

ЗНАЧЕНИЕ МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ В ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИИ ИНТЕНСИВНОЙ МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А.В. Шаров, канд. пед. наук, доцент,

Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина,

Т.П. Юшкевич, д-р пед. наук, профессор,

Белорусский государственный университет физической культуры

Среди тренеров и спортсменов широко распространено мнение об отрицательном влиянии накопления молочной кислоты в организме или ее производной – лактата при выполнении интенсивной мышечной деятельности. Считается, что лактат является причиной утомления. Однако результаты исследований показывают, что ряд органов (сердце, мозг и мышцы) используют его как энергетический субстрат. Эти данные позволяют изменить мнение о лактате как о вредном продукте спортивной деятельности человека.

It is widely believed by coaches and athletes about the negative effects of lactic acid or its derivative – lactate – accumulation in the process of intense muscular activities. Lactate is considered to be the cause of fatigue. But the research data demonstrate that a number of organs (heart, brain and muscles) use it as an energy substrate. These data allow changing one's opinion concerning lactate as a harmful product of human sports activities.

Введение. Большинство тренеров и спортсменов, анализируя вопросы энергообеспечения бега на средние и длинные дистанции, рассматривают молочную кислоту, иногда определяемую как лактат, в качестве конечного продукта анаэробного метаболизма, причем отрицательного продукта спортивной деятельности. Однако эта точка зрения в последнее время подвергается все большей критике [1].

С тех пор как спортивная наука показала, что лактат в системе энергообеспечения физической деятельности проявляет себя не только отрицательно, но и положительно, результаты исследований позволили подвергнуть сомнению одно из основных положений теории мышечного утомления – увеличению кислотности или ацидоза вследствие накопления молочной кислоты [2].

На основе анализа специальной научной и методической литературы попытаемся представить, какую роль играет молочная кислота в организме человека в процессе выполнения физических нагрузок, и какова ее роль в утомлении в спортивной деятельности.

Для лучшего понимания процесса метаболизма в процессе энергообеспечения физических нагрузок необходим критический анализ некоторых вопросов, касающихся образования молочной кислоты.

Образование лактата. Продуктом конечной стадии гликолиза, происходящего в аэробных условиях, является пировиноградная (пируватная) кислота.

Традиционно считалось, что недостаток кислорода ведет к преобразованию пировата в молочную кислоту, что сопровождалось последующим увеличением лактата в крови и мышцах [3].

За последние десятилетия появились новые научные данные, ставящие под сомнение это положение [4–6]. Результаты исследований показывают, что недостаток кислорода является только одним из факторов, определяющих увеличение лактата в мышцах и крови во время выполнения нагрузок субмаксимальной мощности. Фактически молочная кислота может образовываться в любое время гликолиза и эта реакция происходит независимо от присутствия или отсутствия кислорода, причем не только во время физической работы, но и в покое [2].

Молочная кислота (lactic acid) и лактат (lactate) не являются одной и той же субстанцией. В процессе гликолиза образуется молочная кислота, которая затем быстро диссоциирует, высвобождая гидrogenный ион водорода (H^+). На освободившееся место присоединяются ионы натрия (Na^+) или калия (K^+), образуя соль, названную лактатом [2]. Таким образом, в крови спортсменов при лабораторном тестировании обнаруживают лактат, а не молочную кислоту.

Традиционно анаэробный порог рассматривался как некоторый рубеж, после которого производство энергии в организме происходит с преобладанием анаэробного метаболизма. Фактически начало накопления лактата в крови означает нарушение баланса между производством молочной кислоты и ее удалением и не свидетельствует об аэробном или анаэробном метаболизме [7].

Определить недостаток кислорода в мышцах при выполнении интенсивной физической работы, выполняемой в условиях превышения анаэробного порога, очень сложно [7]. Вместе с тем образование анаэробного порога может быть вызвано не только недостатком кислорода, но и другими факторами [6].

До 1970 года молочную кислоту рассматривали как ненужный побочный продукт, образующийся в организме спортсмена из-за недостатка поступления кислорода к работающим мышцам [3]. Это стало аксиомой для понимания энергетики обеспечения интенсивной физической деятельности и центральным моментом объяснения процесса утомления. Таким образом, большинство тренеров и спортсменов были уверены, что накопление молочной кислоты является причиной утомления и истощения энергетических запасов организма.

