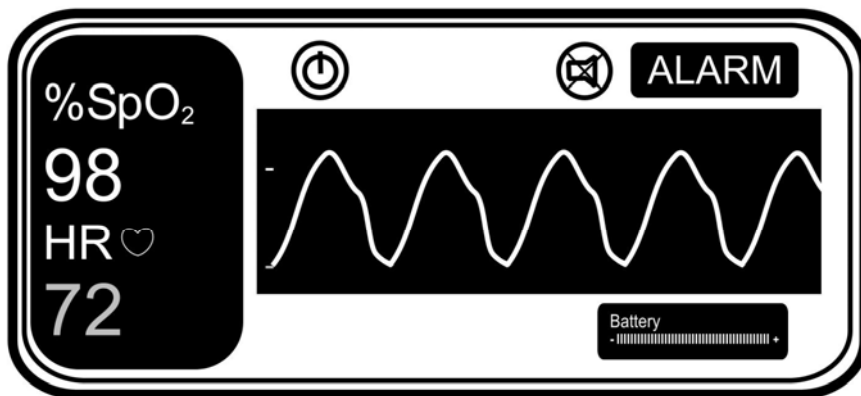




# Руководство ВОЗ по пульсоксиметрии



Все права защищены. Публикации Всемирной Организации Здравоохранения можно получить в WHO Press, World Health Organization, 20 Avenue Appia, 1211 Geneva 27, Switzerland (тел.: +41 22 791 3264; факс: +41 22 791 4857; e-mail: [bookorders@who.int](mailto:bookorders@who.int)). Запросы для разрешения копирования или перевода публикаций ВОЗ – для продажи или некоммерческого распространения – должны быть отправлены в WHO Press, по адресу, указанному выше (факс: +41 22 791 4806; e-mail: [permissions@who.int](mailto:permissions@who.int)).

Обозначения, используемые в настоящей публикации, и приводимые в ней материалы, не отражают какого бы то ни было мнения Всемирной Организации Здравоохранения относительно правового статуса той или иной страны, территории, города или района или их органов власти или относительно делимитации их границ. Пунктирные линии на географических картах обозначают приблизительные границы, относительно которых пока что еще может не быть полного согласия.

Упоминание тех или иных компаний и продуктов отдельных изготовителей не означает, что Всемирная Организация Здравоохранения поддерживает или рекомендует их, отдавая им предпочтение по сравнению с другими компаниями или продуктами аналогичного характера, не упомянутыми в тексте. За исключением случаев, когда имеют место ошибки и пропуски, названия патентованных продуктов выделяются начальными прописными буквами.

Всемирная Организация Здравоохранения приняла все разумные меры предосторожности для проверки информации, содержащейся в настоящей публикации. Тем не менее, опубликованные материалы распространяются без какой-либо чётко выраженной или подразумеваемой гарантии. Ответственность за интерпретацию и использование материалов ложится на читателей.  
**Всемирная Организация Здравоохранения ни в коем случае не несёт ответственности за ущерб, связанный использованием этих материалов.**

<b>ОГЛАВЛЕНИЕ</b>	<b>Страница</b>
<b>Руководство ВОЗ по пульсоксиметрии</b>	<b>4</b>
<b>Словарь терминов</b>	<b>6</b>
<b>Понимание физиологии транспорта кислорода</b>	<b>7</b>
○ Проверка знаний по пульсоксиметрии 1	
○ Кислород	
○ Доставка кислорода к тканям	
○ Сколько кислорода переносит кровь?	
○ Что такое кислородная сатурация?	
<b>Знакомство с пульсоксиметром</b>	<b>9</b>
○ Проверка знаний по пульсоксиметрии 2	
○ Что измеряет пульсоксиметр?	
○ Монитор пульсоксиметра	
○ Датчик пульсоксиметра	
○ Практическое применение пульсоксиметра	
○ О чем говорят сигналы тревоги?	
○ Какие факторы могут повлиять на показания оксиметра?	
○ Что не измеряется пульсоксиметром?	
<b>Понимание как возникает кислородная десатурация</b>	<b>13</b>
○ Проверка знаний по пульсоксиметрии 3	
○ Причины гипоксии во время анестезии	
○ Что следует предпринять, если сатурация падает	
○ Тактика лечения SpO2 ниже 94%	
○ План действий при SpO2 94% и ниже	
<b>Разбор клинических случаев</b>	<b>22</b>
○ Случаи для обсуждения	
○ Проверка знаний 4	
○ Проверка знаний 5	
<b>Приложение</b>	
<b>Дополнительная литература и кривая диссоциации оксигемоглобина</b>	<b>25</b>

