

УДК 612.1
ББК 52.57

*Шалдин В. И. *, Юзлекбаева В. М., Шведкая И. А.*

АРТЕРИАЛЬНАЯ ГИПЕРЕМИЯ И НАСЫЩЕНИЕ ТКАНЕЙ КИСЛОРОДОМ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ

Проведенными исследованиями установлено, что дозированное снижение атмосферного давления в барокамере вызывает артериальную гиперемию и увеличивает объемную скорость кровотока верхней конечности на $65 \pm 6,8$ см³, нижней конечности – на $111 \pm 11,7$ см³. Повышенная потребность тканей в кислороде при окислительно-восстановительном процессе во время артериальной гиперемии удовлетворяется лучше, чем при обычном кровоснабжении. Увеличить насыщение тканей кислородом можно путем артериальной гиперемии и одновременной ингаляции кислорода.

Ключевые слова: *барокамера, артериальная гиперемия, кислород, окислительно-восстановительный процесс.*

*Shaldin V. I. *, Yuzlekbaeva V. M., Shvedskaya I. A.*

ARTERIAL HYPEREMIA AND OXYGEN SATURATION OF TISSUES DURING RECOVERY COMPLEX

The conducted research has shown that a measured decrease of the atmosphere pressure in a pressure chamber results in arterial hyperemia and it increases volumetric blood flow in an upper limb by 65 ± 6.8 cm³, in a lower limb by 111 ± 11.7 cm³. An increased need of tissues in oxygen under an oxidation-reduction process during arterial hyperemia is satisfied better than under an ordinary blood supply. Arterial hyperemia and simultaneous oxygen inhalation can increase oxygen saturation of tissues.

Key words: *pressure chamber, arterial hyperemia, oxygen, oxidation-reduction process.*

* E-mail: biomech34@mail.ru

После больших физических нагрузок организм человека нуждается в продолжительном периоде восстановления затраченных сил и энергии. Для сокращения периода «биологического уравнивания организма» необходимо активное вмешательство в процессы восстановления [1]. В связи с этим особое значение приобретает разработка способов активного воздействия на течение восстановительных процессов у спортсменов, и их ускорение с помощью комплекса естественных и вспомогательных факторов [2].

После тренировочных и соревновательных нагрузок в мышцах спортсменов накапливаются недоокисленные продукты энергетической деятельности, что приводит к снижению их способности к возбуждению и проявлению силы. Кроме этого, утомление мышц сопровождается сужением просвета их кровеносных сосудов (спазм) и, как

следствие, к ухудшению кровоснабжения. Эти изменения приводят к замедлению окислительно-восстановительных процессов в мышцах. Следовательно, чтобы ускорить восстановление работоспособности мышц спортсменов необходимо снять спазм кровеносных сосудов в мышцах, увеличить приток к ним артериальной крови (артериальная гиперемия), с одновременным увеличением в ней содержания кислорода. Исходя из этого можно считать, что сауна и массаж в восстановительном периоде у спортсменов – есть полумера.

Сауна вызывает гиперемию (расширение кровеносных сосудов и покраснение кожного покрова) всего тела, что проявляется дополнительной нагрузкой на сердечно-сосудистую систему, а после больших соревновательных нагрузок это не желательно.

Массаж вызывает местную гиперемию, которая не является существенной нагрузкой

кой для сердечно-сосудистой системы, но она недостаточно глубокая. Но главное, как сауна, так и массаж не увеличивают объемную скорость кровотока в мышцах и не увеличивают в притекающей крови содержание кислорода.

Наиболее сильная артериальная гиперемия возникает при снижении атмосферного давления вокруг какой-либо части тела [7; 9]. Практически ее можно достичь в барокамерах различных конструкций и применяемых для лечения некоторых заболеваний и травм конечностей.

Артериальная гиперемия, возникающая в конечности в ответ на дозированное снижение атмосферного давления, захватывает не только мышцы, но и кости, и костный мозг, при этом снимается спазм кровеносных сосудов и увеличивается приток крови к тканям. Эффект расширения кровеносных сосудов сохраняется длительное время после процедуры [9; 10]. По мнению авторов [3; 4; 7] снижение атмосферного давления в барокамере приводит к расширению сосудов конечности, помещенной в барокамеру, раскрытию не функционировавших капилляров, способствует нормализации сосудистого тонуса.