Однако следует отметить, что процесс накопления молочной кислоты в мышцах происходит в течение относительно короткого периода во время осуществления очень интенсивной физической нагрузки типа спринтерского бега или плавания. Интересно, что спортсмены, специализирующиеся в видах спорта, требующих проявления выносливости, например, бегуны-марафонцы, могут иметь уровень молочной кислоты после соревнований такой, как в состоянии покоя, несмотря на значительное истощение [2].

В 1984 году G.A. Brooks [8] предложил гипотезу «лактатного челнока» (lactate shuttle). К настоящему времени эта гипотеза прошла экспериментальную проверку и поддерживается большинством ученых. Она опровергает традиционно сложившееся мнение о негативной роли лактата в спортивной деятель-

ности. Наоборот, становится очевидным, что образование лактата способствует производству энергии через гликолиз [2].

Имеются сведения, что сердце, мозг и медленные мышечные волокна могут использовать лактат в крови как источник энергии [9, 10]. Однако необходимо помнить, что этот лактат сначала должен быть преобразован в пируват прежде, чем он может использоваться в качестве источника энергии.

Утилизация лактата может проходить двумя путями: или через окисление в мышечных волокнах, в которых он был произведен, или путем транспортировки к другим мышечным волокнам для окисления [11, 12]. Лактат, который оказался не окисленным этими способами, переходит от сокращающихся мышц в капилляры, и транспортируется через кровь к печени [12]. Через процесс, известный как цикл Кребса, лактат может быть преобразован в пируват в присутствии кислорода, который затем может быть конвертирован в глюкозу [2]. Эта глюкоза может быть или усвоена работающими мышцами или запасена в них в виде гликогена для более позднего использования [2].

Следовательно, лактат может рассматриваться как полезная форма потенциальной энергии, которая получается во время физической деятельности с умеренно низкой интенсивностью и в период восстановления [9, 12]. В отличие от молочной кислоты, лактат, как считают некоторые специалисты, не является причиной наступления утомления [6, 13].

Основываясь на таком представлении о функции лактата, некоторые компании по производству спортивных напитков ввели в их состав лактат натрия. Имеются уже предварительные исследования, показывающие, что такие напитки повышают эффективность выполняемой работы [14, 15].

Таким образом, модель «лактатного челнока» по существу показывает, что лактат является посредником для многих метаболических процессов на клеточном, органном и организменном уровнях и способствует продлению деятельности субмаксимальной интенсивности, а не препятствует ей.

Накопление лактата. Во время выполнения интенсивной физической нагрузки лактат в мышцах и крови может повыситься до очень высокого уровня [16]. Это накопление представляет собой нарушение баланса между его образованием и утилизацией. Однако это еще не позволяет ответить на вопрос: что является причиной накопления лактата? Это результат интенсивной физической деятельности или недостаточной скорости его удаления, или же обоих этих процессов? Точно так же, если концентрация лактата в крови не возвращается к уровню покоя в течение выполнения работы или сразу же после ее завершения, то это также не позволяет делать выводы о природе образования лактата или молочной кислоты в течение этой деятельности. Может быть так, что образование лактата в несколько раз выше, чем в покое, но при этом его утилизация соответствует производству, что не ведет к его увеличению [17].

Обычно считается, что лактат или молочная кислота, оказывают негативное влияние на эффективность работы мышц. Однако снижение работоспособности не обязательно связано с накоплением лактата в крови, а в первую очередь про-

исходит из-за увеличения количества водородных ионов. Когда молочная кислота диссоциирует в лактат, формируются водородные ионы, которые ведут к увеличению кислотности. Это свидетельствует о том, что лактат, или молочная кислота, напрямую не оказывают отрицательное воздействие на мышечные сокращения.

Увеличение количества водородных ионов, приводящее к последующему повышению кислотности внутренней среды, называют ацидозом. Этот процесс, по мнению многих специалистов, оказывает неблагоприятный эффект на сокращение мышц [13], что было подтверждено рядом исследований [18, 19].