## Руководство ВОЗ по пульсоксиметрии

Добро пожаловать в учебное руководство по пульсоксиметрии Всемирной Организации Здравоохранения. ВОЗ недавно разработала «Протокол ВОЗ о безопасности хирургического вмешательства» как часть программы «Безопасная Хирургия Спасает Жизни». Меры по совершенствованию безопасности анестезии являются неотъемлемой частью этой программы. Во многих странах пульсоксиметрия - стандарт мониторинга пациентов в ходе анестезии.

Хотя пульсоксиметрия – простая и надежная методика, с помощью которой можно обнаружить низкий уровень кислорода в крови, она становится эффективной, только когда анестезиолог понимает принцип работы оксиметра и как действовать при возникновении гипоксии. Данное руководство описывает простой порядок действий в такой ситуации и объясняет, как работают оксиметры и как их использовать.

Руководство содержит необходимую информацию для всех анестезиологов, которые не имеют опыта работы с пульсоксиметром, и будет полезно для всех членов операционной бригады.

Содержание данного руководства может изучаться самостоятельно или быть использовано для преподавания. CD-ROM, поставляющийся с оксиметром, содержит дополнительные обучающие материалы о пульсоксиметрии, руководство в формате PDF, а также информацию о «Протоколе ВОЗ о безопасности хирургического вмешательства». На обучающие материалы не наложено авторское право, они могут свободно копироваться и распространяться.

## **РУКОВОДИТЕЛИ ПРОЕКТА**

### **William Berry, MD, MPH**

Harvard School of Public Health, Boston, USA

### **Gonzalo Barreiro MD**

Sanatorio Americano, Montevideo, Uruguay

### **Gerald Dziekan MD, MSc**

World Health Organization, Geneva, Switzerland

### **Angela Enright MB, FRCPC (Editor)**

Royal Jubilee Hospital, Victoria, Canada

### **Peter Evans**

Special Advisor

### **Luke Funk MD, MPH**

Harvard School of Public Health, Boston, USA

### **Atul Gawande MD MPH**

Harvard School of Public Health, Boston, USA

### **Iain H. Wilson MB ChB, FRCA**

Royal Devon and Exeter NHS Foundation Trust, Exeter, UK

### **Robert J McDougall MBBS, FANZCA, GradCetHlthProfEd**

Royal Children's Hospital, Parkville, Victoria, Australia

### **Alan Merry ONZM, FANZCA, FFPMANZCA, FRCA, Hon FFFLM**

University of Auckland, New Zealand

### **Florian Nuevo MD, DPBA, FPBCA**

University of Santo Tomas, Manila, Philippines

### **Rafael Ortega MD**

Boston University Medical Center, Boston, USA

### **Michael Scott MB ChB, FRCP, FRCA**

Royal Surrey County Hospital, Guildford, UK

### **Stephen Ttendo MB ChB, MMed (Anaesth)**

Mbarara University of Science and Technology, Mbarara, Uganda

### **Isabeau Walker BSc MB BChir FRCA (Editor)**

Great Ormond Street Hospital NHS Trust, London, UK

### **David Wilkinson PGDip(AP)**

Royal Devon and Exeter NHS Foundation Trust, Exeter, UK

The editors would also like to acknowledge the assistance of Drs. Regina Aleeva (Russia), Yoo Kuen Chan (Malaysia), Sarah Hodges (Uganda), Vjacheslav Istomin (Russia), Fawaz Kateb (Syria), Mikhail Kirov (Russia), Sergey Komarov (Russia), Konstantin Lebedinskiy (Russia), Jin Liu (China), Christine Manning (Canada), Isabelle Murat (France), Haydn Perndt (Australia), Dmitry Shestakov (Russia), Alexey Smetkin (Russia), Olaitan Soyannwo (Nigeria), Marina Venchikova (Russia), Lize Xiong (China) and Buwei Yu (China).

