

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СПОРТА

ФОСФОР КРОВИ: ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ И ПРОГНОСТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ В МОНИТОРИНГЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ

Ф.А. ИОРДАНСКАЯ, Н.К. ЦЕПКОВА,
ВНИИФК

Аннотация

Задача исследования – выявить диагностическое и прогностическое значение содержания фосфора в крови для оценки функционального состояния организма спортсменов в тренировочном процессе.

На 33 высококвалифицированных спортсменах изучена взаимосвязь содержания фосфора крови с уровнем работоспособности основных систем адаптации организма и функциональными показателями сердечно-сосудистой системы.

Установлено, что величина фосфора крови, отражающая уровень мобилизации энергетических ресурсов организма на физическую нагрузку у велосипедистов при более низком объеме работы, напряженнее по сравнению со спортсменами с высоким уровнем работоспособности. У спортсменов с нарушением процессов реполяризации миокарда содержание фосфора крови ниже, чем у спортсменов с нормальной ЭКГ. Представлены рекомендации по коррекции содержания фосфора крови.

Ключевые слова: фосфор крови, адаптация, метаболизм, функциональное состояние, прогноз, коррекция.

Abstract

Aim of the study is to determine diagnostic and prognostic value of blood phosphorus level for estimation of functional state in elite athletes during training process. In group of 33 athletes, interrelation between phosphorus level, working capacity of main adaptation systems and functional parameters of cardiorespiratory system has been studied.

It is stated that blood phosphorus level indicating state of energetic resources mobilization during physical load at lower workloads is higher in bicycle racers, than in athletes with higher working capacity.

In athletes with myocardium repolarization abnormalities, phosphorus level is lower than those with normal ECG parameters. Recommendations for blood phosphorus level normalization are given.

Key words: blood phosphorus, adaptation, metabolism, functional state, prognosis, correction.

Неорганический фосфор содержится в организме в форме различных неорганических соединений фосфорнокислых солей, а также является источником нуклеопротеидов, нуклеотидов, фосфопротеидов, фосфатидов, фосфорных эфиров углеводов. Как важнейшая часть этих сложных органических веществ фосфор играет в жизненном процессе совершенно исключительную роль. Фосфаты калия и натрия входят в буферную систему крови. Фосфор – электролит, обмен которого тесно связан с метаболизмом кальция. 80–85% фосфора входит в состав скелета, остальное количество распределяется между тканями и жидкостями организма. В костях фосфорная кислота находится в соединении с кальцием; скелетные мышцы содержат фосфатиды, играющие большую роль в тканевом дыхании. Органически связанная фосфорная

кислота и продукты ее межклеточного обмена благодаря наличию макроэргических связей играют важную роль в обмене энергии, аккумулируя запасы ее в лабильных фосфатных связях. В мышцах фосфорные соединения являются составляющими адениловой системы – АМФ, АДФ, АТФ и креатинфосфата (КФ), участвуя в энергетическом обмене в процессе мышечной деятельности. Физическая нагрузка как стрессовая ситуация оказывает существенное влияние на биохимические процессы, протекающие в организме [1, 5]. При занятиях спортом возрастает потребность организма в макро- и микроэлементах, в том числе и фосфоре. Под влиянием тренировок содержание креатинфосфата повышается [1, 2, 5].

Задачи исследования – выявить роль содержания фосфора в крови в диагностическом и прогностическом

значении для оценки функционального состояния организма спортсменов в тренировочном процессе.

Под наблюдением в подготовительном периоде тренировки находилось 33 высококвалифицированных спортсмена – мастера спорта (11 велосипедистов и 22 футболиста).

Исследование велосипедистов проводилось в покое и после велоэргометрической нагрузки ступенеобразно повышающейся мощности до отказа от работы. Начальная величина нагрузки – 750 кгм/мин. Каждые 2 мин нагрузка увеличивалась на 240 кгм/мин. Через 5 мин отдыха велосипедисты выполняли вторую нагрузку: в течение одной минуты они работали с максимально возможной для себя скоростью. Регистрировались время работы и ЧСС в процессе тестирования.