Неблагоприятное влияние ацидоза – результат увеличенной концентрации или накопления водородных ионов. Вследствие этого может показаться логичным, что интенсивное образование молочной кислоты и последующее за этим накопление лактата являются вредными процессами, так как при этом увеличивается производство водородных ионов.

Однако повышение концентрации водородных ионов (из-за интенсивного образования молочной кислоты) не будет иметь никакого вредного эффекта, если утилизация молочной кислоты будет идти столь же быстро. R.A. Robergs с соавт. [20] предполагают, что образование лактата (особенно если оно сопровождается параллельно высокой интенсивностью его утилизации) может задерживать начало ацидоза [12, 20]. Одной из причин этого является то, что лактат еще предназначен для транспортировки водородных ионов. Такой процесс действительно происходит, во всяком случае, есть результаты исследований, которые показывают, что ацидоз может быть вызван и другими реакциями, кроме производства лактата [20]. Одно можно заключить однозначно – процесс, который увеличивает концентрацию лактата, хотя не и является причиной утомления, но совпадает с клеточным ацидозом и остается хорошим косвенным маркером для трактовки начала утомления.

Утомление в связи с проблемой ацидоза. Было проведено ряд исследований, которые показали, что повышение концентрации водородных ионов в мышцах и крови, а также уменьшение показателя рН (увеличение кислотности), является причиной утомления. Это подтверждается тем, что искусственно вызванный ацидоз отрицательно влияет на работу мышц даже в неутомленном состоянии [20–22]. Однако в последние годы были получены данные, ставящие под сомнение это положение.

S.P. Cairns [23] в экспериментах на изолированной мышце показал, что ацидоз, наряду с незначительным отрицательным эффектом, оказывает и положительное влияние на работу мышц во время выполнения упражнений высокой интенсивности.

Некоторые исследователи, в частности, R.A. Robergs с соавт. [20] показали, что главной причиной утомления в мышце является неорганический фосфат, который образуется в результате расщепления аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) с образованием аденозиндифосфата (АДФ). Однако есть и другое пред-

положение о главной причине утомления, что это не ацидоз, а накопление ионов калия в мышце [24].

D. Wilkes с соавт. [25] показали, что результат в беге на 800 м может быть улучшен в среднем на 2,9 с за счет приема внутрь бикарбоната натрия в дозе 0,3 г на килограмм веса спортсмена. Авторы отмечают, что еще в 1931 году были получены положительные эффекты приема бикарбонатов при анаэробных упражнениях. S.P. Cairns [23] высказал гипотезу, согласно которой, если небольшой ацидоз может даже улучшить работу мышцы в изолированном состоянии, то сильный ацидоз ухудшает ее из-за уменьшения потока импульсов от центральной нервной системы к мышце.

Накопление лактата и физическая нагрузка. В покое нормальный диапазон для лактата крови – 0,5–2,2 ммоль/литр [26]. Считается, что полное истощение энергетических ресурсов человека происходит в диапазоне 20–25 ммоль/литр [27], хотя у спортсменов высокой квалификации была зарегистрирована концентрация лактата, превышающая 30 ммоль/литр [28].

H. Rusko с соавт. [29] показали, что при выполнении работы на уровне аэробного порога концентрация лактата в мышце повысилась с 2,31 до 5,56 ммоль при несущественном повышении его в крови. На уровне аэробного порога происходит баланс между производством и удалением лактата. При этом наблюдается снижение концентрации креатинфосфата (КрФ) на 28 %, а АТФ всего на 9 %. В процессе выполнения работы на уровне анаэробного порога происходит дальнейшее снижение концентрации КрФ при несущественном снижении АТФ и при продолжающемся увеличении концентрации лактата. Причем разница между содержанием лактата в крови и в мышцах остается на одном уровне. Концентрация лактата в крови зависит как от интенсивности, так и от продолжительности нагрузки. В диапазоне от аэробного до анаэробного порога установление оптимальных взаимоотношений между образованием и утилизацией лактата происходит в пределах 5–10 мин. После преодоления уровня анаэробного порога прирост лактата в крови за каждые 2 мин 30 с при мощности нагрузки 78 % от максимального потребления кислорода (МПК) составляет 0,3 ммоль, при 88 % МПК – 0,6 ммоль, а при 93 % МПК – 1,4 ммоль. Это свидетельствует о том, что оптимальная продолжительность нагрузки на этом уровне может находиться в диапазоне от 12 до 40 мин, в зависимости от уровня тренированности спортсмена.

