

Малятов М.В.,

студент,

2 курс, Экономический факультет

Стерлитамакский филиал Уфимского университета науки и технологий

Россия, г. Стерлитамак

БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УРОКАХ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ: ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЕ, УТОМЛЕНИЕ И ГИДРАТАЦИЯ

***Аннотация:** Физическая активность на уроках физической культуры вызывает комплекс биохимических изменений в организме, связанных с энергообеспечением мышечной деятельности, изменением кислотно-основного состояния и водно-электролитного баланса. В обзоре рассматриваются механизмы ресинтеза АТФ при различных типах упражнений, причины возникновения утомления и мышечного жжения, а также роль гидратации в поддержании работоспособности и профилактике травматизма.*

***Ключевые слова:** физическая культура, АТФ, гликоген, гликолиз, лактат, утомление, гидратация, электролиты.*

***Annotation:** Physical activity during physical education lessons causes a complex of biochemical changes in the body associated with the energy supply of muscle activity, changes in acid-base state and water-electrolyte balance. The review examines the mechanisms of ATP resynthesis during various types of exercises, the causes of fatigue and muscle burning sensation, as well as the role of hydration in maintaining performance and preventing injuries.*

***Key words:** physical education, ATP, glycogen, glycolysis, lactate, fatigue, hydration, electrolytes.*

Традиционно физическая культура воспринимается как сугубо практическая дисциплина, ориентированная на двигательный результат: преодоление дистанции, выполнение нормативных требований, участие в командных взаимодействиях. Однако любое произвольное движение становится возможным исключительно благодаря непрерывно протекающим химическим реакциям в организме. Мышечная ткань не функционирует автономно – для ее сократительной деятельности необходим постоянный приток энергии, которая в живых клетках аккумулируется и трансформируется посредством специфических молекулярных механизмов. В связи с этим урок физической культуры может рассматриваться как наглядная модель биохимических превращений: организм конвертирует нутриенты, поступившие с пищей, в механическую работу и тепловую энергию, а в пострегуляторном периоде восстанавливает израсходованные субстраты. Осознание данных процессов позволяет объяснить, почему при спринтерском беге быстро исчерпываются энергетические ресурсы, после интенсивной мышечной работы возникает чувство жжения, в условиях гипертермии снижается выносливость и возникает необходимость в своевременном потреблении жидкости [1, с. 45].

Непосредственным донором энергии для акта мышечного сокращения выступает молекула АТФ, которую часто характеризуют как «энергетическую валюту» клетки. Гидролиз АТФ, сопровождающийся образованием аденозиндифосфата (АДФ) и неорганического фосфата, высвобождает энергию, утилизируемую сократительными белками. Лимитирующим фактором является крайне ограниченный пул АТФ в миоцитах: при опоре исключительно на эндогенные запасы макроэрга активная двигательная деятельность могла бы поддерживаться лишь на протяжении нескольких секунд. Следовательно, в период нагрузки организм вынужден оперативно ресинтезировать АТФ, задействуя различные

метаболические пути. Данный ресинтез представляет собой ключевую «химическую задачу», решаемую в процессе любого тренинга [2, с. 112].

В рамках школьного физического воспитания реализуются нагрузки различной направленности: кратковременные взрывные усилия (прыжки, метания, стартовое ускорение), субмаксимальные упражнения продолжительностью до нескольких минут (короткие спринты, круговая тренировка с минимальными интервалами отдыха) и длительная работа умеренной интенсивности (кроссовый бег, спортивные игры, эстафеты). Каждый из указанных режимов обеспечивается специфическими механизмами энергопродукции, обладающими характерными особенностями. Наиболее быстрый путь ресинтеза АТФ реализуется за счет креатинфосфата, депонируемого в мышечной ткани. Креатинфосфат способен практически мгновенно фосфорилировать АДФ, восстанавливая пул АТФ. Данная система обеспечивает максимальную мощность работы в первые секунды, обуславливая эффективность стартового рывка, прыжка или короткого спринта. Однако емкость креатинфосфатного механизма невелика: его запасов хватает на 5–10 (в отдельных случаях до 15–20) секунд предельно интенсивной активности. По мере истощения креатинфосфата мышечная клетка утрачивает способность поддерживать исходную мощность, что субъективно воспринимается как падение «взрывной» силы. Восстановление концентрации креатинфосфата требует периодов отдыха, поэтому в тренировке скоростно-силовой направленности необходимы паузы; их отсутствие приводит к снижению качества повторений не вследствие «лени», а ввиду истощения быстрого энергетического субстрата [3, с. 78].