Забор крови проводился до начала тестирования и после второй нагрузки. Неорганический фосфор определялся фотометрическим методом на аппарате «Conelab» (Финляндия). Анализировался уровень лактата и pH крови.

Анализ материала до работы выявил, что у велосипедистов все исследуемые параметры находились в пределах колебаний физиологической нормы [2]. По результатам тестирования спортсмены составили две группы: 1-я – с высокими показателями работоспособности и 2-я – с показателями ниже среднего.

В состоянии покоя у 3-х велосипедистов второй группы отмечалось неполное восстановление по показателю pH крови. У них до нагрузки отмечался компенсированный ацидоз, свидетельствующий о неполном отставленном восстановлении организма.

Продолжительность работы составила в среднем 14 мин 18 с ($828 \pm 26,9$ с). Максимальная ЧСС составила $195 \pm 8,5$ уд./мин. После работы уровень лактата крови равнялся $7,1 \pm 0,54$ ммол/л, pH крови – $7,19 \pm 0,02$ находился в зоне декомпенсированного метаболического ацидоза, что соответствовало работе в смешанной зоне с аэробной направленностью.

Увеличение содержания в крови неорганического фосфора составило в среднем 47,4%. Изменение содержания фосфора в крови после нагрузки, по-видимому, связано с распадом легких мобильных фосфорных связей. Прирост этого показателя после нагрузки косвенно отражает возможности окислительного фосфорилирования. Уровень увеличения фосфора в ответ на нагрузку прямо пропорционален скорости реакции гидролиза АТФ и поставке энергии на сократительный механизм адаптации.

Рассматривая мышечную деятельность с позиции гомеостатического состояния организма как системы в целом, можно констатировать, что работа в смешанной зоне с аэробной направленностью протекает на фоне умеренного изменения гомеостаза.

Степень изменения исследуемых параметров у спортсменов после нагрузки была разной. Имеются различия в степени нарастания фосфора крови после нагрузки у велосипедистов с разным уровнем работоспособности.

С учетом показателей работоспособности спортсмены были, как отмечено выше, разделены на две группы:

с высоким $924 \pm 14,7$ с (1-я группа) и ниже среднего $792 \pm 29,4$ с (2-я группа) объемом выполненной работы. В 1-ю группу вошли 6 велосипедистов в возрасте 17–22 лет со спортивным стажем от 3 до 10 лет. Во 2-ю группу вошли 5 более молодых спортсменов в возрасте 16–18 лет со спортивным стажем от 2 до 6 лет.

Сопоставление результатов исследований, полученных в обеих группах, показывает, что велосипедисты второй группы при меньшем объеме выполненной работы имели выше уровень лактата: $7,63 \pm 0,5$ ммол/л против $6,36 \pm 0,61$ ммол/л у спортсменов 1-й группы.

Следует отметить также неодинаковое изменение фосфора после велоэргометрической нагрузки у спортсменов 1-й и 2-й групп. Если у велосипедистов, выполнивших большой объем работы ($924 \pm 14,7$ с), зарегистрировано увеличение фосфора в крови на 41,8%, то у спортсменов 2-й группы при меньшем объеме работы ($792 \pm 29,4$ с) уровень фосфора в сыворотке крови увеличился на 52,9%.

Если учесть, что один из механизмов освобождения энергии, состоящий в передаче энергии с АТФ на актомиозин, происходит с освобождением неорганического фосфора, то более значительный уровень повышения фосфора в крови у велосипедистов 2-й группы свидетельствует о том, что этот механизм у них задействован в большей степени. Процесс ресинтеза АТФ у них несолько замедлен.