Пик концентрации лактата в крови происходит приблизительно через 5 минут после прекращения интенсивного осуществления упражнения (принимая во внимание, что прекращение работы происходит из-за истощения энергетических ресурсов от ацидоза) [26]. Задержка во времени происходит из-за транспортировки молочной кислоты из мышц в кровь [29]. Возвращение до исходного уровня концентрации лактата в крови обычно происходит в течение часа, а легкая физическая нагрузка в этот период ускоряет утилизацию лактата [30]. Тренировка способствует ускорению утилизации лактата у спортсменов, по сравнению с нетренированными лицами [31].

Результаты исследований показали, что при выполнении контрольного задания (приседаний), «до отказа» у спортсменов были зарегистрированы более высокие уровни содержания лактата в крови по сравнению с нетренированными людьми. Это свидетельствует о том, что тренировка способствует выработке терпения при накоплении лактата в организме, лучшей его переносимости. При выполнении одинаковой нагрузки у спортсменов были отмечены более низкие уровни содержания лактата в крови. Это указывает на то, что при выполнении стандартной нагрузки организм спортсменов работает более экономно (более низкая концентрация лактата), а при максимальных нагрузках достигает высшей результативности (более высокая концентрация лактата) [31].

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что данная проблема спортивной физиологии еще не решена полностью, но уже сейчас можно сказать, что лактат не следует рассматривать в качестве «врага» спортсмена. Напротив, представленные факты свидетельствуют, что некоторые аспекты процесса образования лактата выгодны для спортивной деятельности. Следовательно, можно предполагать, что при построении методики тренировки должен учитываться определенный баланс между характером нагрузок, совершенствующих как способность утилизации лактата, так и накоплению его при высокоинтенсивной деятельности. А тренерам необходимо находить оптимальное сочетание нагрузок различной направленности как в отдельных занятиях, так и в микроциклах подготовки.

Для совершенствования выносливости важно понять, что момент анаэробного порога проявляется не только в общих свойствах перехода с аэробных процессов на анаэробные (классические представления), но и в специфических и даже специальных – свойством объединять аэробные и анаэробные процессы, что обеспечивает возможность выполнения работы большой мощности. G.A. Brooks [6, 8, 12] объясняет это положение способностью медленных мышечных волокон утилизировать лактат во время рабочих циклов. Такое положение возможно только за счет высокой дифференциации и специализации отдельных мышц и даже мышечных волокон: быстрые мышечные волокна обеспечивают основные рабочие усилия по перемещению тела и его частей, а медленные волокна в относительно пассивных фазах тонических напряжений метаболизируют лактат, диффундирующий в них из быстрых мышечных волокон. Данное состояние необходимо совершенствовать в процессе спортивной тренировки, что возможно при длительном применении больших объемов бега и неспецифических средств (от 40 до 80 % от общего объема работы) в истинно физиологическом диапазоне тренировочных нагрузок, т. е. на уровне анаэробного порога [32] или в диапазоне от аэробного до анаэробного порога [29].

Современные представления о роли лактата. За последние 50 лет лактатная кривая крови и лактатные пороги (аэробный и анаэробный) стали играть большую роль в процессе совершенствования выносливости в различных видах спорта. Аэробно-анаэробный переход может служить основанием для индивидуализации тренировочного процесса и для совершенствования тренировочных

программ [33]. В 1984 году G.A. Brooks выдвинул гипотезу «лактатного челнока», объясняя природу высокоэффективной тренировочной работы в «смешанном режиме», при котором быстрые мышечные волокна осуществляют основную работу во время мышечных сокращений, а медленные волокна метаболизируют лактат, диффундирующий в них в относительно пассивных фазах [12]. Данное положение в современных условиях уже трактуется как установившийся факт и из области гипотезы перешел в установившуюся теорию [33]. Более того, полученные данные [1, 33, 34] указывают на то, что лактат можно рассматривать как сигнальную молекулу для клетки, позволяющую осуществлять регуляторную функцию при образовании необходимых белков. Такая постановка вопроса подтверждает устойчивую связь лактата с регуляторной функцией физической работоспособности. Рассматривая проблему утомления, T.D. Noakes с соавт. [35] приходит к выводу, что основной компонент утомления локализован не на периферии (в мышцах), а в центральной нервной системе. Утомление – феномен, который следует из сознательного восприятия и интерпретации подсознательных регулирующих процессов в мозге. Сложная модель управления деятельностью организма показывает, что: а) колебательный характер функционирования организма является естественным жизненным явлением; б) утомление никогда не бывает абсолютным и в) интенсивность работы и деятельность различных метаболических систем колеблются непрерывно в результате многократных взаимодействий между всеми органами, которые обеспечивают функционирование организма.

