

Типы мышечных волокон: зоны мощности и причины утомления.

Тюрюмин Я.Л.

Аннотация. В статье рассматриваются основные типы мышечных волокон, зоны относительной мощности в циклических видах спорта, анаэробные и аэробные механизмы ресинтеза АТФ в мышечных волокнах, причины утомления различных типов мышечных волокон.

Ключевые слова: типы мышечных волокон, зоны мощности, механизмы ресинтеза АТФ, причины утомления.

Types of muscle fibers: power zones and causes of fatigue.

Abstract. The article discusses the main types of muscle fibers, zones of relative power in cyclic sports, anaerobic and aerobic mechanisms of ATP resynthesis in muscle fibers, causes of fatigue of various types of muscle fibers.

Key words: types of muscle fibers, power zones, mechanisms of ATP resynthesis, causes of muscle fatigue.

Введение. Различают четыре типа мышечных волокон [1-2, 4-8, 10]:

1. тип IIb – белые, сильные, быстросокращающиеся, анаэробные, креатинфосфокиназные (алактатные), быстроутомляемые;
2. тип IIa – «розовые», сильные, быстросокращающиеся, анаэробные, гликолитические (лактатные), быстроутомляемые;
3. тип IIa – «розовые», сильные, быстросокращающиеся, аэробные, окислительные, медленноутомляемые;
4. тип I – красные, слабые, медленно сокращающиеся, аэробные, окислительные, медленноутомляемые.

Фарфель В.С. [9] анализируя рекорды скорости и выносливости выделил четыре зоны относительной мощности в циклических видах спорта: максимальной (10-20 сек), субмаксимальной (20-300 сек), большой (300-1800 сек) и умеренной (более 1800 сек) мощности. Эти четыре зоны относительной мощности определены во время математического анализа мировых рекордов на различных дистанциях [9].

Классификация зон относительной мощности в циклических видах спорта хорошо согласуется с четырьмя типами мышечных волокон [1-10]:

1. зона максимальной мощности – это зона работы IIb типа мышечных волокон, основной субстрат для ресинтеза АТФ – креатинфосфат, время работы от 1 сек до 20-25 секунд, максимально используются на дистанциях 100 м и 200 м, способны поддерживать скорость на этих дистанциях от 9.6 м/с до 10.4 м/с;
2. зона субмаксимальной мощности – это зона работы IIa типа гликолитических мышечных волокон, тестостерон-зависимые, основной субстрат для ресинтеза АТФ – глюкоза, время работы от 10-20 сек до 300 секунд, активно используются на дистанциях 200 м, 400 м, 800 м и 1000 м, способны поддерживать скорость на этих дистанциях от 7.6 м/с до 9.3 м/с;

3. зона большой мощности – это зона работы IIa типа окислительных мышечных волокон, основной субстрат для ресинтеза АТФ – молочная кислота и пировиноградная кислота, время работы от 150 сек до 1800 секунд, активно используются на дистанциях 1500 м, 3000 м, 5000 м и 10000 м, способны поддерживать скорость на этих дистанциях от 6.4 м/с до 7.3 м/с;

4. зона умеренной мощности – это зона работы I типа мышечных волокон, основной субстрат для ресинтеза АТФ – свободные жирные кислоты, время работы от 1800 сек до 7800 секунд и более, максимально используются на дистанциях более 10000 м, включая марафон 42195 м, супермарафон и суточный бег, способны поддерживать скорость на этих дистанциях от 5.7 м/с до 6.0 м/с.

Скорость сокращения мышечных волокон зависит от количества волокон, размеров и диаметра мотонейрона, порога возбуждения мотонейрона и скорости проведения потенциала действия, активности АТФ-азы миозина и скорости ресинтеза АТФ.

Результаты исследования и их обсуждение. Мышечные волокна IIb типа, гликолитические и окислительные мышечные волокна IIa типа иннервируются толстыми мотонейронами с высоким порогом возбуждения и высокой скоростью проведения потенциала действия.

Быстрая скорость анаэробного ресинтеза АТФ из креатинфосфата и высокая скорость проведения потенциала действия способствуют максимальной скорости сокращения мышечных волокон IIb типа и высокой скорости бега от 9.6 м/с до 10.4 м/с у спринтеров на дистанции на 100 и 200 м [1-10].

