

Физиологические механизмы формирования «спортивного» сердца

Тюрюмин Я.Л.

Аннотация. В статье рассматриваются основные физиологические механизмы формирования «спортивного» сердца: эксцентрический тип гипертрофии левого желудочка и концентрический тип гипертрофии левого желудочка. Обсуждаются идеальные механизмы физиологической адаптации левого желудочка к аэробным и анаэробным физическим нагрузкам в зависимости от частоты сердечных сокращений. Рассматриваются механизмы ресинтеза АТФ в сердечной мышце и фракция выброса левого желудочка при различных вариантах физической нагрузки: умеренной, средней, субмаксимальной и максимальной.

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

Physiological mechanisms of "athlete's" heart formation

Annotation. The article discusses the main physiological mechanisms of "athlete's" heart formation: eccentric hypertrophy and concentric hypertrophy. The physiological mechanisms of heart adaptation to aerobic and anaerobic exercise, depending on the heart rate, are discussed. Different mechanisms of ATP resynthesis in the heart muscle and the ejection fraction are considered for different types of physical activity: moderate, medium, submaximal and maximum.

Key words: heart 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 [9].

Механизмов адаптации сердца к физической нагрузке два:

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

Пусковым моментом увеличения частоты сердечных сокращений является повышенный приток крови в правое предсердие из верхней полой вены (при работе верхнего мышечного насоса) и/или из нижней полой вены (при работе нижнего мышечного насоса).

Повышенный приток крови в правое предсердие стимулирует синоатриальный узел и начинается систола предсердий. Повышенный приток крови в правый желудочек стимулирует атриовентрикулярный узел и начинается систола желудочков. Увеличение количества импульсов в синоатриальном и атриовентрикулярном узлах повышает частоту сердечных сокращений. Увеличение частоты сердечных сокращений

происходит параллельно увеличению притока крови и объему мышечной нагрузки, т.е. чем больше мышечная нагрузка, тем больше работает верхний и нижний мышечные насосы, тем больше приток крови в правое предсердие, тем больше частота сердечных сокращений [6].

Частота сердечных сокращений у обычного человека в покое составляет 60-80 ударов в минуту, у спортсменов, имеющие признаки спортивного сердца, частота сердечных сокращений замедляется до 40-60 ударов в минуту [3]. Увеличение частоты сердечных сокращений при субмаксимальной и максимальной физической нагрузке может достигать до 180-200 ударов в минуту [10].

При частоте сердечных сокращений от 80 до 110 ударов в минуту параллельно увеличивается фракция выброса из левого желудочка с 60% до 90%. Частота сердечных сокращений с 110 до 150 ударов в минуту считается наиболее оптимальной для работы левого желудочка, т.к. при дальнейшем повышении частоты сердечных сокращений до 180-200 ударов фракция выброса из левого желудочка снижается с 90% до 80% [5].

Соответственно физиологические критерии оценки эффективности работы левого желудочка считают ударный объем левого желудочка, фракцию выброса из левого желудочка и частоту сердечных сокращений. В покое ударный объем левого желудочка обычно составляет 50-60% от конечно-диастолического объема [7].

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

Формирование «спортивного» сердца идет по двум основным механизмам [7]:

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 [4].

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 [9].

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 с 100 мл до 200 мл, толщина миокарда левого желудочка может повышаться с 7-8 мм до 12-15 мм [7].

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. Сформированное «спортивное» сердце значительно повышает возможности спортсмена для выполнения в большей степени аэробных физических нагрузок субмаксимальной и максимальной мощности [8].

В сердечной мышце для аэробного ресинтеза АТФ обычно используются свободные жирные кислоты и молочная кислоты (60%), глюкоза (30%) и пировиноградная кислота, креатинфосфат 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 «купается» в достаточном количестве кислорода и как следствие считается не утомляемой [4].

По-видимому, для аэробного ресинтеза АТФ в покое и при умеренной физической нагрузке (ЧСС от 80 до 110 ударов в минуту) длительной продолжительности используется в большей степени свободные жирные кислоты, при средней и субмаксимальной физической нагрузке (ЧСС от 110 до 170 ударов в минуту) средней продолжительности используется в большей степени глюкоза, и при максимальной физической нагрузке (ЧСС от 180 до 200 ударов в минуту) короткой продолжительности используется в большей степени креатинфосфат [1].

Во время работы скелетной мускулатуры минутный объем крови обусловлен ростом как ударного объема, так и частоты сердечного ритма. При переходе из состояния покоя в нагрузку или активную деятельность ударный объем левого желудочка быстро возрастает и достигает стабильного уровня (90%) во время интенсивной работы до 10 мин. Ударный объем левого желудочка увеличивается за счет более полного

опорожнения желудочков. Максимальная величина (90%) ударного объема левого желудочка наблюдается при частоте сердечных сокращений 110-150 уд/мин. В дальнейшем с увеличением нагрузки и ЧСС до 180-200 уд/мин скорость выброса и заполнения левого желудочка уменьшается до 80% [9]. При долгих и нарастающих нагрузках ударный объем левого желудочка также не растет, а наоборот, снижается. Поддержка необходимого уровня кровообращения обеспечивается большей ЧСС [10].

