

«Спортивное» сердце: механизмы ресинтеза АТФ **Тюрюмин Я.Л.**

Аннотация. В статье рассматриваются основные варианты «спортивного» сердца: эксцентрический тип гипертрофии левого желудочка и концентрический тип гипертрофии левого желудочка. Обсуждаются механизмы регуляции частоты сердечных сокращений и фракции выброса левого желудочка в зависимости от уровня физической нагрузки, механизма ресинтеза АТФ и потребления кислорода.

Ключевые слова: гипертрофия левого желудочка, эксцентрический и концентрический тип, фракция выброса, аэробные и анаэробные нагрузки.

The athlete's heart: mechanisms of ATP resynthesis

Annotation. The article discusses the main variants of the "athletic" heart: the eccentric type of left ventricular hypertrophy and the concentric type of left ventricular hypertrophy. The mechanisms of regulation of heart rate and left ventricular ejection fraction are discussed depending on the level of physical activity, the mechanism of ATP resynthesis and oxygen consumption.

Key words: left ventricular hypertrophy, eccentric and concentric type, ejection fraction, aerobic and anaerobic exercise.

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. Чем чаще человек используют разнообразные физические нагрузки различной мощности, тем активнее вовлекается в процесс адаптации сердечная мышца и тем чаще формируется «спортивное» сердце [2, 3, 5].

Механизмов адаптации сердца к физической нагрузке два:

1. увеличение фракции выброса из левого желудочка;
2. увеличение частоты сердечных сокращений.

Соответственно, физиологическими критериями оценки эффективности работы левого желудочка считают: ударный объем левого желудочка, фракцию выброса из левого желудочка и частоту сердечных сокращений. В покое фракция выброса из левого желудочка обычно составляет 50-60% от конечно-диастолического объема [2, 3, 5].

Частота сердечных сокращений у обычного человека в покое составляет 60-80 ударов в минуту, у спортсменов, имеющих признаки спортивного сердца, частота сердечных сокращений замедляется до 40-60 ударов в минуту [2, 3, 5].

При частоте сердечных сокращений от 80 до 170 уд/мин параллельно увеличивается фракция выброса из левого желудочка с 60% до 90%. Частота сердечных сокращений 100-150 уд/мин считается наиболее оптимальной для работы левого желудочка, т.к. при дальнейшем повышении частоты

сердечных сокращений до 180-200 уд/мин фракция выброса из левого желудочка снижается с 90% до 70-80% [2, 3, 5].

Увеличение частоты сердечных сокращений при субмаксимальной и максимальной физической нагрузке может достигать до 180-200 уд/мин [1].

При постоянных аэробных или анаэробных физических нагрузках различной мощности формируется «спортивное» сердце.

Формирование «спортивного» сердца идет по двум основным механизмам [2, 3, 5]:

1. увеличение конечно-диастолического объема левого желудочка (эксцентрическая гипертрофия левого желудочка);
2. увеличение толщины миокарда левого желудочка (концентрическая гипертрофия левого желудочка).

Увеличение конечно-диастолического объема левого желудочка (эксцентрическая гипертрофия левого желудочка) чаще наблюдается при длительных аэробных физических нагрузках различной мощности. Увеличение толщины миокарда левого желудочка (концентрическая гипертрофия левого желудочка) чаще наблюдается при длительных анаэробных физических нагрузках различной мощности [2, 3, 5].

Идеальное «спортивное» сердце – это когда два механизма адаптации к различным типам физической нагрузки протекают параллельно. Увеличение конечно-диастолического объема левого желудочка без увеличения толщины миокарда левого желудочка будет сопровождаться увеличением ударного объема левого желудочка, но без возможности работать в течение длительного времени. Увеличение толщины миокарда левого желудочка без увеличения конечно-диастолического объема левого желудочка не будет сопровождаться увеличением ударного объема левого желудочка и притока крови к скелетным мышцам [2, 3, 5].

Параллельное увеличение конечно-диастолического объема левого желудочка и толщины миокарда левого желудочка часто наблюдается в видах спорта, связанных с силовой выносливостью. Конечно-диастолический объем левого желудочка может увеличиваться со 100 мл до 200 мл (d – гипертрофия), толщина миокарда левого желудочка может повышаться с 7-8 мм до 12-15 мм [2, 3, 5]. Выделяют небольшое увеличение, умеренное увеличение, выраженное увеличение и значительно выраженное увеличение конечно-диастолического объема, толщины миокарда задней стенки левого желудочка и межжелудочковой перегородки [2-5].

Параллельное увеличение конечно-диастолического объема левого желудочка и толщины миокарда левого желудочка значительно повышают аэробные возможности (максимальное потребление кислорода) спортсменов. Увеличение конечно-диастолического объема левого желудочка и толщины миокарда левого желудочка у спортсменов требуют увеличения количества капилляров, увеличения количества белка миоглобина и митохондрий в сердечной мышце [3, 5]. Сформированное

«спортивное» сердце значительно повышает возможности спортсмена для выполнения в большей степени аэробных физических нагрузок субмаксимальной и максимальной мощности [2, 5].