В доступной нам литературе мы не нашли количественных данных увеличения кровоснабжения тканей конечности в ответ на дозированное снижение атмосферного давления в барокамере, а также на характер насыщения тканей кислородом, в том числе и при повышенной его потребности в процессе восстановления работоспособности мышц конечностей, и при ингаляции кислорода. Поэтому нами было проведено исследование с целью определения:

1) количества притекающей крови к конечности в ответ на дозированное снижение атмосферного давления вокруг нее;

2) влияния артериальной гиперемии тканей конечности на их насыщение тканей кислородом;

3) насыщение тканей конечности кислородом при его ингаляции без артериальной гиперемии и во время артериальной гиперемии;

4) характера насыщения тканей конечности кислородом при увеличении потребности

в нем без артериальной гиперемии и с артериальной гиперемией.

Для проведения исследования была использована барокамера собственной конструкции [5]. Ее важной особенностью является устройство, герметизирующее помещенные в камеру конечности. Во время снижения атмосферного давления в барокамере герметизирующее устройство оказывает на конечность минимальное давление и не препятствует кровотоку в венах, чем предупреждается возможность возникновения не артериальной, а венозной гиперемии. Венозная гиперемия ухудшает окислительно-восстановительные процессы в тканях.

Оценка количества притекающей крови к конечности в ответ на дозированное снижение атмосферного давления вокруг нее проводилась по объемной скорости кровотока с помощью методики П. П. Алексеева и А. К. Садековой (1967). Исследование было проведено на верхних и нижних конечностях у 23-х здоровых людей.

Методика. Используемой конечности на 2-3 минуте придавалось вертикальное положение для оттока крови из вен. Затем на ее верхнюю треть накладывалась манжета тонометра и в ней создавалось давление равное 70 мм рт. ст. для пережатия вен. Выше манжеты накладывался жгут для пережатия артерий. После этого конечность опускалась в сосуд, заполненный водой до сливного отверстия. При этом из сосуда вытеснялась вода в количестве равном объему опущенной части конечности и жгут снимался. Кровь по освобожденным артериям устремлялась в ткани конечности, а манжета тонометра препятствовала обратному оттоку крови из конечности по венам. В результате из сосуда выливалось дополнительное количество воды. Через 15 с после снятия жгута конечность из сосуда вынималась и снималась манжета. Дополнительно излившееся количество воды после снятия жгута равнялось количеству притекшей артериальной крови за 15 с при обычном уровне атмосферного давления в данный момент.

Затем на конечность вновь накладывались манжета и жгут. Конечность помещалась в барокамеру и в ней снижалось атмосферное давление. При достижении необходимого уровня снижения давления жгут

снимался, а спустя 15 с накладывался вновь. Конечность вынималась из барокамеры и опускалась в сосуд с тем количеством воды, которое осталось после предшествующего измерения. Вновь излившееся из сосуда количество воды равнялось объему поступившей в конечность артериальной крови за те же 15 секунд, но уже в условиях дозированного снижения барометрического давления в барокамере.

В результате было установлено, что объемная скорость кровотока верхней конечности в ответ на снижение атмосферного давления в барокамере увеличивается на $65 \pm 6,8 \text{ см}^3$, а нижней конечности – на $111 \pm 11,7 \text{ см}^3$. Увеличение объемной скорости кровотока в условиях дозированного снижения атмосферного давления достоверно как для верхней конечности, так и для нижней ($P < 0,001$).

Насыщение тканей кислородом определялось путем регистрации напряжения кислорода (pO_2) в тканях. Исследование проводилось с помощью полярографа ОН-101 и парой электродов, предложенной И. М. Эпштейном (1966): катод – амальгамированная медь с диаметром 0,3-0,5 мм; анод – углеродистая сталь, превышающая катод по площади в 50-60 раз. Такая пара электродов позволяет обойтись без источников дополнительного электропитания, так как разность потенциалов, необходимая для реакции восстановления кислорода на катоде, создается за счёт электрохимических свойств амальгамированной меди и стали.

Катод вводился внутривенно на глубину 1-1,5 мм. Анод укреплялся на коже на расстоянии 5-6 см от катода.