Причиной утомления мышечных волокон IIb типа у спринтеров может быть истощение запасов креатинфосфата в мышечных волокнах IIb типа.

Более медленная скорость анаэробного ресинтеза АТФ из глюкозы и высокая скорость проведения потенциала действия способствуют субмаксимальной скорости сокращения гликолитических мышечных волокон IIa типа и менее высокой скорости бега от 7.6 м/с до 9.3 м/с у легкоатлетов на дистанции на 400, 800 и 1000 м [1-10].

Причиной утомления гликолитических мышечных волокон IIa типа у легкоатлетов может быть накопление молочной кислоты: у легкоатлетов на дистанции 400 м образуется много молочной кислоты в мышцах, у легкоатлетов на дистанции 800 м много молочной кислоты и в мышцах и в крови, у легкоатлетов на дистанции 1000 м концентрация молочной кислоты в мышцах и крови может достигать максимальных значений (25 ммоль/л).

Сложность дистанции 400 м: чем выше скорость, тем больше образуется молочной кислоты в гликолитических мышечных волокнах IIa типа, которая не успевает выйти в кровь и блокирует АТФ-азную активность миозина в гликолитических мышечных волокнах IIa типа. Как следствие, замедляется скорость сокращения и падает скорость бега.

Сложность дистанции 800 м: чем выше скорость, тем больше образуется молочной кислоты в гликолитических мышечных волокнах IIa типа, которая быстро выходит в кровь.

Нужно отметить, что в гликолитических мышечных волокнах IIa типа на одну молекулу АТФ образуется одна молекула молочной кислоты в мышцах и одна молекула не метаболического CO_2 в крови.

При повышении концентрации молочной кислоты до 22-25 ммоль/л в гликолитических мышечных волокнах IIa типа, величина рН в мышцах снижается до 6.9-7.0, возникает ацидоз. Снижение рН до 6.9-7.0 вызывает уменьшение активности многих ферментов, контролирующих реакцию гликолиза. Ацидоз в мышцах приводит к нарушению работы нейронов, ухудшению нейромышечной передачи, снижению АТФ-азной активности миозина и уменьшению скорости расщепления АТФ в гликолитических мышечных волокнах IIa типа, замедлению скорости сокращения и скорости бега [1-10].

При повышении концентрации молочной кислоты до 22-25 ммоль/л в крови, величина рН крови снижается до 7.0, возникает метаболический ацидоз. Избыток молочной кислоты в крови способствует образованию не метаболического CO_2 в крови, стимуляции дыхательного центра и возникновению выраженной одышки у спортсмена [1-10].

Средняя скорость аэробного ресинтеза АТФ из молочной кислоты и пировиноградной кислоты и высокая скорость проведения потенциала действия способствуют средней скорости сокращения окислительных мышечных волокон IIa типа и средней скорости бега от 6.4 м/с до 7.3 м/с у легкоатлетов на дистанциях 1500 м, 3000 м, 5000 м и 10000 м [1-10].

Причиной утомления окислительных мышечных волокон IIa типа у легкоатлетов может быть истощение запасов гликогена и глюкозы в окислительных мышечных волокнах IIa типа у легкоатлетов на дистанции 10000 м.

Мышечные волокна I типа иннервируются тонкими мотонейронами с низким порогом возбудимости и низкой скоростью проведения потенциала действия.

Медленная скорость аэробного ресинтеза АТФ из свободных жирных кислот и низкая скорость проведения потенциала действия способствуют медленной скорости сокращения мышечных волокон I типа и невысокой скорости бега от 5.7 м/с до 6.0 м/с у марафонцев на дистанциях более 10000 м и 42195 м [1-10].

Причиной утомления мышечных волокон I типа у марафонцев может быть снижение активности нейромышечной передачи (снижение синтеза и концентрации ацетилхолина в концевых веточках аксона — пресинаптический нервно-мышечный блок), истощение запасов гликогена в мышцах и печени, снижение концентрации глюкозы в крови для активной работы коры головного мозга [1-10].

