

DOI: 10.26693/jmbs04.05.366

УДК 796.015.612.04

Винничук Ю. Д.¹, Безуглая В. В.²

ПОКАЗАТЕЛИ КИСЛОТНО-ОСНОВНОГО СОСТОЯНИЯ КРОВИ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РАЗНЫХ ВИДОВ СПОРТА

¹Национальный университет физического воспитания и спорта Украины,
Киев, Украина

²ДУ «Украинский медицинский центр спортивной медицины МЗ Украины»,
Киев, Украина

vinnichukju@gmail.com
victoriabezugla@gmail.com

Показатели кислотно-основного состояния – одни из самых выразительных, жестко гомеостазированных параметров внутренней среды организма, и их изменения при мышечной деятельности позволяют судить о метаболическом ответе организма, а также являются объективными критериями физической и функциональной подготовленности спортсмена. Были изучены показатели кислотно-основного состояния крови (рН, степень насыщения крови кислородом (pO_2) и углекислым газом (pCO_2), избыток/дефицит буферных оснований (ВЕ), содержание бикарбоната (HCO_3^-), общий бикарбонат (tCO_2)), а также их взаимосвязь с параметрами биохимического гомеостаза (регуляторы метаболизма, показатели белкового, углеводного, липидного, минерального обменов) и состоянием сердечно-сосудистой системы у представителей единоборств, циклических, сложно-координационных видов спорта в состоянии покоя. Показано, что среднегрупповые показатели рН венозной крови 95,2% обследованных спортсменов находились в рамках референтных значений. У спортсменов, которые специализируются в художественной гимнастике, гребле на байдарках и каноэ, плавании, велосипедном спорте и дзюдо выявлены изменения характерные для респираторного ацидоза, компенсированного метаболическим алкалозом ($- HCO_3^-$, - ВЕ). Наибольшие значения среднегрупповых показателей ВЕ, HCO_3^- , tCO_2 отмечены у пловцов ($14,12 \pm 4,78$ ммоль \cdot л $^{-1}$, $41,48 \pm 4,72$ ммоль \cdot л $^{-1}$, $43,27 \pm 3,84$ ммоль \cdot л $^{-1}$) и велосипедистов ($9,28 \pm 1,92$ ммоль \cdot л $^{-1}$, $36,74 \pm 1,81$ ммоль \cdot л $^{-1}$, $38,55 \pm 1,84$ ммоль \cdot л $^{-1}$, соответственно), что свидетельствует о высокой мощности буферных систем организма. Отмечена ассоциация значений ВЕ и HCO_3^- с индексом повреждения мышечной ткани у спортсменов, специализирующихся в плавании. Полученные данные могут быть использованы при планировании профилактических мероприятий, для индивидуального построения тренировочного

процесса с целью развития буферных резервов крови, а также для своевременной диагностики нарушений кислотно-основного состояния в организме спортсмена.

Ключевые слова: спорт, механизмы энергообеспечения, кислотно-основное состояние, биохимический гомеостаз, электрокардиография.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнена в соответствии с НИР «Молекулярно-генетические особенности адаптации сердечно-сосудистой системы к интенсивным физическим нагрузкам», № гос. регистрации 0117U002383.

Введение. В практике спортивной медицины контроль эффективности тренировочного процесса осуществляется на основе оценки комплекса параметров, среди которых важная роль принадлежит показателям кислотно-основного состояния (КОС). Эти показатели являются одними из самых выразительных, жестко гомеостазированных параметров внутренней среды организма, и их изменения при мышечной деятельности с различным механизмом энергообеспечения позволяют судить не только о метаболическом ответе организма, но и используются для оценки функционального состояния сердечно-сосудистой, дыхательной, выделительной систем, уровня энергообеспечения мышечной деятельности, адаптации к спортивной нагрузке, то есть являются объективными критериями физической и функциональной подготовленности спортсмена [9, 10]. При систематических занятиях спортом в организме отмечаются существенные биохимические изменения, в том числе, и КОС в крови и тканях, позволяющие спортсменам развивать положительные адаптивные и компенсаторные механизмы при выполнении физической работы [19]. Известно, что накапливаясь в биологических жидкостях организма в результате активного сокращения мышц при недостаточном содержании

кислорода, молочная кислота (в виде лактата) сдвигает КОС в кислую сторону, что сопровождается снижением концентрации бикарбонатных ионов и усилением функционирования респираторной системы, в результате чего многие ферментативные системы перестают функционировать [1, 10]. Потому в практике спорта большое значение имеет жесткий контроль параметров кислотно-основного состояния крови, обладающих большой диагностической информативностью и определяющих процессы адаптации организма спортсмена к интенсивным тренировкам [4, 17].

Причинами нарушения кислотно-основного состояния и ионного равновесия в организме при физической нагрузке могут быть длительная работа в гликолитическом анаэробном режиме, спортивная функциональная анемия, а также иные виды анемии, перечисленные в МКБ-10 и встречающиеся у спортсменов (железо-, фолиево- и В₁₂-дефицитная), недостаток бикарбоната, что приводит к изменению буферной емкости крови, накоплению молочной кислоты, ацидозу, снижению физической работоспособности [10].

Изучение и систематизация сведений о показателях КОС крови у спортсменов в условиях мышечной деятельности достаточно представлены в литературе [27, 32, 33, 37–39], однако влияние предшествующих тренировок на параметры КОС в условиях относительного мышечного покоя является вопросом дискуссионного характера. Известно, что сдвиги КОС крови зависят не только от степени тренированности и выполненной нагрузки, но и от исходного состояния этих показателей [10]. Исследования уровня функционирования различных органов и систем организма в состоянии покоя после перенесенной мышечной работы позволяют судить об активности восстановительных процессов, а также дают возможность оценить степень их напряжения при предъявлении минимально возможных требований, охарактеризовать физиологические резервы организма при максимальных напряжениях и в условиях покоя. Знание четких границ референтных (спортивная норма) или исходных значений функциональных показателей спортсменов является также важным критерием донологической диагностики возможных отклонений в состоянии здоровья. Поэтому актуальными представляются наблюдения за показателями КОС крови спортсменов в состоянии покоя, которые будут отражать особенности их текущего функционального статуса, что позволит объективно оценить и контролировать процессы адаптации организма к мышечной деятельности [9].