Эти данные подтверждают парадигму G.A. Borg [36], которая проявляется через «значение воспринимаемого напряжения» (ratings of perceived exertion) и обычно используется для индивидуализации тренировочных нагрузок.

Выводы

1. Среди тренеров и спортсменов широко распространено мнение об отрицательном влиянии накопления молочной кислоты или лактата в организме при выполнении тренировочных нагрузок различной интенсивности. Однако надо иметь в виду, что молочная кислота и лактат – это разные вещества. Первое характерно для внутриклеточного анаэробного метаболизма, а второе является его производной солью, которое и обнаруживается в крови при исследованиях. Традиционно считается, что образование лактата связано с невозможностью поступления кислорода к работающим мышцам. Вместе с тем современные научные данные свидетельствуют о том, что недостаток кислорода не является единственной причиной образования и накопления лактата, существуют и другие факторы. Накопление лактата в крови представляет собой нарушение баланса между его производством и утилизацией.

2. Образование молочной кислоты в организме спортсмена происходит при выполнении непродолжительной, но очень интенсивной физической нагрузки. Накопление лактата ведет к увеличению концентрации водородных ионов в крови и вызывает ацидоз. Однако интересен тот факт, что образование лактата

сдерживает развитие ацидоза. Считается, что ацидоз является основной причиной мышечного утомления, хотя в последнее время появились новые научные данные, оспаривающие этот факт.

3. Лактат – важный субстрат, который используется как энергетическое вещество для работы сердца и мозга. Мышечный метаболизм также может использовать его в качестве энергетического продукта в медленных волокнах. Спортивная тренировка совершенствует процесс утилизации лактата, уменьшает его накопление при стандартной нагрузке и характеризуется высоким накоплением лактата в процессе выполнения нагрузок максимальной интенсивности. Продолжительность работы в зоне нагрузок субмаксимальной и большой мощности в значительной мере определяется способностью мышц использовать лактат как энергетический субстрат.

4. Рациональная методика тренировки должна обеспечить оптимальное соотношение между нагрузками различной направленности, позволяющими совершенствовать механизмы накопления и утилизации лактата. Тренерам необходимо использовать оптимальное сочетание нагрузок различного характера как в отдельных занятиях, так и в микроциклах подготовки. В тренировочном процессе, направленном на развитие выносливости, важно выполнять основные объемы работ в физиологически обоснованном диапазоне нагрузок, т.е. на уровне анаэробного порога, лимитируя продолжительность таких воздействий от 12 до 40 минут в зависимости от уровня подготовленности спортсмена и его способности к восстановлению после предыдущих нагрузок.

1. Давыдовский. А.Г. Лактат-ацидоз в регуляции физической работоспособности (роль «лактатного челнока» при интенсивных физических нагрузках) / А.Г. Давыдовский // Научные труды НИИ физической культуры и спорта Республики Беларусь. – Вып. 8. – Минск: «Издательский центр БГУ». 2008 – С. 226–2306.

2. Cairns, S.P. Lactic acid and exercise performance : culprit or friend? / S.P. Cairns // Sports Med. – 2006. – V. 36 – № 4. – P. 279–291.

3. Физиология мышечной деятельности: учебник / под общ. ред. Я.М. Коца. – М.: Физкультура и спорт, 1982. – 347 с.

4. Connett. R.J. Lactate efflux is unrelated to intracellular PO₂ in a working red muscle in situ / R.J. Connett, T.E. Gayeski, C.R. Honig // J. Appl. Physiol. – 1986. – V. 61. – P. 402–408.