Одним из последствий гидролиза КФ при выполнении мышечной работы высокой интенсивности (выполнение на велоэргометре второй скоростной нагрузки) является накопление в мышцах неорганического фосфора, который способен оказывать прямое угнетающее влияние на сопряженность процесса возбуждение – сокращение. Эти изменения сопровождаются параллельным повышением концентрации лактата и ионов водорода во время интенсивной мышечной работы. Все эти метаболиты независимо причастны к развитию мышечного утомления. Отмечено [5], что энергетический выход в процессе гидролиза АТФ снижается, когда концентрация продуктов этого гидролиза (АДФ и фосфора) возрастает, что также может способствовать ускорению развития утомления в связи с ослаблением реакции утилизации АТФ.

На степень изменения фосфора крови большую роль играет уровень восстановления организма. В качестве примера приводим результаты диагностического тестирования велосипедиста М. 18 лет, мастера спорта, спортивный стаж 5 лет. До работы у него в крови отмечался субкомпенсированный ацидоз (pH=7,29), что указывало на неполное восстановление организма. Уровень фосфора составил 1,12 ммол/л. После велоэргометрической нагрузки при ЧСС = 203 уд./мин, лактате 10,1 ммол/л и значительном снижении pH крови (7,07) отмечено значительное увеличение фосфора до 1,89 ммол/л (68,7%). Величина выполненной работы была ниже на 8,1% по сравнению со среднegrupповыми данными и протекала с включением гликолитического анаэробного механизма энергообеспечения.

У велосипедиста Ш. 20 лет, спортивный стаж 6 лет, мастера спорта международного класса, с хорошим вос-

становлением организма выполнившего на велоэргометре самую большую работу (960 с), прирост фосфора составил 30,1%, ЧСС=187 уд./мин, лактат=8,1 ммол/л при умеренном сдвиге рН крови (7,23) до субкомпенсированного метаболического ацидоза. Работа протекала в смешанной зоне с аэробной направленностью. Снижение скорости гликолиза в тренированных мышцах по сравнению с нетренированными или утомленными можно объяснить менее выраженным увеличением возрастания внутримышечной концентрации АМФ и неорганического фосфора.

Следовательно, величина фосфора крови, отражающая уровень мобилизации энергетических ресурсов организма на физическую нагрузку у велосипедистов, выполнивших сниженный объем работы, была напряженнее, чем у велосипедистов с высокой работоспособностью. Активизация энергетических систем у представителей 2-й группы носит избыточный характер.

Уровень изменений содержания неорганического фосфора крови в тестирующей нагрузке отражает функциональное состояние организма велосипедистов, и поэтому эти данные можно использовать как дополнительные диагностические критерии, позволяющие судить об интенсивности минерального и энергетического обмена, а также о возможности выявления слабых звеньев адаптации. Определение уровня фосфора до и после нагрузки можно использовать в комплексном врачебном контроле для всесторонней оценки функциональной подготовленности спортсменов.

В клинической кардиологии описаны изменения ЭКГ при нарушении электролитного обмена [3, 4, 6]. С этой целью были проведены исследования по изучению содержания фосфора в крови и функциональному состоянию сердца по данным ЭКГ.

Под наблюдением находились 22 высококвалифицированных футболиста (мастера спорта) в возрасте 17–28 лет. ЭКГ регистрировалась в 12 отведениях в исходном состоянии, в процессе ортопробы и после велоэргометрического тестирования. Электрокардиограмма

футболистов регистрировалась на 6-канальном электрокардиографе фирмы «Schiller» (Германия).

Результаты обследования показали, что ЭКГ в исходном состоянии у 11 спортсменов была в пределах нормальных значений и физиологической нормы. В то же время у 11 спортсменов зарегистрированы изменения в работе сердца: восемь футболистов имели нарушения процессов реполяризации миокарда левого желудочка, у одного – миграция водителя ритма, у одного – предсердный ритм и у одного – желудочковая экстрасистолия.