Цель работы – изучение кислотно-основных показателей крови, а также их взаимосвязь с параметрами биохимического гомеостаза и состоянием сердечно-сосудистой системы у представителей различных видов спорта в состоянии покоя.

Материал и методы исследования. В исследованиях приняли участие 78 квалифицированных спортсменов – членов национальных сборных команд Украины. Из них 42 – представители циклических видов спорта (велосипедный спорт; гребля на байдарках и каноэ; плавание, средний возраст $23,5 \pm 3,4$ лет); 26 представителей сложно-координационных видов спорта (художественная гимнастика, прыжки в воду; средний возраст $25,5 \pm 5,6$ лет) и 10 спортсменов, специализирующихся в единоборствах (дзюдо; средний возраст $25,8 \pm 2,9$ лет).

Кровь для исследований брали утром натощак из локтевой вены в состоянии относительного мышечного покоя без предварительной физической нагрузки, после дня отдыха после последнего тренировочного занятия. На момент обследования спортсмены не имели проявлений острых заболеваний и травм, не предъявляли субъективных жалоб. С участниками подписывали «Информированное согласие», которым подтверждалась добровольное участие в обследовании после ознакомления с особенностями его проведения (приказ МОЗ Украины № 690 от 23.09.2009 с изменениями, внесенными приказом МОЗ № 523 от 12.07.2012).

Исследование показателей кислотно-основного состояния венозной крови осуществляли с помощью анализатора газов и электролитов крови "Osmetech OPTI CCA" (OptiMedical Inc., США) с использованием для каждого образца крови одноразовых измерительных кассет и контрольных кассет того же производителя. При этом оценивали значение pH, степень насыщенности крови кислородом (pO₂) и углекислым газом (pCO₂), избыток/дефицит буферных оснований (BE), содержание бикарбоната (HCO₃⁻), общий бикарбонат (tCO₂ – суммарная концентрация бикарбонатов и угольной кислоты). Пробы крови анализировали непосредственно после забора, время между взятием крови и анализом не превышало 60 с. Для сравнения исследования КОС проведены у сходных по возрасту практически здоровых доноров, активно не занимающихся спортом (контрольная группа, n=10).

Электрокардиографическое исследование (ЭКГ) проводили в состоянии относительного покоя, использовали полифункциональный диагностический комплекс «КардиоПлюс» («Метекол», Украина) при скорости движения бумаги 50 ммхс⁻¹.

При анализе параметров биоэлектрической активности сердца применяли Европейские рекомендации, разработанные для интерпретации электрокардиограммы у спортсменов [28].

В сыворотке крови определяли показатели активности регуляторов метаболизма: активность таких маркерных ферментов как общая креатинкиназа (КФК), аспаратаминотрансфераза (АСТ), аланинаминотрансфераза (АЛТ); показатель белкового обмена (мочевина), показатель углеводного обмена (глюкоза), показатели липидного обмена (общий холестерин, триацилглицеролы), показатели минерального обмена (магний, фосфор неорганический, натрий, калий) с помощью полуавтоматического биохимического анализатора «Humalyzer 3000» (Human Ltd., Германия) с использованием аутентичных стандартных диагностических и контрольных материалов. Индекс повреждения мышечной ткани (ИПМТ) рассчитывали как соотношение значений активности КФК и аспаратаминотрансферазы (КФК/АСТ). Для контроля аналогичные исследования были проведены у 10 практически здоровых людей, не имеющих высокого уровня двигательной активности (доноры).

Для оценки достоверности разницы при статистическом анализе был использован F-критерий Фишера.

Результаты исследований и их обсуждение. Проведенные исследования позволили уста-

новить следующее. Среднегрупповые показатели pH венозной крови спортсменов находились в рамках референтных значений (табл. 1). Исключение составили два пловца, у которых значения pH выходили за диапазон нормы и равнялись 7,55 и 7,60, что свидетельствует о некомпенсированном алкалозе.

Известно, что pH, или водородным показателем, называют обратный десятичный логарифм концентрации ионов водовода. Постоянство pH как одного из системообразующих параметров гомеостаза обеспечивается благодаря буферным системам: бикарбонатной (главной внеклеточной буферной системой), гемоглобиновой, фосфатной, а также белками сыворотки крови [10, 22]. Алкалоз характеризуется сдвигом соотношения кислот и оснований, при котором происходит увеличение абсолютного или относительного количества оснований и снижается концентрация водородных ионов; некомпенсированными алкалозами называют состояния, когда изменяется общее количество и соотношение компонентов бикарбонатного буфера (H_2CO_3 и $NaHCO_3$), вследствие чего происходит сдвиг pH за пределы референтных значений [16]. Одной из причин возникновения метаболического/негазового алкалоза (- pH, - HCO_3^- , - pCO_2) [12], может быть состояние гиперкапнии, которое возникает у представителей циклических видов спорта (например, плавание) при выполнении интенсивной физической работы,

Таблица 1 – Показатели КОС у представителей различных видов спорта ($\bar{x} \pm S$)