В сердечной мышце для аэробного ресинтеза АТФ обычно используются свободные жирные кислоты (СЖК) и молочная кислоты (МК) (60%), глюкоза (Глю) (30%) и пировиноградная кислота (ПВК), креатинфосфат (КФ) и др. (10%). Использование свободных жирных кислот в качестве основного субстрата для аэробного ресинтеза АТФ обусловлено уникальными особенностями сердечной мышцы. Сердечная мышца имеет в 3-5 раз больше капилляров, миоглобина и митохондрий, чем скелетные мышцы. Сердечная мышца в покое забирает 80% кислорода из гемоглобина эритроцитов, протекающих по коронарным артериям. Таким образом, сердечная аэробная мышца получает достаточное количество кислорода и как следствие является не утомляемой [1].

По-видимому, для аэробного ресинтеза АТФ при ЧСС от 60 до 100 ударов в минуту используется в большей степени СЖК=100-85% и Глю=0-15% (дыхательный коэффициент (ДК) = 0.69-0.75), при ЧСС от 100 до 130 уд/мин использование СЖК составляет 85-70% и Глю=15-30%, (ДК = 0.75-0.80), при ЧСС от 130 до 150 уд/мин использование СЖК составляет 70-50% и Глю=30-50%, (ДК = 0.80-0.85), при ЧСС от 150 до 170 уд/мин использование СЖК составляет 50-30-10% и Глю=50-70-90%, (ДК = 0.85-0.95).

При ЧСС от 60 до 170 уд/мин имеется прямая зависимость между дозированием физической нагрузки, ЧСС и уровнем потреблением кислорода (тест РВС-170) [1]. Прирост минутного объема крови (МОК) сопровождается параллельным увеличением ЧСС и фракции выброса. ЧСС равное 150-170 уд/мин как правило совпадает с порогом анаэробного обмена (тест Конкони) и увеличением концентрации молочной кислоты в крови до 10-12 ммоль/л. В этот период использование СЖК для аэробного ресинтеза АТФ снижается до 0, и сердечная мышца начинает использовать молочную кислоту (МК) для ресинтеза АТФ (МК=0-30% и Глю=100-70%, ДК=1.0-1.17). При ЧСС от 170 до 190 уд/мин отмечается прирост молочной кислоты в крови до 10-20 ммоль/л (МК=30-50% и Глю=70-50%, ДК=1.17-1.33). В точке ЧСС=160-170 уд/мин отмечается «прогиб» пульса и при ЧСС=170-190 уд/мин прирост МОК становится более пологим, что обусловлено уменьшением фракции выброса при увеличении ЧСС. При ЧСС 190-200 уд/мин возможно использование креатинфосфата сердечной мышцей на короткий период до 20-30 секунд.

Потребление кислорода (мл/мин/кг), по-видимому, является ключевым фактором, определяющим ЧСС. В покое потребление кислорода составляет 3.5 мл O_2 /мин/кг (или 250 мл O_2 /мин или 50 мл O_2 /л) [1]. У обычного человека в покое это равновесие достигается при ЧСС=70 уд/мин, ударном объеме = 71.5 мл и МОК = 5 л. У спортсменов, имеющих признаки

спортивного сердца, это равновесие достигается при ЧСС=50 уд/мин, ударном объеме = 100 мл и МОК = 5 л. Соответственно, у обычного человека при субмаксимальной нагрузке (ЧСС=180 уд/мин) максимальное потребление кислорода может составить 3 л O₂/мин или 43 мл O₂/мин/кг (МОК = 18 л). У спортсменов, имеющих признаки спортивного сердца, при субмаксимальной нагрузке (ЧСС=180 уд/мин) максимальное потребление кислорода может составить 4.6 л O₂/мин или 66 мл O₂/мин/кг (МОК = 27 л). Высокие показатели МПК (85-95 мл O₂/мин/кг или 5.95-6.65 л O₂/мин) чаще встречается у спортсменов с повышенным ударным объемом левого желудочка (d+1 – гипертрофия), высоким уровнем кислородной емкости крови и артериовенозной разницей по кислороду [1].

Список литературы

1. Волков, Н.И. Биохимия мышечной деятельности / Н.И. Волков, Э.Н. Песен, А.А. Осипенко, С.Н. Корсун. – К.: Олимпийская литература, 2000. – 503 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. Земцовский, Э.В. Спортивная кардиология / Э.В. Земцовский. – СПб.: Гиппократ, 1995. – 448 с.
4. Рекомендации по количественной оценке структуры и функции камер сердца // Российский кардиологический журнал. – 2012. – Том. 95, № 3. – С. 1-28.
5. Шарыкин, А.С. Основные направления в формировании морфологических изменений сердца спортсменов / А.С. Шарыкин, В.А. Бадтиева, П.А. Субботин, З.Г. Рубаева, Н.Е. Попова, М.Н. Хохлова // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2014. – Том. 13, № 5. – С. 94-102.

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.