

## Влияние капнографической тренировки с биологической обратной связью на физическую работоспособность и гемодинамику у спортсменов

Капилевич Л.В.<sup>1,2</sup>, Пеккер Я.С.<sup>1</sup>, Баранова Е.А.<sup>2</sup>

### Influence of capnographic training with biological feedback on the physical performance and hemodynamics in sportsmen

Kapilevich L.V., Pekker Ya.S., Baranova Ye.A.

Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

© Капилевич Л.В., Пеккер Я.С., Баранова Е.А.

Изучалось влияние капнографической тренировки с биологической обратной связью (БОС) на характер гемодинамики нижних конечностей и физическую работоспособность спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта. Капнографический БОС-тренинг способствует повышению эффективности использования кислорода мышцами, оптимизируя уровень тканевого дыхания, способствует более быстрой адаптации кровотока к метаболическим потребностям скелетной мускулатуры нижних конечностей и в конечном результате обеспечивает повышение физической работоспособности спортсменов. Полученные результаты позволяют рассматривать капнографическую тренировку с биологической обратной связью как перспективный компонент тренировочного процесса в циклических видах спорта.

**Ключевые слова:** капнографическая тренировка, реография, работоспособность, спортсмены.

The influence of capnographic training with biological feedback (BF) on character of leg hemodynamics and physical performance has been studied in sportsmen training in cyclic sports. The capnographic BF training favors an increase in the efficiency of oxygen use by muscles, optimizes the level of tissue respiration, favors the faster adaptation of blood flow to metabolic needs of leg skeletal muscles, and, finally, provides an increase in the physical performance of sportsmen. The results obtained allow us to consider the capnographic training with biological feedback as a promising component of the training process in cyclic sports.

**Key words:** capnographic training, rheography, exercise performance, sportsmen.

УДК 612.2:615.835.1:796.015.84

#### Введение

В подготовке спортсменов начальной квалификации независимо от направленности тренировки постоянно увеличиваются объем и интенсивность нагрузок, что предполагает работу всех систем организма на предельных режимах. Тестирование этих режимов является неотъемлемой частью тренировочного процесса, и одной из ведущих на сегодняшний день продолжает оставаться проблема объективной оценки функционального состояния орга-

низма спортсмена. В обеспечении быстрой перестройки деятельности организма в условиях физической нагрузки особая роль принадлежит сердечно-сосудистой системе. Специфика каждого вида спорта определяет характер адаптационных сдвигов в организме на морфологическом, метаболическом и регуляционном уровнях. Таким образом, большое значение имеет комплексная оценка адаптационных и регуляционных процессов, происходящих в организме.

Установлено [10], что в процессе работы периферическое сосудистое сопротивление снижается в 4—5

раз по сравнению с покоем [5], что приводит к увеличению кровотока в работающих мышцах в десятки раз. Многие авторы отмечают, что выполнение длительных равномерных тренировочных нагрузок приводит к значительному увеличению капиллярной сети; общее количество капилляров может возрасти на 100% [2, 8, 9]. Кроме того, повышаются возможности вегетативного обеспечения мышечной деятельности и в целом кровотока в работающих конечностях возрастает за счет местных механизмов регуляции, трудно поддающихся оценке [6].

Физические нагрузки сопровождаются повышением кислородного запроса и приводят к возникновению тканевой гипоксии, имеющей обратимый характер и сменяющейся значительным усилением аэробного обмена при прекращении работы или снижении ее интенсивности. Чтобы обеспечить успешную деятельность в указанных условиях и поддерживать высокую работоспособность, необходима специальная гипоксическая подготовка. Основными средствами такой подготовки являются эпизодически повторяющиеся сеансы искусственно вызываемой гипоксии (подъемы в барокамерах, дыхание в замкнутое пространство или просто задержки дыхания, вдыхание смесей с низким содержанием  $O_2$  и т.п.), варьирующие по продолжительности и величине снижения  $pO_2$  [4, 7].