Показатель	pH	PCO_2 , мм.рт.ст.	PO_2 , мм.рт.ст.	BE , ммольл ⁻¹	tCO_2 , ммольл ⁻¹	HCO_3^- , ммольл ⁻¹
Референтные значения (венозная кровь)	7,32-7,47	42-52	30-50	от -2 до +3	23-53	25-28
Сложно-координационные виды спорта						
Художественная гимнастика (n=14)	7,41±0,03	51,6±3,41	28,3±3,43	5,83±3,17	33,49±3,34	32,12±3,34
Прыжки в воду (n=12)	7,39±0,02	48,7±3,44	25,6±2,84	2,98±2,08	30,5±2,33	29,02±2,24
Циклические виды спорта						
Гребля на байдарках и каноэ (n=18)	7,38±0,03	53,8±3,97	24,78±4,35	4,67±2,81	33,02±3,56	31,47±3,37
Плавание (n=12)	7,46±0,06	58,5±3,37	32,08±4,19	14,12±4,78*	43,27±3,84	41,48±4,72
Велоспорт (n=12)	7,41±0,04	59,5±2,41	27,83±3,06	9,28±1,92*	38,55±1,84	36,74±1,81
Единоборства						
Дзюдо (n=10)	7,41±0,04	57,0±1,83	26,5±1,29	7,93±2,66*	36,75±2,42	35,03±2,46
Контрольная группа						
Доноры (n=10)	7,41±0,02	47,0±3,13	38,33±2,45	2,87±1,36	33,82±3,96	32,22±3,82

Примечание: * – достоверно по сравнению с группой контроля (p<0,05).

несоответствующей адаптационным возможностям организма [24, 25].

Наиболее важным показателем КОС является величина ВЕ, трактуемая как избыток оснований, или щелочной резерв. Это показатель избытка или недостатка буферной емкости крови, который в состоянии покоя увеличивается с повышением квалификации спортсменов. Положительное значение ВЕ указывает на недостаток нелетучих кислот или избыток оснований, отрицательное значение – на избыток нелетучих кислот или дефицит оснований [12]. У всех обследованных спортсменов, за исключением прыгунов в воду, наблюдалось повышение показателя ВЕ, что было наиболее выражено у спортсменов-пловцов и составляло $14,1 \pm 4,78$ ммоль \cdot л $^{-1}$ (см. табл. 1) и свидетельствовало о высоком развитии щелочных резервов организма и развитии значительной емкости гидрокарбонатной буферной системы [1] под влиянием тренировочного процесса.

Также у всех участников обследования отмечены превышающие нормативные значения HCO_3^- , а у представителей циклических видов спорта и единоборств – показателя pCO_2 . Полученные нами данные совпадают с результатами исследований других авторов, которые считают, что у спортсменов на фоне гиповентиляции легких (высокие значения парциального давления углекислого газа), вероятно, происходит увеличение буферных резервов крови (выражается в избытке ВЕ и гидрокарбонатных ионов). Такие результаты объясняются тем, что, возможно, на дорабочем уровне у атлетов отмечается респираторный ацидоз, компенсированный метаболическим алкалозом, что позволяет лучше переносить «закисление» внутренней среды организма при выполнении физической работы [19], так как увеличенные буферные резервы крови обеспечивают высокую степень связывания протонов, образующихся при диссоциации лактата и отодвигают время наступления порога анаэробного обмена [1]. Ни у одного спортсмена не было выявлено предтранировочного метаболического ацидоза, который считается ранним признаком утомления [9]. Предполагается, что накопление ионов H^+ во время мышечной деятельности ингибирует сократительный белок актин (входит в состав тонких нитей, является активатором миозина) поперечно-полосатой мышечной ткани, который угнетает функцию саркоплазматического ретикула и гликолитический процесс в скелетной мускулатуре. Физиологическим последствием этого может быть неспособность мускулатуры поддерживать необходимый уровень синтеза АТФ и дальнейшей невозможности выполнения заданной нагрузки. Смягчение же ацидоза (в мышцах, а за-

тем и в крови), благодаря развитым буферным системам спортсменов, способствует задержке наступления состояния утомления, что неизбежно во время тренировочных занятий высокой интенсивности [36]. В некоторых исследованиях описан один из методов снижения риска возникновения метаболических расстройств у спортсменов – индукция метаболического алкалоза до тренировок путем приема бикарбоната натрия, цитрата натрия, хлорида аммония [34, 36, 37]. Показатель HCO_3^- , который был выше референтных границ у всех спортсменов, участвующих в исследовании, может обеспечить электрохимический градиент, необходимый для удаления избытка ионов водорода [35], концентрация которых почти полностью определяется соотношением бикарбоната и углекислоты. Содержание этих веществ в крови тесно связано с процессом переноса кровью углекислого газа от тканей к легким. В физиологических условиях повышение pCO_2 в венозной крови стимулирует образование HCO_3^- в эритроцитах: под действием фермента карбоангидразы происходит гидратация молекулы CO_2 с образованием угольной кислоты (H_2CO_3), сразу же, диссоциируя на ион бикарбоната и ион водорода, накапливающийся ион HCO_3^- диффундирует по градиенту концентрации в плазму [3]. В наших исследованиях высокие среднегрупповые значения pCO_2 наблюдались у пловцов, велосипедистов и дзюдоистов, у которых также отмечены наибольшие показатели HCO_3^- .

Содержание углекислого газа в венозной крови отражает интенсивность клеточного метаболизма, поскольку CO_2 является конечным продуктом окислительного фосфорилирования, а также характеризует интенсивность нагрузок. Циклические же виды спорта, к которым относятся плавание и велоспорт, являются видами спорта с преимущественным проявлением выносливости и аэробным механизмом энергообеспечения, отличаются повторяемостью фаз движений, лежащих в основе каждого цикла, и тесной связанностью цикла с последующим и предыдущим. Во время тренировок у спортсменов расходуется большое количество энергии, сама работа выполняется с высокой интенсивностью, а результат зависит, в первую очередь, от функциональных возможностей сердечно-сосудистой и дыхательной систем, устойчивости организма к гипоксемическим сдвигам. В ходе тренировочного процесса на развитие выносливости возрастает количество митохондрий в клетках мышечных волокон и, следовательно, активность окислительных процессов. Для представителей спортивных единоборств (бокс, фехтование, борьба вольная и греко-римская, дзюдо, тхэквондо, каратэ и др.) характерной чертой при расходовании

энергии является непостоянный характер физических нагрузок, зависящих от конкретных условий соперничества, но достигающих порой также очень высокой интенсивности [23].