5. Gladden, L.B. Lactate transport and exchange during exercise. // Handbook of Physiology, section 12, Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems, ed. Rowell LB & Shepherd JT, Oxford University Press, New York, 1996. – P. 614–648.

6. Brooks. G.A. Lactate doesn't necessarily cause fatigue: why are we surprised? / G.A. Brooks // J. Physiol. – 2001. – № 1 (536). – P. 1–12.

7. Wassermann, K. Anaerobic Threshold and respiratory gas exchange during exercise / K. Wassermann, B.J. Whipp, S.N. Koyal, W.L. Beaver // J. of Appl. Physiol. – 1973. – V. 35. – P. 237–243.

8. Brooks, G. A. Anaerobic threshold: review of concept and directions for future research / G. A. Brooks // Med. Sci. Sports Exerc. – 1985. – Vol. 17. – № 1. – P. 22–31.

9. Mazzeo, R.S. Disposal of blood [1-13C] lactate in humans during rest and exercise / R.S. Mazzeo, G.A. Brooks, D.A. Schoeller, T.F. Budinger // J. Appl. Physiol. – 1986. – V. 60. – № 1. – P. 232–241.

10. Barnard, R.J. Histochemical, biochemical, and contractile properties of red, white, and intermediate fibers / R.J. Barnard, V.R. Edgerton, T. Furukawa, J.B. Peter // *Am. J. Physiol.* – 1971. – V. 220. – № 2. – P. 410–414.
11. Donovan, C.M. Endurance training affects lactate clearance, not lactate production / C.M. Donovan, G.A. Brooks // *Am. J. Physiol.* – 1983. – V. 244. – № 1. – P. 83–92.
12. Brooks, G.A. The lactate shuttle during exercise and recovery / G.A. Brooks // *Med. Sci. Sports. Exerc.* – 1986. – V. 18. – № 3. – P. 360–368.
13. Salin, K. Muscle Fatigue and Lactic Acid Accumulation / K. Salin // *Acta Physiol. Scand.* – 1986. – V. 128 (Suppl 556). – P. 83–91.
14. Van Montfoort, M.C. Effects of ingestion of bicarbonate, citrate, lactate, and chloride on sprint running / M.C. Van Montfoort, L. Van Dieren, W.G. Hopkins, J.P. Shearman // *Med. Sci. Sports. Exerc.* – 2004. – V. 36. – № 7. – P. 1239–1243.
15. Cairns, S.P. Lactic acid and exercise performance : culprit or friend? / S.P. Cairns // *Sports Med.* – 2006. – V. 36 – № 4. – P. 279–291.
16. Sahlin, K. Intracellular pH and Energy metabolism in Skeletal Muscle of man (With Special Reference to Exercise) / K. Salin // *Acta Physiol. Scandinavica.* – 1984. – Suppl.(№ 455). – P. 56.
17. Donovan, C.M. Endurance training effects lactate clearance, not lactate production / C.M. Donovan, G.A. Brooks // *American Journal of Physiology, Endocrinology and Metabolism.* – 1983. – № 7. – P. 83–92.
18. Fabiato, A. Effects of pH on the myofilaments and the sarcoplasmic reticulum of skinned cells of cardiac and skeletal muscle / A. Fabiato, F. Fabiato // *J. Physiol.* – 1978. – № 276. – P. 233–255.
19. Tesch, P. Muscle fatigue in man. With special reference to lactate accumulation during short term intense exercise / P. Tesch // *Acta Physiol. Scand.* – 1980. – Suppl. V. 480. – P. 1–40.
20. Robergs, R.A. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. / R.A. Robergs, F. Ghiasvand, D. Parker // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* – 2004. – V. 287. – № 3. – P. 502–516.
21. Westerblad, H. Muscle fatigue: Lactic acid or inorganic phosphate the major cause? // H. Westerblad, D.G. Allen, J. Linnegren // *News Physiol. Sci.* – 2002. – № 17. – P. 17–21.
22. Gladden, L. B. Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium / L.B. Gladden // *J. Physiol.* – 2003. – V. 558. – № 1. – P. 5–30.
23. Cairns, S.P. Lactic acid and exercise performance : culprit or friend? / S.P. Cairns // *Sports Med.* – 2006. – V. 36. – № 4. – P. 279–291.
24. Juel, C. Interstitial K⁺ in human skeletal muscle during and after dynamic graded exercise determined by microdialysis / C. Juel, H. Pilegaard, J. J. Nielsen, J. Bangsbo // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* – 2000. – V. 278. – P. 400–406.
25. Wilkes, D. Effect of acute induced metabolic alkalosis on 800-m racing time / D. Wilkes, N. Gledhill, R. Smyth // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 1983. – V. 15. № 4. – P. 1239–1243.
26. Gollnick, P.D. Exercise intensity, training, diet, and lactate concentration in muscle and blood / P.D. Gollnick, W.M. Bayly, D.R. Hodgson // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 1986. – V. 18. – № 3. – P. 334–340.
27. Mainwood, G.W. The effect of acid-base balance on fatigue of skeletal muscle / G.W. Mainwood, J.M. Renaud // *Can. J. Physiol. Pharmacol.* – 1985. – V. 63. – № 5. – P. 403–416.
28. Hermansen, L. Production and removal of lactate during exercise in man / L. Hermansen, I. Stensvold // *Acta. Physiol. Scand.* – 1972. – V. 86. – № 2. – P. 191–201.
29. Rusko, H. Muscle metabolism, blood lactate and oxygen uptake in steady state exercise at aerobic and anaerobic thresholds / H. Rusko, P. Luchtanen, P. Rahkila, J. Vitasalo, S. Rehunen, M. Harkonen // *Eur. J. Appl. Physiol.* – 1986. – V. 55. – P. 181–186.
30. Freund, H. Lactate kinetics after short strenuous exercise in man / H. Freund, P. Gendry // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* – 1978. – V. 39. – № 2. – P. 123–135.
31. Jacobs, I. Blood lactate. Implications for training and sports performance / I. Jacobs // *Sports Med.* – 1986. – V. 3. – № 1. – P. 10–25.