## Словарь терминов

Анафилаксия	Тяжелая, опасная для жизни аллергическая реакция на лекарства или другие вещества, к примеру, на латекс хирургических перчаток
Аритмия	Нарушение ритма сердца
Ателектаз	Частичное или тотальное спадение лёгкого или его сегмента, которые до этого были расправлены
Брадикардия	Частота сердечных сокращений, слишком низкая для пациента. Взрослые - ниже 60 ударов в минуту; дети - в зависимости от возраста (см. страницу 9 данного руководства)
Капнограф	Прибор, определяющий содержание углекислого газа в выдыхаемом воздухе
Цианоз	Синюшная окраска кожи, языка и слизистых, в результате низкого уровня насыщенного кислородом гемоглобина кровеносных сосудах у поверхности кожи.
Деоксигенированный гемоглобин	Гемоглобин, не связанный с кислородом
Гипотензия	Низкое кровяное давление
Гипотермия	Низкая температура тела (ниже 36°C)
Гиповентиляция	Дыхание с недостаточной частотой и/или глубиной
Гиповолемия	Снижение объема циркулирующей крови
Гипоксия	Патологически низкий уровень содержания кислорода в организме
Микропроцессор	Мини-компьютер, рассчитывающий данные о частоте пульса и сатурации гемоглобина из сигналов, поступающих с датчика
Эзофагеальная интубация	Ситуация, когда эндотрахеальная трубка ошибочно вводится в пищевод
Оксиметр / Оксиметрия Пульсоксиметр / Пульсоксиметрия	Прибор, выявляющий пульсирующий сигнал на конечности, например на пальце руки или ноги и вычисляющий содержание оксигенированного гемоглобина и частоту пульса.
Пневмоторакс	Спадение лёгкого, вызванное утечкой воздуха, обычно вследствие травмы. Воздух выходит в пространство, окружающее лёгкое (плевральную полость) и препятствует его расправлению (см. также Напряженный пневмоторакс)
Пирексия	Повышение температуры тела выше 37°C
Напряженный пневмоторакс	При напряженном пневмотораксе давление в плевральной полости очень высокое, у пациента развивается тяжелая дыхательная недостаточность, а смещение сердца может привести к его остановке
Вазопрессоры	Препараты, такие как адреналин, эфедрин или фенилэфрин, которые повышают артериальное давление путём сокращения сосудов или повышения сердечного выброса

## ПОНИМАНИЕ ФИЗИОЛОГИИ ТРАНСПОРТА КИСЛОРОДА

### ПРОВЕРКА ЗНАНИЙ ПО ПУЛЬСОКСИМЕТРИИ 1

Перед прочтением руководства мы бы хотели, чтобы вы проверили свои знания о пульсоксиметрии. Правильные ответы находятся в следующем разделе.

1. Как происходит доставка кислорода из атмосферы к тканям?
2. Какова нормальная сатурация артериальной крови кислородом?
3. Что такое преоксигенация?
4. Во время операции по вправлению грыжи под общей анестезией сатурация у пациента составляет 82%. Много это или мало? Нужно ли что-нибудь предпринять?

---

### Кислород

Кислород для людей жизненно необходим. Всем органам в процессе жизнедеятельности требуется кислород, но мозг и сердце особенно чувствительны к его недостатку. Нехватка кислорода в организме называется **гипоксией**. Значительный дефицит кислорода в течение нескольких минут смертелен.

Во время анестезии может произойти обструкция дыхательных путей пациента, развиваться угнетение дыхания, нарушение кровообращения из-за кровопотери или аритмии; могут возникнуть проблемы в работе анестезиологического оборудования, такие как внезапное отсоединение или обструкция дыхательного контура. Эти факторы могут вызвать снижение доставки кислорода к тканям, что, будучи несвоевременно устранено, может привести к осложнениям или смерти. Чем раньше анестезиолог определит проблему, тем скорее он сможет ее исправить, чтобы не нанести вреда пациенту.

### Доставка кислорода к тканям

Кислород переносится кровью в связи с железосодержащим белком гемоглобином (Hb), находящимся в эритроцитах. Попав в легкие во время вдоха, кислород связывается с гемоглобином в эритроцитах, проходящих по легочным капиллярам. Сердце непрерывно перекачивает кровь по всему телу, чтобы доставить кислород к тканям.