Занятия плаванием, в отличие от других циклических видов спорта, происходят в водной среде, которая обладает высокой теплопроводностью и плотностью. В воде организм теряет больше тепла, чем на воздухе при той же температуре, и теплоотдача возрастает с увеличением скорости плавания. Вследствие высокого сопротивления водной среды скорость передвижения в плавании гораздо меньше, чем, например, при беге, и на один метр дистанции расходуется примерно в 4 раза больше энергии, чем при ходьбе с той же скоростью [20, 21]. Возможно, этим и объясняются наибольшие значения показателей ВЕ, HCO_3^- и tCO_2 именно у пловцов (табл. 1), которые характеризуют наибольшую мощность буферных систем организма.

Сложно-координационные виды спорта (прыжки в воду, гимнастика спортивная и художественная и др.) основаны на тончайших элементах движения, что требует значительной выдержки и внимания, а также сочетания динамического режима работы одних мышц со статическими усилиями других [23]. При прыжках в воду энергообеспечение происходит преимущественно анаэробным путем – основным для кратковременных упражнений высокой интенсивности, а именно креатинфосфокиназным (алактатным) механизмом воспроизведения АТФ (ресинтез АТФ за счет перефосфорилирования между креатинфосфатом и АДФ), в ходе которого не образуются продукты, содержащие молочную кислоту и ее соли [11], чем, возможно, и объясняются наименьшие показатели ВЕ у прыгунов в воду. У других представителей этого вида спорта – художественной гимнастики, основные упражнения по своей продолжительности относятся к зоне субмаксимальной мощности с доминированием анаэробного гликолитического механизма энергообеспечения (ресинтез АТФ в процессе анаэробного расщепления гликогена мышц или глюкозы крови с образованием молочной кислоты), а, значит, выполнением большей части работы в условиях значительного кислородного дефицита, что приводит к накоплению большого количества недоокисленных продуктов обмена веществ (молочной кислоты) [6], поэтому у спортсменов наблюдаются большие значения ВЕ (на 48,9%) и HCO_3^- (на 9,7%), по сравнению с прыгунами в воду.

Известно, что своевременное устранение кислых метаболитов и устойчивость КОС способствует созданию благоприятных условий для синтети-

ческих процессов, а также для нормального функционирования метаболической системы, которая поддерживается работой печени, почек, желудочно-кишечного тракта, кожи, легких, что является основой для закрепления результатов тренировок, повышения квалификации и достижения высоких спортивных результатов [15, 26]. Процесс распада и синтеза белков, окисления углеводов и липидов, интенсивность окислительно-восстановительных реакций и многие другие процессы зависят от соотношения концентраций ионов H^+ и OH^- . Поэтому нами проведено также исследование различных параметров биохимического гомеостаза.

При изучении содержания минеральных веществ и электролитов (важнейшие составляющие гомеостатического равновесия, в значительной степени определяющие функциональное состояние сердечно-сосудистой, дыхательной, центральной нервной, костно-мышечной систем) было выявлено, что у четырех спортсменов, специализирующихся в плавании, у которых значение рН превышало либо находилось на верхней границе референтных значений, составляя в пределах колебаний 7,47–7,60, наблюдалось увеличение концентрации ионов натрия в 3 из 4 случаев до 154,0–158,0 ммоль/л⁻¹. Концентрация ионов натрия превышала должные значения также у двух спортсменов, представителей велоспорта и дзюдо, однако значение рН у них соответствовало норме. Гипернатриемия (концентрация натрия в сыворотке выше 150,0 ммоль/л⁻¹), являющаяся одним из признаков метаболического алкалоза, может вызвать длительное потоотделение без соответствующей регидратации (принято считать, что избыток каждых 3,0 ммоль/л⁻¹ натрия в сыворотке сверх 145,0 ммоль/л⁻¹ означает дефицит 1 л внеклеточной воды). Механизмы развития метаболического алкалоза реализуются через изменение активности Na^+ , K^+ -АТФазы и, как следствие, метаболизма веществ, содержащих ионы натрия и калия, некоторые из этих обменных процессов контролируются альдостероном: секреция ионов H^+ и K^+ эпителием канальцев почек в первичную мочу, реабсорбция Na^+ из первичной мочи в кровь, накопление в клетках H^+ , задержка в клетках избытка Na^+ , гипергидратация клеток (в связи с повышением осмотического давления, обусловленного избытком Na^+) [13, 32]. Уровень магния и фосфора неорганического в сыворотке крови спортсменов находился в пределах нормы (табл. 2).

Среднегрупповые показатели концентрации общего холестерина, триацилглицеролов и глюкозы находились в пределах референтной нормы у всех участников исследования (табл. 3), что свидетельствует о сбалансированности процессов

мобілізації і утилізації глікогена, а також жирових джерел енергії в забезпеченні м'язової діяльності.

Уровень мочевины превышал 7,5 ммоль/л¹ у спортсменов-мужчин, представителей дзюдо и прыжков в воду, среди женщин средние значения этого показателя, превышающие 5,5 ммоль/л¹, отмечены у всех спортсменов за исключением девушек-гимнасток, что указывает на замедление процессов восстановления [7, 17, 18]. Каких-либо ассоциативных связей этого показателя со значениями показателями КОС не отмечено.