Отмечено, что у более молодых спортсменов с нарушением процессов реполяризации миокарда в состоянии покоя более высокая ЧСС и повышенное АД на фоне сниженного уровня фосфора крови. При этом у футболистов с низким уровнем содержания фосфора крови в 45,5% случаев отмечалось на ЭКГ нарушение процессов реполяризации миокарда. У футболистов с более высоким содержанием фосфора в крови в покое зарегистрировано нарушение ритма в 20,0%; в 50% случаев в ортопробе на ЭКГ отмечалась неадекватная реакция, а в 20,0% случаев после велоэргометрии данная патология усиливалась.

В качестве примера приводим данные спортсмена З., 21 год, мастер спорта. На ЭКГ (рис.1) изменения миокарда нижней стенки левого желудочка вероятно дистрофического генеза (синдром $Tv1=Tv6$; $Tv2 > Tv5$) с ухудшением реполяризации миокарда нижней стенки левого желудочка в процессе ортопробы. Показатели электролитного обмена фосфора и кальция ниже нижней границы нормы по сравнению со спортсменами с нормальной ЭКГ (рис. 2 и 3).

Следует отметить, что неорганический фосфор непосредственно сам не участвует в переносе электрического потенциала в сердечной мышце, как калий и натрий. Нарушения в работе сердца, коррелирующие с изменениями неорганического фосфора, могут быть обусловлены изменением энергии метаболических процессов в миокарде, связанным, главным образом, с ресинтезом АТФ.

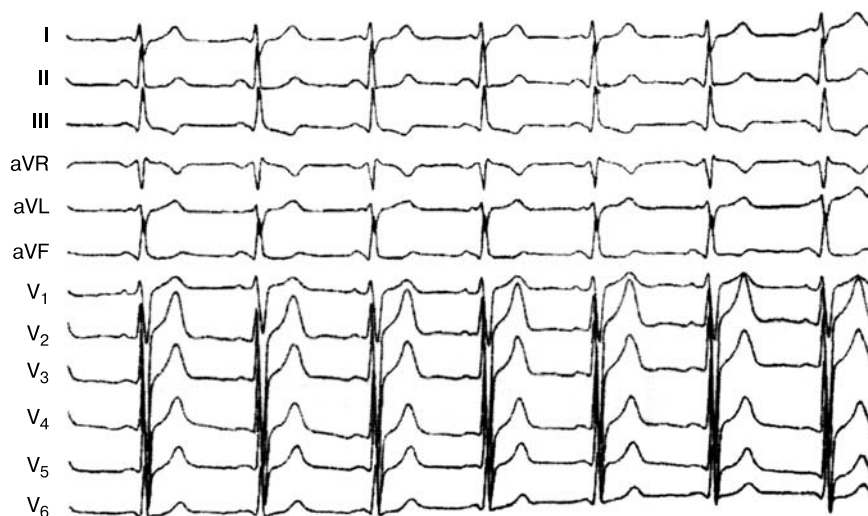


Рис. 1. ЭКГ спортсмена З.

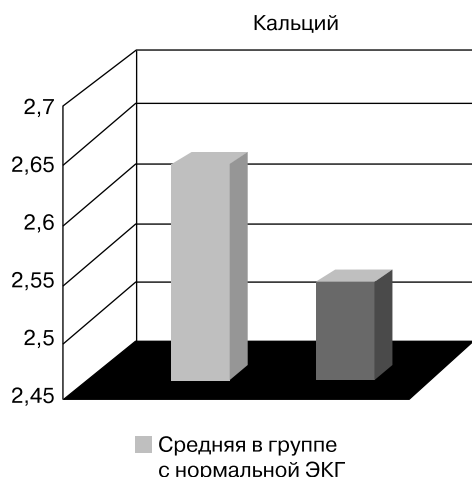


Рис. 2. Кальций крови у спортсмена 3.