При пролонгировании нагрузки высокой интенсивности организм переключается на анаэробный гликолиз – процесс расщепления глюкозы до лактата, сопряженный с синтезом АТФ. В мышечных клетках глюкоза депонируется в форме гликогена, который мобилизуется при физической работе. Анаэробный гликолиз превосходит по скорости аэробное окисление,

поэтому он обеспечивает энергоснабжение в интервале от 20–30 секунд до 2–3 минут. Вместе с тем данный путь сопровождается накоплением промежуточных метаболитов и закислением внутриклеточной среды. Сдвиг рН в кислую сторону и повышение концентрации определенных ионов нарушают конформацию сократительных белков и ухудшают нервно-мышечную передачу, что вызывает характерное чувство жжения и быстро развивающееся утомление при беге на 200–400 м, серийных ускорениях или выполнении приседаний «до отказа». В обиходе это состояние часто связывают с «молочной кислотой», однако с научной точки зрения более значимым является комплексное изменение гомеостаза мышечного волокна, снижающее эффективность сокращения. При этом лактат, образующийся в ходе анаэробного обмена, не следует рассматривать исключительно как «вредный отход»: он способен утилизироваться в качестве энергетического субстрата другими тканями (например, миокардом) и подвергаться окислению. Таким образом, лактат выступает скорее маркером высокой интенсивности метаболизма, нежели единственной причиной утомления [2, с. 157].

При продолжительной нагрузке умеренной мощности (равномерный бег, длительная игровая деятельность, активная ходьба) доминирующее значение приобретает аэробный путь ресинтеза АТФ, требующий участия кислорода. В этом случае окислению подвергаются углеводы и липиды, а АТФ продуцируется более экономично и в значительно больших количествах по сравнению с анаэробными механизмами. Аэробный метаболизм позволяет сохранять активность на протяжении длительного времени, однако он не способен обеспечить столь же высокую мощность, как креатинфосфатная или гликолитическая системы. Именно поэтому человек не может бежать с максимальной скоростью длительно: при превышении определенного порога интенсивности потребность в энергии опережает возможности аэробного синтеза, что вынуждает подключать анаэробные источники и ускоряет

развитие утомления. Для практики физического воспитания важно понимать, что выносливость возрастает при систематическом предъявлении требований к аэробной системе, что сопровождается улучшением доставки кислорода к мышцам и повышением эффективности его утилизации в митохондриях. По сути, это «тренировка биохимического аппарата» мышечной клетки, выражающаяся в увеличении активности окислительных ферментов, более экономном расходовании гликогена и повышенном вкладе липидов в энергообеспечение [4, с. 203].

Утомление представляет собой многокомпонентный феномен, в основе которого лежат не одна, а совокупность причин. С биохимической точки зрения оно может быть обусловлено истощением доступных энергетических субстратов (креатинфосфата при взрывной работе или гликогена при длительной нагрузке), накоплением интермедиатов обмена, затрудняющих сократительный процесс, а также нарушениями водно-электролитного баланса и гипертермией. Особую значимость последние факторы приобретают в условиях недостаточного воздухообмена в спортивном зале, при повышенной температуре окружающей среды или высокой моторной плотности занятия, когда учащиеся длительное время находятся в движении [1, с. 92].

Вода в организме выполняет не только роль универсального растворителя, но и служит средой для протекания метаболических реакций и транспорта веществ. Во время физической нагрузки потоотделение усиливается, поскольку значительная часть энергии, высвобождающейся при гидролизе АТФ, трансформируется в тепло. Испарение пота с поверхности кожи обеспечивает терморегуляцию. Однако вместе с потом организм теряет не только воду, но и электролиты. При значительном дефиците жидкости уменьшается объем циркулирующей плазмы, что затрудняет работу сердца, снижает доставку кислорода к тканям и ухудшает теплоотдачу. Как следствие, быстрее развивается утомление, возникают головокружение,

слабость, нарушение координации движений. Для школьных занятий данный аспект имеет принципиальное значение с позиции безопасности: дегидратация повышает риск травматизма, особенно в игровых видах спорта, требующих резких смен направления, прыжков и контактных действий [5, с. 134].