При изучении активности маркерных ферментов высокие показатели выявлены в отношении активности общей КФК (отражает состояние энергообмена в скелетных и сердечной мышцах) у всех участников исследования, что указывает на локальное утомление нервно-мышечного аппарата [18]. При этом соотношение ИГПМТ превышает референтное значение у спортсменов-пловцов и указывает на нарушения целостности миоцитов [17], в частности, с формированием синдромов микроповреждения мышц и отсроченной мышечной болезненности. Исследования КОС в плане оценки микроповреждения мышечных клеток выявили субкомпенсированный или компенсированный метаболический ацидоз, степень которого находится в прямой зависимости от указанных изменений [14]. В наших исследованиях у атлетов, специализирующихся в плавании и имеющих высокий ИГПМТ, наблюдаются наибольшие значения ВЕ и HCO₃⁻ – возможно, для предотвращения закисления внутренней среды. Показатели активности АсАТ и АлАТ (маркеры метаболической функции печени) находились в рамках референтных значений (табл. 4).

Нарушения КОС отражаются и на работе сердечно-сосудистой системы [30]. Так, метаболический ацидоз сопровождается снижением сократительной способности миокарда (ударного и минутного объема крови), снижением чувствительности к действию вазопрессорных и инотропных агентов; легкий респираторный алкалоз – увеличением сердечного выброса; метаболический алкалоз – нарушением ритма сердца [2, 22]. В условиях экспери-

Таблица 2 – Показатели электролитного и минерального обмена у представителей различных видов спорта ($\bar{X} \pm S$)

Показатель	Натрий, ммоль/л ¹	Калий, ммоль/л ¹	Магний, ммоль/л ¹	Фосфор неорганический, ммоль/л ¹
Референтные значения	136-145	3,4-5,6	0,8-1,0	1,0-2,0
Сложно-координационные виды спорта				
Художественная гимнастика (n=14)	141,8±2,9	4,3±0,2	0,9±0,04	1,2±0,28
Прыжки в воду (n=12)	143,3±2,4	4,2±0,3	1,0±0,05	1,2±0,24
Циклические виды спорта				
Гребля на байдарках и каноэ (n=18)	143,7±3,8	4,6±0,2	0,9±0,1	1,0±0,27
Плавание (n=12)	145,8±5,5	4,8±0,3	1,0±0,1	1,3±0,31
Велоспорт (n=12)	143,0±2,4	4,6±0,4	1,0±0,2	1,3±0,19
Единоборства				
Дзюдо (n=10)	144,8±3,1	4,4±0,2	0,9±0,1	1,3±0,25

Таблица 3 – Некоторые показатели биохимического гомеостаза у представителей различных видов спорта ($\bar{X} \pm S$)

Показатель	Глюкоза, ммоль/л ¹	Холестерин общий, ммоль/л ¹	Триглицериды, ммоль/л ¹	Мочевина, ммоль/л ¹
Референтные значения	4,2-6,4	3,0-6,2	0,55-1,65	2,0-8,8
Сложно-координационные виды спорта				
Художественная гимнастика (n=14)	4,82±0,3	3,87±1,2	0,90±0,5	5,5±1,4
Прыжки в воду (n=12)	4,60±0,5	4,90±1,3	1,00±0,3	8,4±2,8
Циклические виды спорта				
Гребля на байдарках и каноэ (n=18)	4,90±0,7	3,80±0,8	0,93±0,4	7,04±1,6
Плавание (n=12)	4,7±0,4	3,9±0,8	1,00±0,5	6,9±1,3
Велоспорт (n=12)	5,2±0,3	3,76±0,9	0,85±0,4	6,6±1,8
Единоборства				
Дзюдо (n=10)	5,2±0,3	3,8±0,9	0,85±0,4	7,2±1,5

мента при моделировании метаболического ацидоза и алкалоза у животных отмечены изменения таких показателей как артериальное давление, частота сердечных сокращений, частота дыхания [8]. В наших исследованиях при изучении показателей электрокардиографии отмечен один случай с миграцией суправентрикулярного водителя ритма (является разновидностью аритмий), который связан с нарушением автоматизма синусового узла у одного пловца с уровнем pH – 7,47. Однако необходимо отметить, что данный вид аритмии у

спортсменів, согласно Сметл-ским критериям, является частью физиологического спортивного сердца [29], и частота встречаемости данных изменений на ЭКГ у спортсменов слишком мала, чтобы говорить о нарушениях ритма сердца вследствие увеличения рН. Также у трех спортсменов, специализирующихся в плавании, выявлена выразительная брадикардия (менее 45 уд·мин⁻¹), укорочение интервала PQ относительно ЧСС, что требует контроля состояния в динамике; при этом значения рН были в рамках референтных границ. У всех остальных участников исследования электрокардиограммы были без патологий (43,2 %) и соответствовали спортивной норме (синдром ранней реполяризации желудочков – 33,7 %, замедление проведения по правой ножке пучка Гиса – 21,6 %).

