

«Спортивное» сердце: ЧССмакс, ЭКГ и ЭхоКГ

Тюрюмин Я.Л.

Аннотация. В статье рассматривается модель «идеальной» или «должной» ЭКГ при ЧССмакс в зависимости от периодов и фаз сердечного цикла в соответствии с данными ЭхоКГ. Цель исследования. Разработать модель «идеальной» или «должной» ЭКГ для описания периодов и фаз сердечного цикла от ЧСС покоя до ЧССмакс. Результаты. Обсуждаются 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 ЧССмакс в зависимости от периодов и фаз сердечного цикла в соответствии с данными ЭхоКГ. Выводы. Укорочение продолжительности систолы и диастолы желудочков и отсутствие общей паузы сердца определяют предел максимальной частоты сердечных сокращений для каждого возраста.

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

The athlete's heart: HRmax, ECG and echocardiography.

Turumin J.L.

Abstract. The article discusses the model of the "ideal" or "proper" ECG depending on the periods and phases of the cardiac cycle in accordance with EchoCG data. Purpose of the study. To develop a model of an "ideal" or "proper" ECG to describe the periods and phases of the cardiac cycle from resting heart rate to heart rate max. Results. The duration of P-Q, Q-T, T-P and R-R intervals, P-Q and S-T segments, QRS complex, P and T peaks, presented in this model of "ideal" or "proper" ECG are discussed depending on heart rate, periods of the cardiac cycle in accordance with EchoCG data. Conclusions. A decrease in the duration of ventricular systole and diastole and the absence of a general cardiac pause determines the limit of the maximal heart rate for each age.

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

Введение. Сердечно-сосудистая система является важной составляющей в кислородтранспортной системе. Функциональное состояние сердца определяет количество крови, поступающее в большой и малый круг кровообращения. При увеличении физической нагрузки сердце перестраивает свою работу [1-3, 5-8].

Механизмов адаптации сердца к физической нагрузке два:

1. увеличение частоты сердечных сокращений (рефлекс Бейнбриджа);
2. увеличение фракции выброса из левого желудочка (механизм Франка-Старлинга).

При постоянных аэробных и/или анаэробных физических нагрузках различной мощности формируется «спортивное» сердце [1-3, 5-8]:

1. увеличение конечно-диастолического объема левого желудочка;
2. увеличение толщины миокарда левого желудочка.

Сформированное «спортивное» сердце значительно повышает возможности спортсмена для выполнения в большей степени аэробно-анаэробных тренировочных нагрузок большой и субмаксимальной мощности [1-3, 5-8].

Цель исследования. Разработать модель «идеальной» или «должной» ЭКГ для описания периодов и фаз сердечного цикла от ЧСС_{мин} = 40 уд/мин до ЧСС_{макс} = 200 уд/мин в соответствии с показателями ЭхоКГ.

Методы исследования. Для построения модели «идеальной» или «должной» ЭКГ использовали модифицированную формулу Н. Bazett (1997). 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 (скорость проведения электрического импульса из синоатриального (С-А) и атриовентрикулярного (А-В) узла, по А-В пучку и волокнам Пуркинье, скорость и продолжительность сокращения предсердий и желудочков (систола), продолжительность расслабления предсердий и желудочков (диастола)) [1-8]. Максимальную ЧСС (ЧСС_{макс}) рассчитывали по Fox S.M. et al. (1971).

Результаты. ЭКГ: При ЧСС = 50 ударов в минуту интервал R-R = 1200 мс, интервал P-Q (Ф1) = 187 мс, пик P = 123 мс, сегмент P-Q = 64 мс, интервал Q-T = 397 мс, комплекс QRS (Ф2+Ф3) = 89 мс, сегмент S-T (Ф4) = 115 мс, пик T (Ф5+Ф6+Ф7) = 194 мс, пик T систолическая часть (Ф5) = 118 мс, пик T диастолическая часть (Ф6+7) = 75 мс, интервал T-P (Ф8+Ф9) = 616 мс. Систола желудочков интервал Q-T (Ф2+Ф3+Ф4+Ф5) = комплекс QRS (Ф2+Ф3) + сегмент S-T (Ф4) + пик T_{sys} (Ф5) = 322 мс. Диастола желудочков интервал T-Q (Ф6+Ф7+Ф8+Ф9+Ф1) = пик T_{dias} (Ф6+Ф7) + интервал T-P (Ф8+Ф9) + интервал P-Q (Ф1) = 878 мс. Систола = 27%, диастола = 73%.

ЭхоКГ: Конечно-диастолический объем (КДО_{лж}) левого желудочка = 170 мл. Конечно-систолический объем (КСО_{лж}) левого желудочка = 70 мл. Ударный объем (УО_{лж}) левого желудочка = 100 мл. Фракция выброса (ФВ_{лж}) левого желудочка = 60%. Минутный объем крови (МОК) = 5 л/мин. Артериовенозная разница по кислороду (АВР-О₂) = 25%. Потребление кислорода (П-О₂) в покое = 250 мл/мин или 3.5 мл/мин/кг.