Гипертрофия – изменение в строении мышцы, влекущее за собой усиленной сократительной деятельности сердца, так называемой гиперфункцией. Если плотность капилляров на 1 ед. массы сердечной мышцы при этом повышается или сохраняется на уровне, характерном нормальному миокарду, гипертрофия происходит в обычных физиологических границах.

В нормально развитом сердце на 1 мм³ единицы мышечной массы в покое раскрыты 2500 капилляров. При активной мышечной работе раскрываются дополнительно около 2000 капилляров. Долгосрочная адаптация обеспечивается усилением биосинтетических процессов в сердце и увеличением ее собственной массы (%). Масса сердечной мышцы увеличивается в пределах 30-40%. Сеть капилляров растет наряду с увеличивающейся массой [5]. Тренированное, умеренно гипертрофированное сердце в условиях физического покоя имеет пониженный обмен, относительно умеренную брадикардию, пониженный минутный объем крови (МОК). При систематической мышечной работе в сердечной мышце сердца тренированного человека понижается скорость окислительных процессов [9].

Процессы восстановления после выполненной нагрузки отличаются характерной высокой скоростью восстановления, то есть адаптация происходит на много быстрее [8].

Увеличение частоты сердечных сокращений и ударного объема левого желудочка – это физиологические механизмы адаптации сердечно-сосудистой системы на нагрузку. Частота сердечных сокращений является очень важным показателем адаптационных возможностей сердечно-сосудистой системы при выполнении субмаксимальной и максимальной аэробной и анаэробной физической нагрузке. При выполнении субмаксимальной и максимальной аэробной и анаэробной физической нагрузки скелетные мышцы нуждаются в большом количестве кислорода. Только увеличение минутного объема кровообращения может повысить количество притока артериальной крови в работающие мышцы. Следовательно увеличение МОК при выполнении субмаксимальной и максимальной аэробной и анаэробной физической нагрузки является одним из ведущих механизмов адаптации к динамической нагрузке. Фракция выброса левого желудочка увеличивается до 90% при ЧСС 110-150 уд/мин. В последующем фракция выброса левого желудочка уменьшается до 80% и

прирост МОК происходит только за счет ЧСС до 160-190 уд/мин. По мере повышения уровня тренированности спортсменов расширяется диапазон частоты сердечных сокращений, в рамках которого фракция выброса 90% продолжает оставаться при пульсе 150-160 уд/мин [3].

Кислородно-транспортные возможности сердечно-сосудистой системы определяются минутным объемом кровообращения, кислородной емкостью крови и максимальным потреблением кислорода. Потребление кислорода мышцами напрямую зависит от минутного объема кровообращения и коэффициента утилизации кислорода (КУК), т.е. от артериовенозной разности по кислороду O_2 ($AVP-O_2$) [9].

Ударный объем левого желудочка увеличивается постепенно как следствие продолжительных интенсивных аэробных и анаэробных физических нагрузок:

- увеличения объема левого желудочка;
- увеличение толщины миокарда и сократительной функции левого желудочка

Увеличение объема левого желудочка сопровождается:

- ростом конечно-диастолического объема левого желудочка;
- увеличением поступления максимального количество артериальной крови в диастолу;
- уменьшением конечно-систолического объема левого желудочка;
- увеличением ударного объема левого желудочка;
- увеличением максимального количество артериальной крови в большом круге кровообращения во время систолы левого желудочка.

Наивысшие показатели ударного объема левого желудочка фиксируются при выполнении умеренной аэробной физической нагрузке. Фракция выброса левого желудочка достигает 90%. Наивысшие показатели минутного объема кровообращения фиксируются при выполнении субмаксимальной и максимальной аэробной физической нагрузке. Фракция выброса левого желудочка снижается до 80%, но увеличивается ЧСС до 180-190 ударов в минуту. Это соответствует уровню максимального потребления кислорода (МПК). Высокий показатель МПК чаще встречается у спортсменов с повышенным ударным объемом левого желудочка и высоким уровнем кислородной емкости крови [9].

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. Дембо, А.Г. Спортивная кардиология. Руководство для врачей / А.Г. Дембо, Э.В. Земцовский. – Л.: Медицина, 1989. – 464 с.

4. Граевская, Н.Д. Спортивная медицина. Курс лекций и практические занятия. Часть 1. Учебное пособие. / Н.Д. Граевская, Т.И. Долматова. – М.: Советский спорт, 2004. – 304 с.
5. Земцовский, Э.В. Спортивная кардиология / Э.В. Земцовский. – СПб.: Гиппократ, 1995. – 448 с.
6. Морман, Д. Физиология сердечно-сосудистой системы / Д. Морман, Л. Хеллер. – СПб.: Питер, 2000. – 256 с.
7. Рекомендации по количественной оценке структуры и функции камер сердца // Российский кардиологический журнал. – 2012. – Т.95, № 3. – С. 1-28.
8. Смирнов, В.М. Физиология физического воспитания и спорта: Учеб. для студ. сред, и высш. учебных заведений / В.М. Смирнов, В.И. Дубровский. – М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2002. – 608 с.
9. Уилмор, Дж.Х. Физиология спорта и двигательной активности / Дж.Х. Уилмор, Д.Л. Костилл. – К.: Олимпийская литература, 1997. – 459 с.
10. Янсен, П. ЧСС, лактат и тренировки на выносливость: Пер. с англ. / П. Янсен. – Мур.: Тулома, 2006. – 160 с.

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.