Выводы. Установлены определенные закономерности изменений состояния параметров КОС крови, характерные для определенного вида спорта. Так, у атлетов, специализирующихся в художественной гимнастике, гребле на байдарках и каноэ, плавании, велоспорте и дзюдо, в состоянии покоя отмечен респираторный ацидоз, компенсированный метаболическим алкалозом. Однако у подавляющего большинства спортсменов значения рН находились в пределах референтных значений, что позволяет считать сдвиги КОС компенсированными и рассматривать их как адаптивные изменения в условиях напряженной мышечной деятельности. Отмечена ассоциация значений ВЕ и НСО₃ с высоким ИПМТ у спортсменов, специализирующихся в плавании. Полученные данные могут быть использованы при планировании профилактиче-

Таблица 4 – Показатели активности ферментов сыворотки крови у представителей различных видов спорта ($\bar{X} \pm S$)

Показатель	АсАТ, Едхл ⁻¹	АлАТ, Едхл ⁻¹	КФК, Едхл ⁻¹	КФК/АсАТ, усл.ед.
Референтные значения	до 37	до 42	24-190	до 10
Сложно-координационные виды спорта				
Художественная гимнастика (n=14)	27,1±2,9	17,3±3,7	159,5 (62,3 : 260,3)	5,9±2,6
Прыжки в воду (n=12)	34,3±8,3	23,5±8,0	244,2 (67,2 : 330,8)	6,7±5,4
Циклические виды спорта				
Гребля на байдарках и каноэ (n=18)	40,7 (27,7 : 70,0)	34,8 (17,1 : 74,0)	397,9 (214,0 : 748,5)	9,3±1,3
Плавание (n=12)	24,4±9,8	39,2 (26,0 : 69,7)	410,1 (192,6 : 821,4)	10,3±4,5
Велоспорт (n=12)	40,6±7,3	30,9 (16,7 : 75,7)	308,6 (193,1 : 534,4)	7,6±2,6
Единоборства				
Дзюдо (n=10)	30,8±5,0	26,2±5,2	293,1 (217,5 : 356,4)	9,4±0,4

ских мероприятий, поскольку при недостаточном развитии или снижении щелочной емкости крови, механизмов почечной и легочной компенсации может происходить более раннее прекращение работы, связанное, прежде всего, со снижением интенсивности энергообразующих процессов, а в дальнейшем – развитие состояний перетренированности и утомления, что отрицательно скажется на функциональном состоянии организма [26], для индивидуального построения тренировочного процесса с целью развития буферных резервов крови, а также для своевременной диагностики нарушений КОС в организме.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в изучении взаимосвязи показателей КОС с параметрами иммунного и гормонального гомеостаза спортсменов в состоянии покоя и в динамике тренировочного процесса.

References

1. Abramochkina ND, Solov'ev VB, Gengin MT, et al. Kislотно-osnovnye pokazateli krovi sportmenov razlichnyh kvalifikacionnyh grupp v norme i pri fizicheskoy nagruzke. *Vestnik Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015; 4 (12): 85–90. [Russian]
2. Ado AD, Ado MA, Pyckij VI, Porjadin GV, Vladimirov JuA. *Patologicheskaja fiziologija*. M: Triada-H; 2000. 607 p. [Russian]
3. Bykov EV. *Fiziologija fizicheskogo vospitanija i sporta: uchebnoe posobie*. Cheljabinsk: Izd-vo JuUrGU; 2007. 131 p. [Russian]
4. Bukova LM, Krovjakov VF. Issledovanie vlijanija parametrov funkcional'nogo sostojanija organizma na jeffektivnost' igrovogo vzaimodejstvija junyh basketbolistok. *Uchenye zapiski Tavricheskogo nacional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo serija «Biologija»*. 2013; 16(55): 28–31. [Russian]
5. Volkov NI, Nesen EN, Osipenko AA, Korsun SN. *Biohimija myshechnoj dejatel'nosti*. K: Olimpijskaja Literatura; 2000. 503 p. [Russian]