Фаза быстрого изгнания (Ф4) крови из левого желудочка соответствует продолжительности сегмента S-T (Ф4) и составляет 70 мл УО_{лж}. Фаза медленного изгнания (Ф5) соответствует продолжительности пика T_{sys} (Ф5) и составляет 30 мл УО. УО_{лж} = 100 мл. ФВ_{лж} = 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 УО_{лж}. Окончательное наполнение кровью левого желудочка происходит в систолу предсердий, соответствует сегменту P-Q (Ф1) и составляет 35 мл УО_{лж}. Таким образом, весь УО_{лж} 100 мл поступает в левый желудочек в три этапа (Ф8+Ф9+Ф1).

ЭКГ: При ЧСС = 200 ударов в минуту интервал R-R = 300 мс, интервал P-Q (Ф1) = 96 мс, пик P = 63 мс, сегмент P-Q = 33 мс, интервал Q-T = 204 мс, комплекс QRS (Ф2+Ф3) = 64 мс, сегмент S-T (Ф4) = 0 мс, пик T (Ф5+Ф6+Ф7) = 140 мс, пик T систолическая часть (Ф5) = 85 мс, пик T

диастолическая часть ($\Phi_6+\Phi_7$) = 55 мс, интервал Т-Р (Φ_8) = 0 мс. Систола желудочков интервал Q-Т ($\Phi_2+\Phi_3+\Phi_5$) = комплекс QRS ($\Phi_2+\Phi_3$) + пик Tsys (Φ_5) = 150 мс. Диастола желудочков интервал TQ ($\Phi_6+\Phi_7+\Phi_1$) = пик Tdias ($\Phi_6+\Phi_7$) + интервал P-Q (Φ_1) = 150 мс. Систола = 50%, диастола = 50%. Общая диастола сердечного цикла отсутствует.

ЭхоКГ: КДОлж = 170 мл. КСОлж = 35 мл. УОлж = 135 мл. ФВлж = 80%. МОК = 27.0 л/мин. АВР-О₂ = 90%. П-О₂ = 4860 мл/мин.

Фаза быстрого изгнания (Φ_4) полностью смещается в сторону фазы медленного изгнания (Φ_5) = 135 мл УОлж. Фаза быстрого изгнания левого желудочка происходит в один этап (Φ_5). Фаза быстрого наполнения (Φ_8) полностью смещается в сторону фазы наполнения в систолу предсердий (Φ_1) = 135 мл УОлж. Наполнение левого желудочка происходит в один этап (Φ_1). Продолжительность систолы желудочков равна продолжительности диастолы желудочков.

Выводы. Таким образом, представленная модель «идеальной» или «должной» ЭКГ при ЧСС покоя (ЧСС = 50 уд/мин) и ЧСС максимальной (ЧСС = 200 уд/мин) соответствует всем физиологическим нормам периодов и фаз сердечного цикла и данным ЭхоКГ [1-8].

Фаза быстрого изгнания (Φ_4) смещается в сторону фазы медленного изгнания (Φ_5), фазы быстрого и медленного наполнения желудочков ($\Phi_8+\Phi_9$) в сторону фазы систолы предсердий (Φ_1). Уменьшение продолжительности периода изгнания (до Φ_5) и периода наполнения желудочков (до Φ_1) сопровождается укорочением продолжительности систолы и диастолы желудочков, отсутствием общей паузы сердца. Эти факторы определяют предел максимальной частоты сердечных сокращений для каждого возраста.

Список литературы

1. Гайтон, А.К. Медицинская физиология / А.К. Гайтон, Д.Э. Холл / Пер. с англ.; под ред. В.И. Кобрин. – 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. 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.
4. 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.
5. Тюрюмин Я.Л. Физиологические механизмы формирования «спортивного» сердца // Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Научно-методологические основы формирования физического и психического здоровья детей и молодежи» (25 ноября 2021 г.). – Екатеринбург, 2021. – С. 460-465.
6. Тюрюмин Я.Л. «Спортивное» сердце: механизмы ресинтеза АТФ // Материалы I Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки и образования» (14 апреля 2022 г.). – Ульяновск, 2022. – С. 1061-1065.

7. Тюрюмин Я.Л. «Спортивное» сердце. Зоны тренировочных нагрузок // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Фундаментальные и прикладные гуманитарные исследования в сфере физической культуры, спорта и олимпизма: традиции и инновации» (30 ноября – 1 декабря 2022 г). – Москва, 2022. – С. 235-239.
8. Тюрюмин Я.Л. «Спортивное» сердце: ЧСС максимальная и ЭКГ // Материалы всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Актуальные медико-биологические проблемы спорта и физической культуры» (1-2 февраля 2023 г). – Волгоград, 2023. – Ч. I. – С. 357-362.

Тюрюмин Я.Л. «Спортивное» сердце: ЧССмакс, ЭКГ И ЭхоКГ// Материалы VII Международной научно-практической конференции «Спорт – дорога к миру между народами» (9-10 ноября 2023). – Москва, 2023. – С. 212-216.