В последние годы в физиологии и медицине все более широкое распространение получают тренировки с биологической обратной связью, основанные на визуализации интегральных параметров функционирования различных систем (кардиоритм, ЭЭГ и др.), что ведет к формированию у человека навыков саморегуляции данных параметров [1]. В этой связи представляет интерес использование в качестве тренирующего параметра содержания  $CO_2$  в выдыхаемом воздухе. Формирование у спортсменов навыков управления ритмом и глубиной дыхания с целью оптимизации содержания углекислого газа в крови и выдыхаемом воздухе может быть эффективным аналогом гипоксической тренировки. Однако разработка тренировочных режимов должна осуществляться на физиологически обоснованных принципах.

Цель работы — исследование влияния капнографической тренировки с биологической обратной связью на физическую работоспособность спортсменов, тренирующихся в циклических видах спорта.

## **Материал и методы**

В исследовании принимали участие 20 спортсменов студенческих команд в возрасте 18—20 лет, специализирующихся в циклических видах спорта, спортивная квалификация — I—II разряды.

Исследование параметров внешнего дыхания проводилось с помощью ультразвукового проточного капнометра КП-01 «Еламед» (г. Новосибирск). Он представляет собой малогабаритный прибор, подключаемый к компьютеру через устройство сопряжения, которое обеспечивает электробезопасность пациента и передачу сигнала в компьютер. Данные о концентрации  $CO_2$ , измеренные капнометром, поступают в компьютер через интерфейс USB-COM-порт непрерывно.

Каждому испытуемому был проведен курс капнографической тренировки с биологической обратной связью (БОС-тренинг), состоящий из семи сеансов, проводимых ежедневно. Сеансы проводятся в помещении с комнатной температурой, защищенном от действия яркого света и обеспечивающем достаточную шумоизоляцию. Инструктор, проводящий сеанс, объясняет цель тренинга, создает мотивацию к активной работе в БОС-системе. После этого испытуемый работает самостоятельно в течение всего сеанса, инструктор лишь контролирует его ход. Во время проведения сеанса пациент должен находиться в спокойном, расслабленном состоянии, инструктор по возможности не должен вмешиваться в ход тренинга. При появлении признаков утомления инструктор должен прекратить сеанс.

Перед началом БОС-тренинга проводится 1,5-минутная запись капнограммы спокойного дыхания испытуемого и вычисляется максимальное значение концентрации  $CO_2$  в выдыхаемом воздухе ( $FetCO_2$ ) и частоты дыхания (ЧД). Основным элементом БОС-тренинга является визуальная интерпретация параметров внешнего дыхания. Параметры внешнего дыхания, используемые для регистрации, анализа и формирования сигналов обратной связи, —  $FetCO_2$  и ЧД — обрабатываются и интерпретируются программно в понятный и удобный для испытуемого визуальный образ.

Визуальное отображение параметров обратной связи, предъявляемое испытуемому, состоит из двух геометрических фигур — квадрата и окружности. Квадрат представляет собой интерпретацию заданных

параметров дыхания. Заданную ЧД характеризует высота, на которой расположен квадрат (с увеличением частоты высота увеличивается), а концентрацию  $\text{CO}_2$  — интенсивность его окраски в градации от черного к белому (белый цвет соответствует максимальному значению  $\text{CO}_2$ ). Окружность характеризует текущие параметры дыхания испытуемого, изменяющиеся в процессе БОС-тренинга. Перед испытуемым стоит задача поместить окружность в область квадрата путем изменения высоты окружности, что соответствует изменению ЧД, и сделать его такого же цвета, как квадрат, добившись, таким образом, заданного значения  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе. Необходимо достичь заданных параметров и удерживать их. На выполнение каждого задания отводится по 10 мин.

В БОС-тренинге реализованы следующие задания:

— простой БОС-тренинг — задача произвольным образом снизить  $\text{FetCO}_2$  на 20% от исходной величины;

— модификация 1: задача снизить  $\text{FetCO}_2$  на 20% от исходной величины за счет уменьшения ЧД в 2 раза;

— модификация 2: задача снизить  $\text{FetCO}_2$  на 20% от исходной величины за счет увеличения ЧД в 2 раза.