Использованная методика позволяет регистрировать поток диффундирующего кислорода в тканевой жидкости на участке между капилляром и клеткой. Динамика диффундирующего кислорода записывалась в виде полярограммы. Во всех исследованиях регистрировалась качественная сторона наступающих изменений. Об увеличении насыщения тканей кислородом свидетельствовал подъём полярограммы относительно исходного уровня, а при отсутствии динамики она оставалась в виде прямой линии на исходном уровне.

Чтобы изучить влияние артериальной гиперемии тканей конечности на их насыщение кислородом сначала полярограмма записывалась при обычном атмосферном давлении (исходная полярограмма). Затем конечность с электродами помещалась в барокамеру, где атмосферное давление дозированно снижалось для получения артериальной гиперемии и удерживалось на достигнутом уровне. После стабилизации давления в барокамере записывалась полярограмма.

Во всех исследованиях как при обычном атмосферном давлении, так и при дозированном его снижении (артериальная гиперемия), полярограммы были в виде прямых линий без подъема от исходного уровня.

Полученные данные свидетельствуют о том, что возникающая в барокамере артериальная гиперемия не повышает насыщения тканей кислородом. И это не противоречит законам физиологии дыхания тканей, так как диффузия физически растворённого кислорода из плазмы крови в тканевую жидкость происходит в силу разности парциальных давлений кислорода по обе стороны стенки капилляров. В условиях артериальной гиперемии парциальное давление кислорода в притекающей крови, как и в исследуемых тканях, остаётся неизменным, то есть имеет равновесие, поэтому и нет усиления потока кислорода из крови в ткани.

Чтобы изучить влияние артериальной гиперемии на интенсивность насыщения тканей кислородом во время его ингаляции, применена «кислородная проба» [6]. Она заключается во вдыхании кислорода в течение 100 секунд с потоком 3-4 литра в минуту с одновременной записью полярограммы. Исследование проводилось на добровольцах без признаков физического утомления.

Первоначально записывалась полярограмма без ингаляции кислорода, которая являлась исходным уровнем. После этого выполнялась «кислородная проба» и запись полярограммы при нормальном атмосферном давлении, то есть при обычном кровоснабжении. Затем проба и запись полярограммы осуществлялись во время артериальной гиперемии в барокамере. Полученные полярограммы сравнивались.

При выполнении «кислородной пробы» как в условиях обычного кровоснабжения, так и во время артериальной гиперемии имелся подъём линии полярограмм относительно исходного уровня. Однако высота подъёма была одинаковой как при ингаляции кислорода без артериальной гиперемии, так и во время артериальной гиперемии в барокамере. Все полярограммы были идентичны друг другу.

Подъём полярограмм объясняется тем, что во время «кислородной пробы» парциальное давление кислорода в крови становится выше, чем в тканях, и его поток в ткани увеличивается. Но интенсивность потока не изменяется под влиянием артериальной гиперемии. Причина в том, что парциальное давление кислорода в притекающей крови остаётся одинаковым как при выполнении кислородной пробы в условиях обычного кровоснабжения, так и во время артериальной гиперемии.

Следовательно, исследование с «кислородной пробой» показало, что ингаляция кислорода увеличивает насыщение тканей кислородом, но возникающая в барокамере артериальная гиперемия не повышает поток кислорода в ткани.

Отметим, что эти исследования проведены при отсутствии признаков физического утомления, то есть отсутствовала повышенная потребность тканей в кислороде.

Интенсивность насыщения тканей кислородом при повышенной его потребности тканями верхней конечности изучалась путём записи полярограмм во время мышечной работы (сжатие кисти в кулак 50-55 раз в минуту).

Первоначально записывалась полярограмма в покое, как исходный уровень, а затем во время мышечной работы при нормальном атмосферном давлении, то есть при обычном кровоснабжении и во время артериальной гиперемии в барокамере.

Во всех исследованиях с мышечной работой как вне барокамеры, так и в барокамере зафиксирован подъём кривой полярограммы относительно исходного уровня, но при выполнении работы в барокамере подъём кривой полярограммы был выше, чем вне барокамеры. Мышечная работа приводит к увеличению интенсивности окислительно-

восстановительных процессов и к большей потребности тканей в кислороде. В результате в них снижается парциальное давление кислорода, что сопровождается увеличением потока кислорода в ткани из крови. Это и было зарегистрировано при записи полярограммы во время мышечной работы. Но на фоне артериальной гиперемии, вызванной снижением давления в барокамере, уровень подъёма кривой полярограммы был выше, что свидетельствует о лучшем удовлетворении повышенной потребности тканей в кислороде во время артериальной гиперемии в барокамере, так как диффузия его в ткани происходит при увеличенном притоке артериальной крови и большем количестве функционирующих капилляров.