Мышечные волокна IIb типа будут преобладать у тяжелоатлетов, гликолитические мышечные волокна IIa типа будут преобладать у бодибилдеров, окислительные мышечные волокна IIa типа будут преобладать у лыжников, биатлонистов и велосипедистов, мышечные волокна I типа будут преобладать у обычных людей.

При ЧСС = 70 ударов в минуту в покое основную физическую работу выполняют мышечные волокна I типа (100%), дыхательный коэффициент равен 0.70.

При повышении ЧСС = 70-100 ударов в минуту к выполнению физической работы мышечными волокнами I типа (80%) присоединяются окислительные мышечные волокна IIa типа (20%), дыхательный коэффициент равен 0.76.

При повышении ЧСС = 100-140 ударов в минуту доля вовлечения окислительных мышечных волокон IIa типа повышается до 40%, дыхательный коэффициент равен 0.80.

При повышении ЧСС = 140-155 ударов в минуту (аэробный порог) выполнение физической работы между мышечными волокнами I типа (50%) и окислительными мышечными волокнами IIa типа (50%) выравнивается, дыхательный коэффициент равен 0.80.

При повышении ЧСС = 155-170 ударов в минуту (анаэробный порог) выполнение физической работы мышечными волокнами I типа снижается до минимума и окислительными мышечными волокнами IIa типа повышается до максимума, дыхательный коэффициент равен 1.0. В этот период увеличивается доля вовлечения гликолитических мышечных волокон IIa типа на фоне истощения возможностей утилизации молочной кислоты окислительными мышечными волокнами IIa типа. Как следствие, повышается концентрация молочной кислоты в гликолитических мышечных волокнах IIa типа.

При повышении ЧСС = 170-190 ударов в минуту избыток молочной кислоты, образовавшийся в гликолитических мышечных волокнах IIa типа, не захватывается окислительными мышечными волокнами IIa типа и начинает выходить в кровь, повышается концентрация не метаболического CO₂, дыхательный коэффициент повышается 1.17-1.34 [1-10].

Заключение. Таким образом, четыре типа мышечных волокон хорошо описывают четыре зоны относительной мощности в циклических видах спорта, различные варианты утомления и выполнения физической нагрузки.

Список литературы

1. Волков, Н.И. Биохимия мышечной деятельности / Н.И. Волков, Э.Н. Песен, А.А. Осипенко, С.Н. Корсун. – Киев: Олимпийская литература, 2000. – 503 с.
2. Волков, Н.И. Биоэнергетика спорта: монография / Н.И. Волков, В.И. Олейников. – Москва: Советский спорт, 2011. – 160 с.
3. Михайлов С.С. Спортивная биохимия: Учебник для вузов и колледжей физической культуры / С.С. Михайлов. – М.: Советский спорт, 2004. – 220 с.

4. Мохан, Р. Биохимия мышечной деятельности физической тренировки / Р. Мохан, М. Глессон, А.Л. Грингафф. – Киев: Олимпийская литература, 2001. – 295 с.
5. Мякинченко, Е.Б. Развитие локальной мышечной выносливости в циклических видах спорта / Е.В. Мякинченко, В.Н. Селуянов. – М.: ТВТ Дивизион, 2009. – 360 с.
6. Николаев, А.А. Развитие выносливости у спортсменов / А.А. Николаев, В.Г. Семёнов. – Москва: Спорт, 2017. – 144 с.
7. Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В.Н. Платонов. – К.: Олимпийская литература, 2004. – 808 с.
8. Уилмор, Дж.Х. Физиология спорта и двигательной активности / Дж.Х. Уилмор, Д.Л. Костилл. – Киев: Олимпийская литература, 1997. – 459 с.
9. Фарфель, В.С. Управление движениями в спорте / В.С. Фарфель. – М.: Физкультура и спорт, 1975. – 208 с.
10. Янсен, П. ЧСС, лактат и тренировки на выносливость: Пер. с англ. / П. Янсен. – Мур.: Тулома, 2006: 160 с.

Тюрюмин Я.Л. Типы мышечных волокон. Зоны мощности и причины утомления // Сборник научно-методических материалов VI Всероссийской научно-практической конференции по лёгкой атлетике с международным участием «Тенденции развития легкоатлетического спорта в России и в мире в современных условиях: проблемы и перспективы» (20-21 декабря 2022 г). – Москва, 2022. – с. 30-35.