6. Gorbaneva EP, Lagutina MV. *Fiziologicheskie osnovy slozhnokoordinacionnyh vidov sporta: uchebno-metodicheskoe posobie*. Volgograd: FGBOU VPO «VGAFK»; 2012. 76 p. [Russian]
7. Gunina LM, Vinnichuk JuD, Nosach E.V. *Biohimicheskie markery utomlenija pri fizicheskoj nagruzke: metod rekomendacii*. K: Olimpijskaja Literatura; 2013. 36 p. [Russian]
8. Drandrov GL, Kuprijanov SV. Sistemno-funkcional'naja diagnostika sdvigoj kislotno-osnovnogo sostojanija, ee klinicheskoe ispol'zovanie. *Jelektronnyj sbornik nauchnyh trudov "Zdorov'e i obrazovanie v XXI Veke"*. 2011; 13(10): 493–4. [Russian]
9. Kalinin MV. Problema gomeostaza v sporte: kislotno-osnovnoe sostojanie krovi pri adaptacii k myshechnoj dejatel'nosti. *Teorija i praktika fizicheskoj kul'tury*. 1996; 1996: 20–4. [Russian]
10. Kulinenkov DO, Kulinenkov OS. *Spravochnik po farmakologii sporta. Lekarstvennye preparaty sporta: spravocnoe posobie 4-e izd, pererab i dop*. M: Sovetskij sport; 2012. 464 p. [Russian]
11. Landyr' AP, Achkasov EE. *Monitoring chastoty serdechnyh sokrashhenij v upravlenii trenirovochny processom v fizicheskoj kul'ture i sporte*. M: Sport; 2018. 240 p. [Russian]
12. Litvickij PF. Narushenija kislotno-osnovnogo sostojanija. *Voprosy sovremennoj pediatrii*. 2011; 10(1): 83–92. [Russian]
13. Litvickij PF. Narushenija kislotno-osnovnogo sostojanija. *Voprosy sovremennoj pediatrii*. 2011; 10(2): 28–39. [Russian]
14. Matishev AA, Makarova GA, Loktev SA, Chernuha SM. *Factory riska i mery profilaktiki travmatizacii oporno-dvigatel'nogo apparata u junyh legkoatletov*. M: Sport; 2018. 128 p. [Russian]
15. *Medicinskaja reabilitacija: uchebnik dlja studentov i vrachej*. Pod obshh red Sokruta VN, Jabluchanskogo NI. Slavjansk: «Vash imidzh»; 2015. 576 p. [Russian]
16. Morrison VV, Chesnokova NP, Bizenkova M.N. Kislotno-osnovnoe sostojanie. Tipovye narushenija kislotno-osnovnogo sostojanija (lekcija 2). *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 2015; 3: 273–8. [Russian]
17. Nikulin BA, Rodionova II. *Biohimicheskij kontrol' v sporte: nauch-metod posobie*. M: Sovetskij sport; 2011. 232 p. [Russian]
18. Nehvjadovich AI, Nehaj EV, Asipovskaja TS. *Avtomatizirovannaja sistema «Biohim-jekspert» kak unificirovannyj metod biohimicheskoj ocenki fizicheskoj i funkcional'noj podgotovlennosti sportsmenov vysokoj kvalifikacii: prakticheskoe posobie*. Minsk: RNPC sporta; 2016. 64 p. [Russian]
19. Petrushova OP, Mikuljak NI. Kislotno-osnovnoe ravnovesie krovi sportsmenov. *Biomedicinskaja himija*. 2014; 60(5): 591–5. [Russian] doi: 10.18097/pbmc20146005591
20. Solomina TV. *Biohimija obmennyh processov. Uchebnoe posobie dlja studentov institutov i fakul'tetov fizicheskoj kul'tury*. Cheljabinsk; 1999. 132 p. [Russian]
21. Stadzher DzhM, Kojl MA. Jenergeticheskoe obespechenie dvigatel'noj aktivnosti plovcov. *Sportivna medicina*. 2005; 2: 22–40. [Russian]
22. Tepaev RF, Lastovka VA, Pytal' AV, Savluk JuV. Metabolicheskij acidoz: diagnostika i lechenie. *Pediatricheskaja farmakologija*. 2016; 13(4): 384–9. [Russian] doi: 10.15690/pf.v13i4.1612
23. Fudin NA, Es'kov VM, Filatova OE, et al. Vlijanie razlichnyh vidov sporta na dejatel'nost' funkcional'nyh sistem organizma cheloveka. Vestnik novyh medicinskih tehnologij. Jelektronnoe izdanie. 2015; 1: Publikacija 2-1. [Internet]. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-1/5063.pdf> [Russian]
24. Fundin NA, Hadarcev AA, Orlov VA. *Mediko-biologicheskie tehnologii v fizicheskoj kul'ture i sporte*. M: Sport, Chelovek; 2018. 320 p. [Russian]
25. Chernec MI, Potapov AV. Vlijanie nyrjanija v dlinu s zaderzhkoj dyhanija na kislotno-osnovnoe sostojanie krovi. *Voенно-medicinskij zhurnal*. 1998; 8: 53–4. [Russian]
26. Jakovlev NN. *Biohimija sporta*. M: Fizkul'tura i sport; 1974. 288 p. [Russian]
27. Applegate C, Mueller M, Zuniga K. Influence of dietary acid load on exercise performance. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*. 2017; 27(3): 213–9. PMID:28050921. doi: 10.1123/ijsnem.2016-0186
28. Corrado D, Calore C, Zorzi A, Migliore F. Improving the interpretation of the athlete's electrocardiogram. *Eur Heart J*. 2013; 34(47): 3606–9. PMID: 24179074. doi: 10.1093/eurheartj/eh458
29. Drezner J, Ackerman M, Anderson J, Ashley E, Asplund CA, Baggish AL, et al. Electrocardiographic interpretation in athletes: the 'Seattle Criteria'. *British journal of sports medicine*. 2013; 47(3): 122–4. PMID: 23303758. doi: 10.1136/bjsports-2012-092067
30. Frangiosa A, De Santo L, Anastasio P, De Santo NG. Acid-base balance in heart failure. *Journal of Nephrology*. 2006; 19(Suppl 9): S115-20. PMID: 16736434
31. Hochachka PW. *Biochemical adaptation – mechanism and process in physiological evolution*. New York: Oxford University Press; 2001; 65 p.
32. Khanna A, Kurtzman N. Metabolic alkalosis. *Journal of Nephrology*. 2006; 19(Suppl 9): S86–96. PMID: 16736446
33. Medbø JL, Sejersted OM. Acid-base and electrolyte balance after exhausting exercise in endurance-trained and sprint-trained subjects. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1985; 125(1): 97–109. PMID: 4050490. DOI: 10.1111/j.1748-1716.1985.tb07696.x

34. Russell M, Kingsley M. Changes in acid-base balance during simulated soccer match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2012; 26(9): 2593–9. PMID: 22067253. doi: 10.1519/JSC.0b013e31823f284e
35. Sharma S, Drezner J, Baggish A, Papadakis M, Wilson MG, Prutkin JM, et al. International recommendations for electrocardiographic interpretation in athletes. *European Heart Journal*. 2018; 36(16): 1466–80. PMID: 28329355. doi: 10.1093/eurheartj/ehw631
36. Siegler JC, McNaughton LR, Midgley AW, Keatley S, Hillman A. Metabolic alkalosis, recovery and sprint performance. *International journal of sports medicine*. 2010; 31(11): 797–802. PMID: 20703975. doi: 10.1055/s-0030-1261943
37. Thomas C, Delfour-Peyrethon R, Bishop D, Perrey S, Leprêtre PM, Dorel S, et al. Effects of pre-exercise alkalosis on the decrease in VO₂ at the end of all-out exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 2016; 116(1): 85–95. PMID: 26297325. doi: 10.1007/s00421-015-3239-0
38. Wasserman K, Stringer W, Casaburi R, Koike A, Cooper CB. Determination of the anaerobic threshold by gas exchange: biochemical considerations, methodology and physiological effects. *Zeitschrift für Kardiologie*. 1994; 83 (Suppl 3): 1–12. PMID: 7941654
39. Zabala M, Peinado A, Calderón F, Sampedro J, Castillo MJ, Benito PJ. Bicarbonate ingestion has no ergogenic effect on consecutive all out sprint tests in BMX elite cyclists. *European Journal of Applied Physiology*. 2011; 111(12): 3127–34. PMID: 21465247. doi: 10.1007/s00421-011-1938-8

УДК 796.015.612.04

**ПОКАЗНИКИ КИСЛОТНО-ОСНОВНОГО СТАНУ КРОВІ
ПРЕДСТАВНИКІВ РІЗНИХ ВИДІВ СПОРТУ**

Вінничук Ю. Д., Безугла В. В.