Перед началом БОС-тренинга и после седьмого сеанса проводились 1,5-минутная запись капнограммы спокойного дыхания испытуемого и вычислялось максимальное значение  $\text{FetCO}_2$ , определение физической работоспособности проводилось с помощью теста  $\text{PWC}_{170}$  на велоэргометре, для оценки гемодинамических изменений нижних конечностей использовался реографический комплекс «Рео-Спектр-2» (ООО «Нейрософт», Россия).

Полученные данные представлены в виде среднего значения  $X$  и ошибки среднего  $m$ , гипотезу о принадлежности сравниваемых выборок к одной и той же генеральной совокупности проверяли с помощью непараметрического  $U$ -критерия Манна—Уитни.

## Результаты и обсуждение

Результаты теста  $\text{PWC}_{170}$  показали прирост работоспособности после БОС-тренинга до  $(1070,00 \pm 98,99)$  Вт, до тренинга уровень работоспособности составил  $(796,00 \pm 15,56)$  Вт ( $p < 0,05$ ).

После проведения курса капнографического БОС-тренинга при спокойном дыхании (рис. 1) у спортсменов снижалось содержание  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе от  $(5,20 \pm 0,33)$  до  $(4,80 \pm 0,42)\%$  ( $p < 0,05$ ). При попарном сравнении концентрации  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе снижение после БОС-тренинга составило  $(0,35 \pm 0,08)\%$  ( $p < 0,05$ ).

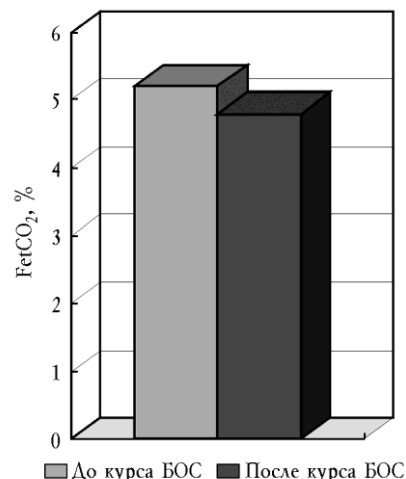


Рис. 1. Максимальная концентрация  $\text{CO}_2$  в выдыхаемом воздухе при спокойном дыхании у спортсменов до и после курса БОС-тренинга

При исследовании кровообращения нижних конечностей (рис. 2) было установлено, что у спортсменов происходит снижение показателей интенсивности артериального кровотока, таких как реографический индекс (РИ) ( $p < 0,05$ ) и амплитудно-частотный показатель (АЧП) ( $p < 0,05$ ). Также снижаются индексы быстрого  $V_{\max}$  и среднего  $V_{\text{ср}}$  кровенаполнения ( $p < 0,05$ ), которые отражают кровенаполнение, тонус и эластичность артерий различного калибра. Вместе с тем наблюдается увеличение дикротического индекса (ДИК) ( $p < 0,05$ ) и показателя венозного оттока (ПВО) ( $p < 0,05$ ).

Известно, что во время интенсивной мышечной деятельности кровотоков в работающих мышцах может увеличиваться в 10—20 раз [11]. Мышечная нагрузка приводит к увеличенному артериальному выходу и сопровождается усилением капиллярного кровотока. В этих условиях возвратное кровообращение должно адаптироваться для того, чтобы выполнять роль дренажа. Прежде всего изменяется венозная стенка: в норме в венах происходит снижение гладкомышечного тонуса, в то время как в собирательных венах отмечается

увеличение эластичности венозной стенки. Вероятно, капнографическая тренировка вызывает сходные с физической нагрузкой гемодинамические изменения артериального кровотока нижних конечностей у обследованных спортсменов, что способствует оптимизации функционирования системы кровообращения.