32. Keul, J. Adaptation to training and Performance in Elite Athletes / J. Keul et al. // Reserch Quarterly for Exersice and Sport. – 1996. – V. 67. – Suppl. № 3. – P. 29–36.
33. Faude, O. Lactate Threshold Concepts: How Valid are They? / O. Faude, W. Kindermann, T. Meyer // Sports Med. – 2009. – V. 39. – № 6. – P. 469–490.
34. Gladden L. B. Current Trends in Lactate Metabolism: Introduction. / L. B. Gladden // Medicine & Science in Sports & Exercise. – 2008. – V. 40. – № 3. – P. 475–476.
35. Noakes T. D. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions / T. D. Noakes, A. St. C. Gibson, E.V. Lambert // Br. J. Sports. Med. – 2005. – V. 39. – P. 120–124.
36. Borg, G. A. Psychophysical bases of perceived exertion / G. A. Borg // Medicine and Science in Sports Exercise. – 1982. – V. 14. – № 5. – P. 377–381.

Поступила 14.03.2012

ПРОБЛЕМА АППРОКСИМАЦИИ ЭМПИРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ В МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

В.Е. Ягур, канд. мед. наук, доцент,

Белорусский государственный медицинский университет.

Ю.М. Досин, д-р мед. наук, профессор,

М.В. Пуренок, канд. мед. наук,

Белорусский государственный университет физической культуры

В статье проведена аппроксимация эмпирических распределений трех антропометрических параметров (длина тела, масса тела, индекс Кетле) в соответствии с теорией обобщенных (универсальных) распределений. Показана возможность вычислять выравнивающее теоретическое распределение, определять ключевые параметры аппроксимирующего распределения (мода, точки перегиба) и визуализировать аппроксимирующее распределение.

In accordance with the theory of generalized (universal) distributions an approximation of empirical distributions of the three anthropometric parameters (body length, body mass, and Quetelet index) is carried out in the paper. A possibility to calculate an equalizing theoretical distribution, to determine the key parameters of the approximating distribution (mode, inflection points), and to visualize the approximating distribution is demonstrated.

При статистическом анализе биомедицинских данных важной является проблема нахождения подходящего закона распределения для описания группированного вариационного ряда. Выборочные характеристики – среднее арифметическое значение выборки и показатели ее варьирования (дисперсия, стандарт-