 мл + 15 мл = 65 мл УОлж. Окончательное наполнение кровью левого желудочка происходит в систолу предсердий, соответствует сегменту Р-Q (Φ_1) и составляет 35 мл УОлж. Таким образом, весь УОлж 100 мл поступает в левый желудочек в три этапа ($\Phi_8+\Phi_9+\Phi_1$).

ЭКГ: При ЧСС = 170 ударов в минуту интервал R-R = 353 мс, интервал Р-Q (Φ_1) = 104 мс, пик Р = 69 мс, сегмент Р-Q = 35 мс, интервал Q-T = 221 мс, комплекс QRS ($\Phi_2+\Phi_3$) = 62 мс, сегмент S-T (Φ_4) = 23 мс, пик Т ($\Phi_5+\Phi_6+\Phi_7$) = 136 мс, пик Т систолическая часть (Φ_5) = 83 мс, пик Т диастолическая часть ($\Phi_6+\Phi_7$) = 53 мс, интервал Т-Р ($\Phi_8 = 28$ мс, $\Phi_9 = 0$ мс) = 28 мс. Систола желудочков интервал Q-T ($\Phi_2+\Phi_3+\Phi_4+\Phi_5$) = комплекс QRS ($\Phi_2+\Phi_3$) + сегмент S-T (Φ_4) + пик Tsys (Φ_5) = 168 мс. Диастола желудочков интервал TQ ($\Phi_6+\Phi_7+\Phi_8+\Phi_1$) = пик Tdias ($\Phi_6+\Phi_7$) + интервал Т-Р (Φ_8) + интервал Р-Q (Φ_1) = 185 мс. Систола = 48%, диастола = 52%.

ЭхоКГ: КДОлж = 170 мл. КСОлж = 25 мл. УОлж = 145 мл. ФВлж = 85%. МОК = 24.6 л/мин. АВР-О₂ = 80%. V-О₂ = 3944 мл/мин.

Фаза быстрого изгнания (Φ_4) = 75 мл УОлж. Фаза медленного изгнания (Φ_5) = 80 мл УОлж. Фаза быстрого изгнания (Φ_4) все больше смещается в сторону фазы медленного изгнания (Φ_5). Фаза быстрого наполнения (Φ_8) = 75 мл УОлж. Фаза наполнения в систолу предсердий (Φ_1) = 80 мл УОлж. Наполнение левого желудочка происходит в два этапа ($\Phi_8+\Phi_1$).

При ЧСС = 155-170 ударов в минуту в сердечной мышце для ресинтеза АТФ используются свободные жирные кислоты (0-20%) и глюкоза (80-100%), дыхательный коэффициент = 0.92-1.00. ЧСС = 170 ударов в минуту соответствует точке порога анаэробного обмена. В диапазоне ЧСС = 155-170 ударов в минуту образуется молочная кислота в гликолитических мышечных волокнах IIХ типа. Артериовенозная разница по кислороду (АВР-О₂) повышается до 80%. Описана динамика изменения периодов и фаз сердечного цикла в зависимости от ЧСС, УОлж и АВР-О₂, механизма ресинтеза АТФ, скорости потребления V-О₂ и дыхательного коэффициента [1-15]. При ЧСС=170 уд/мин уменьшается продолжительность II и III фазы сердца.

Выводы. Фаза быстрого изгнания (Φ_4) смещается в сторону фазы медленного изгнания (Φ_5). Продолжительность фазы быстрого наполнения (Φ_8) уменьшается до функционального минимума, фаза медленного наполнения желудочков (Φ_9) отсутствует. Уменьшение продолжительности периода изгнания и периода наполнения желудочков сопровождается уменьшением продолжительности общей паузы сердца, систолы и диастолы желудочков. Эти факторы способствуют уменьшению УОлж и ФВлж до с 90% до 85%. Таким образом, причина более пологого графика прироста скорости потребления V-О₂ при ЧСС больше 170 уд/мин связана с уменьшением УОлж и ФВлж до 85% при дальнейшем росте ЧСС до 200 уд/мин и АВР-О₂ до 90%.

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. Талибов, А.Х. Критерии оценки эхокардиографических показателей у спортсменов / А.Х. Талибов, М.А. Фадейкин, Е.С. Дмитриева // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2015. – Том. 3, № 121. – С. 142-146.
5. Тихоненко, В.М. Нарушения ритма и проводимости сердца у здоровых людей / В.М. Тихоненко, Т.Э. Тулинцева, О.В. Лышова и др. // Вестн. аритмологии. – 2018. – № 91. – С. 11-18.
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. Характеристика частоты сердечного сокращения при выполнении физических нагрузок. ЧСС-170: ЭКГ И ЭхоЭКГ // Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием по легкой атлетике «Тенденции развития легкоатлетического спорта в России и мире в современных условиях: проблемы и перспективы» (20-21 декабря 2023 г.) / Под редакцией В.Б. Зеличенка, О.М. Мирзоева. – М.: РУС «ГЦОЛИФК». – 2024. – С. 34-38. – ISBN 978-5-6050446-0-4 (РИНЦ).