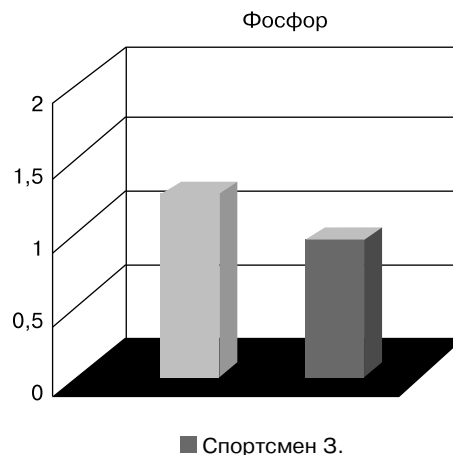


Рис. 3. Фосфор крови у спортсмена 3.

Выводы

Характер изменений фосфора крови отражает функциональное состояние организма спортсменов, и поэтому эти показатели необходимо использовать как диагностические критерии, позволяющие судить об интенсивности минерального и энергетического обмена, а также о возможности своевременного выявления слабых звеньев адаптации организма спортсменов к физической нагрузке большой мощности.

Определение уровня неорганического фосфора до и после нагрузки рекомендуется использовать в комплексной оценке функциональной подготовленности спортсменов.

Нормальное обеспечение содержания фосфора необходимо для образования здоровой костной системы и сбалансированного обмена веществ.

Измененный уровень фосфора в крови может служить фактором возникновения травматологических заболева-

ний и нарушений в деятельности сердечно-сосудистой системы, снижения работоспособности и прогностически – ранним симптомом риска заболеваемости.

Лучший способ избежать недостатка фосфора в организме – полноценное сбалансированное питание, дополнительный прием витамина Д, который усиливает отложение соединений фосфора в костной ткани. Насыщать организм фосфором лучше естественным путем – с пищей. Источники фосфора в продуктах: рыба, натуральный сыр, стручки сои, сырой шпинат, огурцы, капуста, горох, салат, зерна ржи и пшеницы, отруби.

Своевременная коррекция минерального состава и микроэлементов является важнейшим средством профилактики травматизма и нарушений в работе сердца у спортсменов в условиях использования напряженных тренировочных и соревновательных нагрузок.

Литература

1. Меерсон Ф.З., Пшенникова М.Г. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. – М.: Медицина, 1988. – 250 с.
2. Назаренко Г.И., Кишкун А.А. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований. – М.: Медицина, 2000. – 540 с.
3. Орлов В.Н. Руководство по электрокардиографии. – М., 1999. – 524 с.
4. Исаков И.И., Кушаковский М.С., Журавлева Н.Б. Клиническая электрокардиография. – Л.: Медицина, 1984.

5. Мохан Р., Глессон М., Гринхafft П.Л. Биохимия мышечной деятельности и физической тренировки. – Киев: Олимпийская литература, 2001.

6. Иорданская Ф.А., Цепкова Н.К. Кальций в крови: диагностическое и прогностическое значение в мониторинге функционального состояния высококвалифицированных спортсменов // Вестник спортивной науки. – 2009. – № 3. – С. 33–35.

References

1. Meerson F.Z., Pschenikova M.G. Adaptation to stressory situations and physical loads. – M.: Medicina, 1988. – 250 p.
2. Nazarenko G.I., Kishkun A.A. Clinical evaluation of laboratory analyses data. – M.: Medicina, 2000. – 540 p.
3. Orlov V.N. Manual on electrocardiography. – M., 1999. – 524 p.
4. Isakov I.I., Kushakovskiy M.S., Zhuravleva N.B. Clinical electrocardiography. – L.: Medicina, 1984.

5. Mohan R., Glesson M., Greenhaff P.L. Biochemistry of muscle activity and physical training. – Kiev: Olimpijskaya literatura, 2001.

6. Iordanskaya F.A., Tzepkova N.K. Blood calcium: diagnostic and prognostic value for functional state monitoring in elite athletes // Vestnik sportivnoi nauki. – 2009. – № 3. – P. 33–35.