Есть пять важных моментов, которые должны произойти для доставки к тканям достаточного количества кислорода:

- Кислород во время вдоха должен попасть из воздуха или дыхательного контура в легкие.
- Кислород должен попасть из альвеол в кровь. Этот процесс называется альвеолярным газообменом
- В крови должно содержаться достаточно гемоглобина, чтобы переносить необходимое количество кислорода к тканям.
- Сердце должно быть способно перекачивать достаточно крови для удовлетворения потребности пациента в кислороде.
- Объем циркулирующей крови должен быть адекватным для распределения насыщенной кислородом крови ко всем тканям.

### Сколько кислорода переносит кровь?

У здорового человека:

- Один грамм гемоглобина связывается с 1,34 мл кислорода. Таким образом, в крови с нормальным содержанием гемоглобина 150 г/л, 100 мл крови содержит примерно 200 мл, связанного с гемоглобином кислорода. Кроме того, небольшое количество кислорода растворено в крови.

- В норме у взрослого сердце выбрасывает около 5000 мл крови за одну минуту. Это обеспечивает доставку к тканям в минуту в среднем 1000 мл кислорода.
- Клетки тканей забирают кислород из крови для метаболизма, в норме примерно 250 мл кислорода в минуту. Это означает, что если в лёгких не происходит газообмен, кислорода, находящегося в крови, хватит приблизительно на 3 минуты (только 75% кислорода, переносимого гемоглобином, доступно тканям).
- Вдыхание 100% кислорода до индукции в анестезию (преоксигенация) повышает кислородные запасы в лёгких. Если пациент перестанет дышать, не находясь на искусственной вентиляции лёгких, количество кислорода в лёгких начнёт быстро уменьшаться. Если пациенту до проведения индукции дали дышать в течение нескольких минут 100% кислородом, возросшее кислородное депо будет поставлять столь необходимый кислород, добавляя минуты, которые могут спасти жизнь больного. Есть множество ситуаций, когда это может играть существенную роль. Так, у беременной, увеличенная в размерах матка снижает объём лёгких, а метаболические потребности возрастают из-за плода. Другой пример - дети младшего возраста, у которых также увеличены энергетические потребности при малых дыхательных объёмах. Они могут очень быстро израсходовать кислород и иногда устойчивы к усилиям их преоксигенировать.
- У пациентов с анемией снижен уровень гемоглобина и их кровь, таким образом, не может перенести достаточно кислорода. При концентрации гемоглобина менее 60 г/л, доставка кислорода к тканям может стать слишком низкой для удовлетворения метаболических потребностей. Пациентам с большой кровопотерей в ходе операции и развившейся острой анемией необходимо давать 100% кислород. Это повысит количество растворенного в крови кислорода и до некоторой степени улучшит его доставку к тканям. Переливание крови в такой ситуации может спасти жизнь.

#### Что такое кислородная сатурация?

Гемоглобин содержится в эритроцитах. Одна молекула гемоглобина может нести до четырёх молекул кислорода, после чего она становится “насыщенной” кислородом. Если все участки связывания в молекуле гемоглобина несут кислород, говорят, что насыщение (сатурация) гемоглобина 100%. Большая часть гемоглобина в крови связывается с кислородом во время его прохождения через лёгкие. Здоровый человек с нормально функционирующими лёгкими при дыхании воздухом на уровне моря будет иметь насыщение артериальной крови кислородом 95% - 100%. Перепады высот будут влиять на эти значения. Венозная кровь, оттекающая от тканей, содержит меньше кислорода и в норме имеет сатурацию около 75%. (Для дополнительной информации см. приложение 1).

Артериальная кровь выглядит ярко-красной, в то время как венозная – тёмно-красной. Разница в цвете связана с разницей в насыщении гемоглобина кислородом. Когда сатурация у больного нормальная, его язык и губы выглядят розовыми; когда сатурация снижена - синими. Это называется цианоз. Клинически, бывает трудно выявить цианоз, особенно у темнокожих пациентов. Вы можете не заметить этот симптом, пока сатурация не опустится ниже 90%. Выявление цианоза становится еще более сложной задачей в условиях тусклого света операционной.