Резюме. Показники кислотно-основного стану – одні з самих виразних, жорстко гомеостазованих параметрів внутрішнього середовища організму, і їх зміни при м'язовій діяльності дозволяють судити про метаболічну відповідь організму, а також являються об'єктивними критеріями фізичної та функціональної підготовленості спортсмена. У представників єдиноборств, циклічних та складно-координаційних видів спорту в стані спокою вивчено показники кислотно-основного стану крові (рН, ступінь насичення крові киснем (рO₂) та вуглекислим газом (рCO₂), надлишок/дефіцит буферних основ (BE), концентрація бікарбонату (HCO₃⁻), загальний бікарбонат (tCO₂)), а також їх взаємозв'язок з параметрами біохімічного гомеостазу (регулятори метаболізму, показники білкового, вуглеводного, ліпідного, мінерального обмінів) та станом серцево-судинної системи. Показано, що середньогрупові показники рН венозної крові 95,2 % обстежених спортсменів знаходились в рамках референтних значень. У спортсменів, які спеціалізуються в художній гімнастиці, веслуванні на байдарках і каное, плаванні, велосипедному спорті і дзюдо, виявлено зміни, характерні для респіраторного ацидозу, компенсованого метаболічним алкалозом (- HCO₃⁻, - BE). Найбільші значення середньо-групових показників BE, HCO₃⁻, tCO₂ відзначені у плавців (14,12±4,78 ммольхл⁻¹, 41,48±4,72 ммольхл⁻¹, 43,27±3,84 ммольхл⁻¹) і велосипедистів (9,28±1,92 ммольхл⁻¹, 36,74±1,81 ммольхл⁻¹, 38,55±1,84 ммоль хл⁻¹ відповідно), що свідчить про високу потужність буферних систем організму. Відзначена асоціація значень BE і HCO₃⁻ з індексом пошкодження м'язової тканини у спортсменів, що спеціалізуються в плаванні. Отримані дані можуть використовуватись при плануванні профілактичних міроприємств, для індивідуальної побудови тренувального процесу з метою розвитку буферних резервів крові, а також для своєчасної діагностики порушень кислотно-основного стану в організмі спортсмена.

Ключові слова: спорт, кислотно-основний стан, біохімічний гомеостаз, електрокардіографія.

UDC 796.015.612.04

**Indicators of the Acid-Basic Condition of the Blood
at the Representatives of Different Types of Sport**

Vinnichuk Yu. D., Bezuglaya V. V.

Abstract. It is really important to control the parameters of the blood acid-base balance in the practice of sports. Changes in the blood acid-base balance during training loads allowed considering the metabolic response and the adaptive capabilities of the body. Information about these indicators in terms of muscular activity is well studied, but their condition with muscular rest (pre-exercise) is still the subject for discussion.

The purpose of this study was to investigate the blood acid-base balance parameters, as well as relationship with the biochemical homeostasis parameters and the state of the cardiovascular system in athletes of various sports before exercise.

Material and methods. The study involved of 78 skilled athletes, members of national teams of Ukraine (cyclic sports (n=42) – cycle racing, canoeing, swimming; difficult coordination sports (n=26) – rhythmic gymnastics,

diving; martial arts (n=10) – judo). All athletes were after twenty-four hours of relaxation, without diseases and traumas. The study of indicators of the venous blood acid-base status (pH, carbon dioxide pressure (pCO₂), oxygen pressure (pO₂), bicarbonate concentration (HCO₃⁻), base excess (BE), and the total bicarbonate (tCO₂) was carried on blood gas and electrolyte analyzer «Osmetech OPTI CCA» (Human Ltd., Germany). Electrocardiographic study was performed using the multifunctional diagnostic complex «CardioPlus» (Metekol, Ukraine). The biochemical markers (indicators of lipid, carbohydrate, protein and mineral metabolism, metabolic regulators) were studied on the semiautomatic biochemical analyzer «HUMALYZER 3000» (Human Ltd., Germany).

Results and discussion. The average group pH of venous blood 95.2% of athletes were within reference values. The athletes who specialize in rhythmic gymnastics, rowing and canoeing, swimming, cycling and judo showed changes in blood acid-base balance characteristic of pre-exercise respiratory acidosis, offset by metabolic alkalosis (- HCO₃⁻, - BE). The highest values of the average group BE, HCO₃⁻, tCO₂ noted in swimmers (14.12±4.78 mmol×l⁻¹, (41.48±4.72 mmol×l⁻¹, 43.27±3.84 mmol×l⁻¹) and cycle racing (9.28±1.92 mmol×l⁻¹, 36.74±1.81 mmol×l⁻¹, 38.55±1.84 mmol×l⁻¹, respectively), which indicate the high power of the body buffer systems. None of the athlete showed pre-training metabolic acidosis, which was considered an early sign of fatigue. The association of BE and HCO₃⁻ values with the muscle damage (microtrauma muscles) in swimming athletes, was also observed.

Conclusions. Results of this study can be used in the planning preventative measures, the formation of individual training process, the early diagnosis of the acid-base balance disturbance in the sports organism.

Keywords: sport, acid-base balance, biochemical homeostasis, electrocardiography.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.

Стаття надійшла 11.06.2019 р.

Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування