

КИСЛОРОДНЫЙ МОНИТОРИНГ, ПОРОГ АНАЭРОБНОГО ОБМЕНА (ПАНО), КРОВООБРАЩЕНИЕ И ДЫХАНИЕ В ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ РЕЗЕРВОВ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНА ПРИ ВОЗРАСТАЮЩИХ НАГРУЗКАХ.

Ефименко А. М., доктор медицинских наук, профессор

Гончаров В. Ю.

Кислород (O_2) является акцептором электронов в системе окислительного фосфорилирования, необходим для ресинтеза АТФ, участвует в образовании CO_2 в цикле Кребса, а также, взаимодействуя с водородом (H^+), образует воду (H_2O) и предотвращает подкисление внутренней части клеток. При недостатке кислорода (гипоксия) замедляется образование АТФ, падает энергетический и функциональный потенциал клеток, а при прекращении поступления O_2 в ткани (аноксия) наступает гибель клеток (особенно коры головного мозга) в течение нескольких минут. Гипоксия тканей приводит к рефлекторному запуску срочных адаптивных реакций дыхательной и сердечно-сосудистой систем, которые начинают компенсировать недостаток O_2 увеличением лёгочной вентиляции и активизацией кровообращения. Таким образом аэробная физическая работоспособность зависит от функционирования кислородтранспортной системы (дыхательной, сердечно-сосудистой и крови) по обеспечению и поддержанию pO_2 около митохондрий клеток на необходимом уровне (1-5 мм.рт.ст.). Парциальное давление кислорода (pO_2), начиная от вдыхаемого воздуха (159 мм.рт.ст.) и заканчивая митохондриями, снижается в виде каскада (Колчинская Л. З.). Ступенями кислородного каскада являются различные звенья сердечно-сосудистой, дыхательной систем, крови и тканей. В связи с этим поступление кислорода в клетки определяется и лимитируется работой и производительностью кислородтранспортной системы, а каждое звено может влиять на эффективность доставки O_2 в ткани. К числу факторов, определяющих максимальную аэробную работоспособность относятся лёгочная вентиляция (и её составляющие), центральные и периферические параметры гемодинамики (СО, СВ, ВВ, скорость капиллярного кровотока, число функционирующих капилляров и др.).

Центральные механизмы гемодинамики имеют решающее значение для транспорта O_2 , а периферические влияют на поступление O_2 из крови к митохондриям и в большей степени определяют эффективность использования O_2 тканями. Центральная гемодинамика поддаётся изучению достаточно хорошо; что же касается микроциркуляции, то, несмотря на большой интерес к этому вопросу, наши знания по физиологии капилляров и особенно по их функционированию при физических нагрузках остаются весьма ограниченными. Связано это, в первую очередь, с трудностью изучения гемодинамики и транспорта O_2 на капиллярном и тканевом уровнях. Однако, в последнее время с помощью полярографической техники удаётся прижизненно изучать процессы газообмена

между кровью и тканями, состояние капиллярного кровотока и кислородного режима клеток.

Учитывая многоступенчатость и многокомпонентность кислородного каскада организма, взаимосвязь всех его звеньев, изучение функциональных возможностей кислородтранспортной системы необходимо проводить комплексно и лучше в динамике при возрастающих мощностях физических нагрузок. Этим достигается включение всех звеньев и механизмов транспорта O_2 , выявление их недостатков и резервов.

В данной работе проводилась оценка функциональных резервов аэробной выносливости по показателям сердечно-сосудистой, дыхательной систем, кислородного режима тканей и ПАНО у спортсменов со значительным уровнем аэробной мощности ($\dot{V}O_{2max}$ более $50 \text{ мл} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$).

Исследовали две группы спортсменов разной квалификации, тренирующихся на выносливость, подобранных с практически одинаковыми величинами $\dot{V}O_{2max}$. Первая группа ($n=13$) была представлена второ- и перворазрядниками, а вторая – к.м.с. и м.с. ($n=9$).

Аэробная производительность определялась по величине максимального потребления кислорода ($\dot{V}O_{2max}$), аэробная экономичность – по порогу анаэробного обмена (ПАНО). $\dot{V}O_{2max}$ и ПАНО устанавливали неинвазивным методом по динамике показателей газообмена и лёгочной вентиляции. Испытуемые выполняли велоэргометрическую нагрузку до отказа со ступенчатого возрастающей мощностью. Мощность первой ступени – $1 \text{ Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$, прирост на каждой последующей ступени составлял $0,3 \text{ Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$. Продолжительность каждой ступени – 3 мин. На последних 30 сек. каждой ступени осуществляли забор выдыхаемого воздуха для определения минутного объёма лёгочной вентиляции и газового анализа. Одновременно на электронном полиграфе ПБЧ-01 регистрировали ЭКГ по Нэбу (отведение D), частоту дыхания с помощью манжеты и преобразователя ППВ-02, трансторакальную тетраполярную реограмму с помощью реографического блока с частотой зондирующего тока 40 кГц и точечных электродов ЭПСК-01, фиксируемых на теле двусторонними адгезивными кольцами; тетраполярную реоэнцефалограмму с помощью реографического блока с частотой зондирующего тока 70 кГц и подпружиненных электродов (в качестве защитных электродов использовали металлические кольца по краям фланцев измерительных электродов); дифференциальные реограммы при помощи блоков дифференцирования. Для снижения переходного сопротивления кожу обезжировали спиртом, а электроды покрывали тонким слоем электродной пасты. Артериальное давление определяли измерителем ИАД-1. Регистрировали ряд показателей: минутный объём лёгочной вентиляции (\dot{V}_E), фракцию кислорода и двуокиси углерода в выдыхаемом воздухе, частоту сердечных сокращений (f_h) дыхания (f_r), ударный объём крови, индекс церебрального кровотока, систолическое и диастолическое артериальное давление. Одновременно

определяли расчётные параметры: минутное потребление кислорода, минутное выделение двуокиси углерода, долю используемого кислорода в выдыхаемом воздухе (ΔFO_2), дыхательный коэффициент, вентиляционный эквивалент кислорода и двуокиси углерода, кислородный пульс (LPI), ватт-пульс ($W-f_h$), среднюю глубину дыхания, сердечный выброс, объёмную скорость церебрального кровотока, среднее динамическое давление. Напряжение кислорода (pO_2) в тканях бедра и надключичной области, а также капиллярный кровоток регистрировали непрерывно, в динамике полярографическим методом с помощью транскутанных оксимониторов – TCM2 (производство фирмы "Radiometer"). Датчики оксимониторов фиксировали с помощью специальных адгезивных колец на коже. Показания pO_2 в мм рт.ст. и величины локальной перфузии в относительных единицах (mW) постоянно высвечивались на экране дисплея и регистрировались на ленте самописца. Синхронно проводилась запись оксигемогаммы и пневмограммы на фотооксигемографе 036.

Определение уровня функционального состояния кислородтранспортной системы при достижении МПК характеризовалось определёнными значениями. У первой группы спортсменов $\dot{V}O_{2max}$ составляло 53.2 ± 2.5 мл·кг⁻¹·мин⁻¹, критическая мощность нагрузки ($\dot{W}_{кр.}$) – 1286 ± 46 кгм·мин⁻¹, $\dot{V}_{F,кр.}$ = 140 ± 8 л·мин⁻¹, $\Delta FO_2,кр. = 3.5 \pm 0.2\%$, $f_{h,кр.} = 193 \pm 7$ мин⁻¹, $LPI_{кр.} = 20.1 \pm 0.6$ мл. У второй группы $\dot{V}O_{2max} = 53.1 \pm 1.8$ мл·кг⁻¹·мин⁻¹, $\dot{W}_{кр.} = 1359 \pm 64$ кгм·мин⁻¹, $\dot{V}_{F,кр.} = 128 \pm 6$ л·мин⁻¹, $\Delta FO_2,кр. = 3.7 \pm 0.2\%$, $f_{h,кр.} = 180 \pm 5$ мин⁻¹, $LPI_{кр.} = 20.6 \pm 0.7$ мл. При сопоставлении физической работоспособности и основных параметров кислородтранспортной системы у спортсменов двух групп достоверных различий на уровне критической мощности нагрузки не выявлено ($P > 0.05$). Это говорит об ограниченной информативности аэробной выносливости и функциональных резервов по уровню максимальной аэробной производительности.

Однако при исследовании фракционного использования максимальной аэробной производительности на уровне ПАНО установлено, что у более квалифицированных спортсменов физическая работоспособность оказалась значительно выше (на 26%, $p < 0.05$), чем у менее квалифицированных и составила 1093 ± 55 кгм·мин⁻¹ против 865 ± 39 кгм·мин⁻¹. Этот повышенный уровень аэробной выносливости обеспечивался более высокой степенью напряжения адаптивных реакций кардиореспираторной системы в зоне аэробно-анаэробного перехода. Об этом свидетельствуют более высокие уровни $\dot{V}_{E,ПАНО}$ и $f_{h,ПАНО}$ (85 ± 3 л·мин⁻¹, 163 ± 4 мин⁻¹) у спортсменов второй группы по сравнению с менее квалифицированными спортсменами первой группы (74 ± 4 л·мин⁻¹, 142 ± 6 мин⁻¹). Таким образом, более высокий уровень функционального состояния кислородтранспортной системы в зоне аэробно-анаэробного перехода позволяет высококвалифицированным спортсменам в течение длительного времени использовать большую долю аэробной производительности при мышечной деятельности. ПАНО составил у них

$83 \pm 1\% \dot{V}O_{2\max}$ и $81 \pm 2\% W_{кр.}$, что значительно выше (на 21-26%, $p < 0,05$), чем у спортсменов первой группы, у которых ПАНО был на уровне $66 \pm 3\% \dot{V}O_{2\max}$ и $67 \pm 2\% W_{кр.}$

Степень напряжения кислородтранспортной системы при ПАНО отражает аэробный функциональный резерв организма, который можно оценить по относительным значениям её основных параметров (в % от значений при критической мощности нагрузки). Например, у спортсменов второй группы $\dot{V}_{E\text{ ПАНО}} = 68 \pm 3\%$ от $\dot{V}_{E\text{ кр.}}$, $f_{h\text{ ПАНО}} = 90 \pm 1\%$ от $f_{h\text{ кр.}}$, у спортсменов первой группы $\dot{V}_{E\text{ ПАНО}} = 54 \pm 4\%$ от $\dot{V}_{E\text{ кр.}}$, $f_{h\text{ ПАНО}} = 74 \pm 3\%$ от $f_{h\text{ кр.}}$. Таким образом, с повышением тренированности функциональный резерв дыхательной и сердечно-сосудистой систем возрастает. Нетрудно заметить, что функциональный резерв сердечно-сосудистой системы у высококвалифицированных спортсменов достигает своих предельных значений (до 90%), в то время, как у дыхательной, он существенно ниже (до 74%) и может ещё значительно возрастать при физической нагрузке. Поэтому сердечно-сосудистая система является наиболее важным лимитирующим звеном в системе доставки кислорода к тканям.

Проецируя изменения параметров кардиореспираторной системы на динамику pO_2 в тканях, можно отметить наличие нескольких типов взаимосвязи тканевого pO_2 с дыханием, центральным кровообращением и капиллярным кровотоком, а также со степенью насыщения крови кислородом и уровнем ПАНО. У менее квалифицированных спортсменов изменения pO_2 определялись преимущественно реакциями дыхательной системы и степенью насыщения крови кислородом, а у более квалифицированных – системным кровообращением и капиллярным кровотоком. Уровень адаптации организма к физическим нагрузкам различной мощности хорошо отражает капиллярный кровоток. У спортсменов второй группы он резко возрастал на первых ступенях нагрузки, затем плавно повышался до ПАНО, после чего стабилизировался и удерживался на высоком уровне до отказа от работы. У спортсменов первой группы капиллярный кровоток возрастал, как правило, до ПАНО, затем уменьшался до уровня критической мощности нагрузки, после чего резко снижался. Таким образом, у менее квалифицированных спортсменов ухудшение кровоснабжения тканей наступает на уровне ПАНО, а срывы адаптации – при достижении критической мощности нагрузки.

Отсюда можно заключить, что для полной оценки аэробной выносливости необходимо определять не только аэробную мощность по величине $\dot{V}O_{2\max}$, но и аэробную экономичность по уровню ПАНО, так как спортсмены с одинаковой и относительно высокой максимальной аэробной производительностью имеют значительную вариабельность эргометрических и физиологических показателей ПАНО, которые тесно коррелируют с их спортивной квалификацией. Мобилизация функциональных резервов кардиореспираторной системы в области аэробно-анаэробного перехода определяет рост аэробной выносливости и, соответственно, ПАНО. У менее квалифицированных спортсменов активизация функциональных резервов аэробной выносливости идёт в первую очередь

за счёт системы дыхания, а у более квалифицированных преимущественно за счёт системы кровообращения с увеличением роли регионального и капиллярного кровотока.

Литература.

1. Колчинская А. З. Кислород. Физическое состояние. Работоспособность – Киев.: Наук. думка, 1991, – 206 стр.
2. Ефименко А. М. Исследование действия холинэргических веществ на гемодинамику, дыхание, кровь и кислородные режимы тканей. Автореферат докт. диссертации. Харьков, 1971.