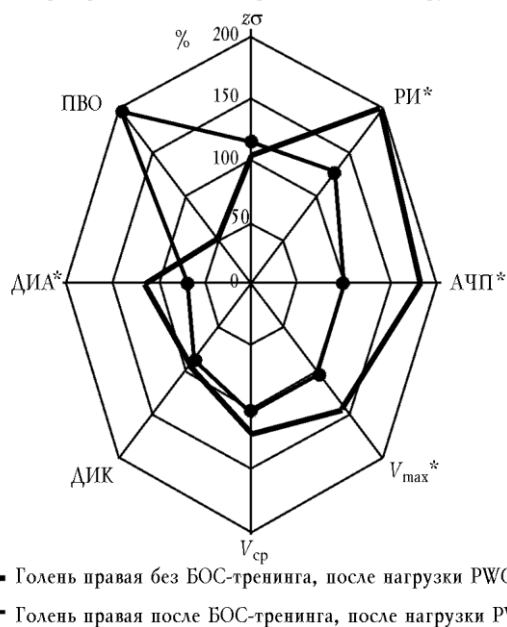
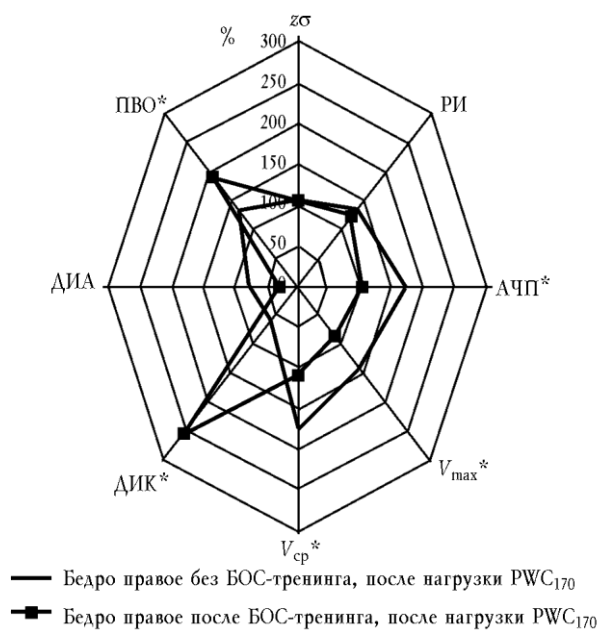


Рис. 2. Показатели регионарной гемодинамики у спортсменов после нагрузки (% от значений до нагрузки): \* — достоверность изменений после БОС-тренинга ( $p < 0,05$ )

Согласно литературным данным, у спортсменов высокой квалификации в покое отмечается некоторое

снижение притока крови к конечностям. Снижение интенсивности кровотока установлено у лыжников, футболистов, бегунов, гребцов.

Физические тренировки, возможно, увеличивают растяжимость вен нижних конечностей. Растяжимость вен лучше у спортсменов, тренирующихся на выносливость [3]. По-видимому, большая венозная растяжимость является физическим ответом на гиперволемию, возникающую вследствие систематических аэробных тренировок.

### Заключение

Таким образом, в условиях постоянно повторяющейся мышечной деятельности происходят функциональные перестройки в регуляции легочной вентиляции и адаптационные изменения гемодинамики артериального и венозного кровотока нижних конечностей, что, в свою очередь, способствует повышению физической работоспособности спортсменов.

Вероятно, капнографический БОС-тренинг способствует повышению эффективности использования кислорода мышцами, оптимизируя уровень тканевого дыхания. Капнографический БОС-тренинг также способствует более быстрой адаптации кровотока к метаболическим потребностям скелетной мускулатуры нижних конечностей и в результате обеспечивает повышение физической работоспособности спортсменов. Полученные данные позволяют рассматривать капнографическую тренировку с биологической обратной связью как перспективный компонент тренировочного процесса в циклических видах спорта.