Электролиты – преимущественно ионы натрия, калия, хлора, а также магния и кальция – участвуют в генерации и проведении нервных импульсов, а также в сопряжении возбуждения и сокращения мышечных волокон. Избыточная потеря солей с потом может провоцировать нарушения нервно-мышечной проводимости, в частности судорожные сокращения. Хотя судороги имеют многофакторную природу и не всегда прямо связаны с дефицитом электролитов, поддержание водно-солевого равновесия вносит существенный вклад в стабильную работу мышц при продолжительных нагрузках или в условиях жаркого климата. Поэтому тезис «вода важна» в научном контексте конкретизируется следующим образом: вода обеспечивает сохранение объема крови и эффективное охлаждение, а электролиты необходимы для нормальной передачи сигналов и функционирования мышечных клеток. В условиях стандартного школьного урока, как правило, достаточно употреблять чистую воду небольшими порциями; при экстремально длительных или высокоинтенсивных нагрузках (соревнования, тренировки на открытом воздухе в жаркую погоду) требуется адекватное поступление солей с пищей [5, с. 141].

Целесообразно отдельно остановиться на распространенном заблуждении, касающемся мышечной боли. Во время интенсивной работы возникает жжение и чувство «забитости», что связано с высокой метаболической нагрузкой и изменением внутренней среды мышцы. Однако отсроченная боль, появляющаяся через 24–48 часов после непривычной физической активности, чаще обусловлена микротравматизацией мышечных волокон и соединительной ткани, особенно при упражнениях с

эксцентрическим компонентом (прыжки с приземлением, бег под уклон, резкие остановки, приседания с необычной амплитудой). Данное состояние является нормальным проявлением адаптации, однако оно сигнализирует о том, что нагрузка была непривычной. В контексте организации физического воспитания это подчеркивает необходимость постепенного увеличения нагрузки, чтобы биохимические и структурные компоненты мышечной ткани успевали адаптироваться, а риск чрезмерной болезненности и травм минимизировался [4, с. 215].

Если экстраполировать описанные биохимические процессы на практику проведения урока, становится очевидной ключевая роль разминки. Предварительное повышение температуры мышц ускоряет метаболические реакции (поскольку в теплой среде ферментативный катализ протекает быстрее), улучшает эластичность соединительнотканых структур, активизирует кровоток и доставку кислорода. Кроме того, разминка подготавливает нервную систему, оптимизируя координацию. С биохимических позиций разминка обеспечивает плавный переход организма от состояния покоя к повышенному уровню обмена веществ, нивелируя резкость изменений и снижая риск функциональных перегрузок. Аналогично обоснована роль заминки: постепенное снижение интенсивности способствует нормализации гемодинамики, облегчает удаление продуктов метаболизма и поддерживает мягкий переход к восстановительному периоду, что может уменьшить постнагрузочный дискомфорт [3, с. 102].

Различные типы упражнений, применяемых на уроках, могут быть классифицированы по доминирующему механизму энергообеспечения. Короткие спринтерские ускорения, стартовые рывки, серии прыжков преимущественно реализуются за счет фосфагенной системы: требуется максимальная мощность, но продолжительность работы минимальна. В данном случае необходимы полноценные интервалы отдыха для ресинтеза креатинфосфата и сохранения качества каждого повторения. Дистанции

средней протяженности в высоком темпе, круговая тренировка с укороченными паузами в большей степени активируют анаэробный гликолиз; при этом учащийся испытывает жжение, дыхание резко учащается, техника движений ухудшается вследствие быстрого изменения внутримышечной среды. В таких режимах особенно важен контроль объема нагрузки и соблюдение техники безопасности, чтобы утомление не приводило к травмам. Длительный равномерный бег, спокойная игровая деятельность и ходьба в умеренном темпе базируются преимущественно на аэробном окислении; здесь ключевым показателем выступает способность сохранять активность без резкого ухудшения самочувствия. Развитие аэробной выносливости сопровождается повышением эффективности кардиореспираторной системы, ускорением восстановительных процессов и общей адаптацией к учебным нагрузкам [2, с. 189].