Такое же исследование было проведено с одновременной ингаляцией кислорода при положении конечности как вне барокамеры, так и в ней.

Было установлено, что при мышечной работе вне барокамеры, но с ингаляцией кислорода, кривая полярограммы поднималась выше, чем без ингаляции кислорода.

При мышечной работе и ингаляции кислорода, но во время артериальной гиперемии, кривая полярограммы поднималась выше, чем при мышечной работе и ингаляции кислорода вне барокамеры, то есть при обычном кровоснабжении. Что свидетельствует о лучшем удовлетворении потребности тканей в кислороде в условиях артериальной гиперемии, вызванной дозированным снижением атмосферного давления в барокамере.

Выводы.

1. При дозированном снижении атмосферного давления вокруг конечности в ней возникает артериальная гиперемия с увеличением объёмной скорости кровотока: в верхней конечности на $65 \pm 6,8$ см³, в нижней – на $111 \pm 11,7$ см³.

2. Возникающая артериальная гиперемия тканей конечности не увеличивает их насыщения кислородом, если нет его повышенной потребности тканями.

3. Повышенная потребности тканей в кислороде во время артериальной гиперемии удовлетворяется лучше, чем без нее.

4. Насыщение тканей конечности кислородом при его ингаляции с одновременной

артериальной гиперемией удовлетворяется лучше, чем без артериальной гиперемии.

5. Артериальная гиперемия, возникающая при дозированном снижении атмосферного давления вокруг конечности в барокамере, и одновременная ингаляция кислорода могут быть использованы для увеличения интенсивности окислительно-восстановительных процессов в мышцах после тренировочных и соревновательных нагрузок.

Список литературы

1. Горкин, М. Я. К вопросу о характере восстановительного периода после занятий физическими упражнениями / М. Я. Горкин, Л. Я. Евгеньева, Т. Г. Кальмуцкая // Вопросы физиологии. – Киев, 1954. – 147 с.

2. Граевская, Н. Д. Влияние спорта на сердечно-сосудистую систему / Н. Д. Граевская, Л. А. Иоффе // Теория и практика физической культуры. – 1973. – № 4. – С. 32-35.

3. Краковский, Н. И. Баротерапия в комплексном лечении облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей / Н. И. Краковский, В. Я. Золотаревский // Экспериментальная хирургия и анестезиология. – 1963. – №4. – С. 33-36.

4. Краповский, М. И. Импульсная баротерапия в комплексном лечении облитерирующих заболеваний нижних конечностей / М. И. Краповский // Экспериментальная хи-

рургия и анестезиология. – 1968. – № 5. – С. 33-36.

5. Пат. № 2409340 Российская федерация, МПК: А61G10.02. Гипобарический оксигенный комплекс для воздействия на конечность человека / Шалдин В. И., Дятлов Д. А., заявитель и патентообладатель Уральский государственный университет физической культуры. – № 2009100822/14(000979); опубл. 20.01.2011. – Бюлл. № 2.

6. Снежко, А. Д. Определение концентрации свободного кислорода в тканях мозга животного в условиях хронического опыта / А. Д. Снежко // Биофизика. – 1956. – № 6. – С 585-592.

7. Шуляк, Л. П. Аппарат для улучшения коллатерального кровообращения при облитерирующем эндартериите / Л. П. Шуляк // Клиническая хирургия. – 1962. – № 10. – С. 76-79.

8. Эпштейн, И. М. Метод электрохимической регистрации кислородного режима в тканях животного / И. М. Эпштейн // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 1969. – № 12. – С. 104-107.

9. Bier, A. Hyperämie als Heilmittel / A. Bier // Bonn, 1906.

10. Little, D. M. Controlled Hypotension in Anesthesia and Surgery. Gharlies c Thomas // Publisher Springfield. – Illinois. U. S. A., 1956.