### Литература

1. Бразовская Н.Г., Пеккер Я.С. Функциональное моделирование биотехнической системы с биологической обратной связью // Вестн. СибГМУ. 2000. № 1. С. 30—36.
2. Булгакова Н.Ж., Соломатин В.Р. Срочный тренировочный эффект и систематизация специальных тренировочных упражнений в зависимости от уровня развития аэробных и анаэробных возможностей // Теория и практика физ. культуры. 1996. № 1. С. 37—39.
3. Белоцерковский З.Б. Эргометрические критерии физической работоспособности у спортсменов. М.: Сов. спорт, 2005. 312 с.
4. Нудельман Л.М. Интервальная гипоксическая тренировка в циклических видах спорта // Теория и практика физ. культуры. 2006. № 1. С. 45—48.
5. Основы физиологии человека / под ред. Б.И. Ткаченко. СПб., 1994. Т. 2. 410 с.
6. Скардс Я.В., Паэлгитис А.О., Матисоне Д.Р. Последовательная дилатация сосудов сопротивления и магистраль-

- ных артерий предплечья во время рабочей и реактивной гиперемии // Кровообращение в скелетных мышцах. Рига, 1991. С. 96—104.
7. Ушаков И.Б., Черняков И.Н., Шишов А.А., Оленев Н.И. Гипобарический вариант интервальной гипоксической тренировки в авиакосмической медицине // Воен.-мед. журн. 2003. № 2. С. 54—57.
8. Чан Цан. Изменения величин частоты сердечных сокращений на уровне анаэробного порога у высококвалифицированных конькобежцев в различных видах циклической деятельности // Теория и практика физ. культуры. 1996. № 2. С. 16—18.
9. Якимов А.М. Научно-методические аспекты тренировки бегунов на средние и длинные дистанции // Теория и практика физ. культуры. 1996. № 4. С. 21—25.
10. Clausen J.P., Clausen K., Ramussen B. et al. Central and peripheral circulatory changes after training of the arms or legs // Amer. J. Physiol. 1973. V. 225, № 3. P. 675—682.
11. Monahan K.D., Dinunno F.A., Tanaka H. et al. Regular aerobic exercise modulates age-associated declines in cardiovagal baroreflex sensitivity in healthy men // J. Physiol. 2000. № 529 (pt. 1). P. 263—271.

Поступила в редакцию 19.04.2012 г.

Утверждена к печати 30.05.2012 г.

#### Сведения об авторах

**Л.В. Капилевич** — д-р мед. наук, профессор кафедры биофизики СибГМУ (г. Томск), профессор факультета физической культуры НИ ТПУ (г. Томск).

**Я.С. Пеккер** — канд. техн. наук, профессор, зав. кафедрой медицинской и биологической кибернетики СибГМУ (г. Томск).

**Е.А. Баранова** — аспирант факультета физической культуры НИ ТПУ (г. Томск).

#### Для корреспонденции

**Баранова Елена Алексеевна**, тел. 8-913-116-4300; e-mail: elena4408@yandex.ru

---

### Уважаемые читатели!

#### Предлагаем вам подписаться на наш журнал с любого номера

В 2012 году стоимость подписки на полугодие составляет 1500 рублей, на год — 3000 рублей.

**Как оформить подписку на журнал «Бюллетень сибирской медицины»**

**На почте во всех отделениях связи**

Подписной индекс **46319** в каталоге агентства Роспечати «Газеты и журналы 2012, 1-е и 2-е полугодие».

**В редакции**

- Без почтовых наценок.
- С любого месяца.
- Со своего рабочего места.

По телефону (382-2) 51-41-53; факс (382-2) 51-53-15.

На сайте <http://bulletin.tomsk.ru>

Если вы являетесь автором публикаций или хотите приобрести наш журнал, он будет выслан вам наложенным платежом при заполнении заявки. Стоимость приобретения одного номера 400 рублей.

Заявку на приобретение журнала нужно выслать по адресу редакции:

634050, г. Томск, пр. Ленина, 107,

Научно-медицинская библиотека Сибирского государственного медицинского университета,

*Капилевич Л.В., Пеккер Я.С., Баранова Е.А. Влияние кинезиографической тренировки с БОС на физическую работоспособность...*

редакция журнала «Бюллетень сибирской медицины»,  
тел. (8-3822) 51-41-53. E-mail: bulletin@bulletin.tomsk.ru