С позиций биохимии важно подчеркнуть, что тренировочный эффект не является «магическим», а достигается за счет адаптационной перестройки метаболических систем. Систематическая физическая активность ведет к увеличению запасов гликогена в мышцах, повышению активности ферментов энергетического обмена, улучшению утилизации кислорода и совершенствованию механизмов терморегуляции и поддержания объема циркулирующей крови при нагрузке. Именно поэтому тренированный индивид выполняет одинаковую работу с меньшими субъективными усилиями: его биохимические системы быстрее активируются, экономнее расходуют субстраты и оперативнее восстанавливаются. В школьной практике это проявляется в более быстром возвращении к норме после бега, меньшей одышке, сохранении техники движений и устойчивости темпа в игре [1, с. 208].

Практические рекомендации, вытекающие из биохимических закономерностей, можно сформулировать следующим образом:

1. Интенсивные упражнения (спринты, прыжки, силовые серии) требуют включения обоснованных пауз отдыха, поскольку быстрые энергетические ресурсы должны ресинтезироваться; в противном случае качество движений неизбежно снижается.

2. При нагрузках, сопровождающихся выраженным жжением и резкой одышкой, необходим тщательный контроль объема работы и соблюдение техники, так как утомление изменяет координационные способности и повышает риск травматизма.

3. Доступ к воде должен быть обеспечен на протяжении всего занятия, особенно в теплом помещении или на открытом воздухе; жидкость рекомендуется употреблять малыми порциями, не дожидаясь появления интенсивной жажды, поскольку последняя не всегда адекватно отражает степень дегидратации.

4. Восстановление после урока включает полноценное питание, сон и умеренную двигательную активность в последующий период, так как именно в фазе восстановления происходят адаптационные перестройки биохимических систем, а не во время самой нагрузки [5, с. 167].

Резюмируя вышеизложенное, следует констатировать неразрывную связь физической культуры с биохимией, поскольку любая двигательная активность базируется на превращениях веществ и энергетическом обмене клетки. АТФ выступает непосредственным источником энергии, а ее ресинтез обеспечивается фосфагенной системой, анаэробным гликолизом и аэробным окислением, причем вклад каждого пути определяется интенсивностью и продолжительностью упражнения. Утомление возникает вследствие комбинации факторов: истощения быстрых энергоносителей, накопления метаболитов, изменения внутренней среды, а также дегидратации и потери электролитов, особенно в условиях повышенной температуры и высокой моторной плотности занятия. Понимание указанных механизмов придает урокам физической культуры более осмысленный

характер: учащийся не просто выполняет двигательные задания, но и осознает необходимость разминки, интервалов отдыха, поддержания водного баланса и постепенного увеличения нагрузки. Это превращает физическое воспитание в практическую реализацию естественнонаучных знаний и способствует формированию осознанного отношения к здоровью и тренировочному процессу.

Использованные источники:

1. Волков Н. И. Биохимия мышечной деятельности : учебник для вузов / Н. И. Волков, Э. Н. Несен, А. А. Осипенко. – М. : Спорт, 2020. – 504 с.
2. Михайлов С. С. Спортивная биохимия : учебник для вузов / С. С. Михайлов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : Советский спорт, 2021. – 348 с.
3. Рогозкин В.А. Биоэнергетика спорта / В. А. Рогозкин. – СПб. : Питер, 2019. – 296 с.
4. Селуянов В. Н. Основы теории адаптации и закономерности формирования физического здоровья : учебно-методическое пособие / В. Н. Селуянов. – М. : ТВТ Дивизион, 2020. – 352 с.
5. Шаханова А. В. Физиология и биохимия физических упражнений : учебное пособие / А. В. Шаханова, Ю. К. Вартанова. – М. : Юрайт, 2022. – 294 с.