Цианоз становится видимым, только когда концентрация деоксигенированного гемоглобина поднимается выше 50 г/л. У пациента с тяжелой анемией цианоз может не проявляться даже в условиях крайней гипоксии, так как в крови циркулирует очень мало гемоглобина.

При проведении анестезии сатурация всегда должна оставаться в пределах 95 – 100%. Если сатурация составляет 94% или ниже, у пациента гипоксия и необходимо быстро принимать меры. **Сатурация ниже 90% требует неотложной помощи.**

**Запомните: Цианоз сложно выявить, пока сатурация не опустится ниже 90%. Пациент с тяжелой анемией может не выглядеть цианотичным, даже если сатурация очень низкая.**



## ЗНАКОМСТВО С ПУЛЬСОКСИМЕТРОМ

### ПРОВЕРКА ЗНАНИЙ ПО ПУЛЬСОКСИМЕТРИИ 2:

Правильные ответы находятся в следующем разделе.

1. Какие два показателя измеряет пульсоксиметр?
2. Что отображается на экране пульсоксиметра?
3. Датчик оксиметра состоит из двух частей. Из каких?

---

### Что измеряет пульсоксиметр?

Монитор пульсоксиметра отображает ДВЕ цифровых величины:

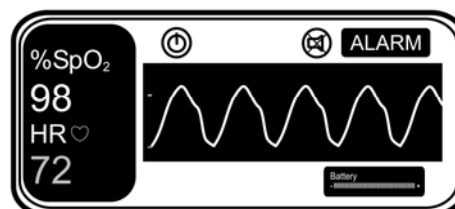
- **Сатурация гемоглобина кислородом артериальной крови.** Значение кислородной сатурации подаётся вместе со звуковым сигналом, изменяющимся по высоте в зависимости от величины сатурации. Понижение тона сигнала означает падение сатурации. Так как оксиметр измеряет сатурацию на периферических участках тела – пальце кисти, стопы, мочке уха, результат записывается как периферическая кислородная сатурация - SpO<sub>2</sub>
- **Частота пульса** в ударах в минуту, рассчитываемая в среднем за 5-20 секунд. Некоторые пульсоксиметры показывают волнообразную кривую пульса или индикатор, отражающий напряженность пульса. Это визуально демонстрирует насколько хорошо кровоснабжаются ткани. При нарушении кровоснабжения интенсивность сигнала падает.

**Запомните:** Пульсоксиметр является системой раннего оповещения. Пульсоксиметр непрерывно измеряет уровень насыщения гемоглобина артериальной крови кислородом. Он может указать на гипоксию гораздо раньше, чем анестезиолог заметит ее клинические признаки, например цианоз. Эта способность к раннему оповещению сделала пульсоксиметр незаменимым для проведения безопасной анестезии.

### ПУЛЬСОКСИМЕТР:

Пульсоксиметр состоит из **монитора**, включающего в себя батареи и экран и **датчика**, воспринимающего пульс.

На этой фотографии пульсоксиметр. Экран показывает, что уровень сатурации SpO<sub>2</sub> 98%, а частота пульса - 72 удара в минуту.



### МОНИТОР ПУЛЬСОКСИМЕТРА

Монитор включает в себя микропроцессор и экран. На экране отображается сатурация, частота и кривая пульса, определенные датчиком. С помощью датчика монитор соединяется с пациентом.

Во время работы монитор постоянно обновляет свои вычисления, чтобы выдавать текущие

показания кислородной сатурации и частоты сердечных сокращений. Индикатор пульса отображается постоянно, давая информацию о состоянии кровообращения. Высота звукового сигнала изменяется в зависимости от уровня сатурации, являясь важным аспектом безопасности. Высота звука падает, когда падает сатурация и поднимается, когда она восстанавливается. Это позволяет сразу услышать изменения уровня сатурации, без необходимости постоянно смотреть на монитор

Монитор требует деликатного обращения, чувствителен к высоким температурам и может быть поврежден пролитой на него жидкостью. Очистка монитора производится осторожным протиранием влажной тканью. Монитор, когда не используется, должен быть подключен к сети электропитания для гарантии, что батарея полностью заряжена.

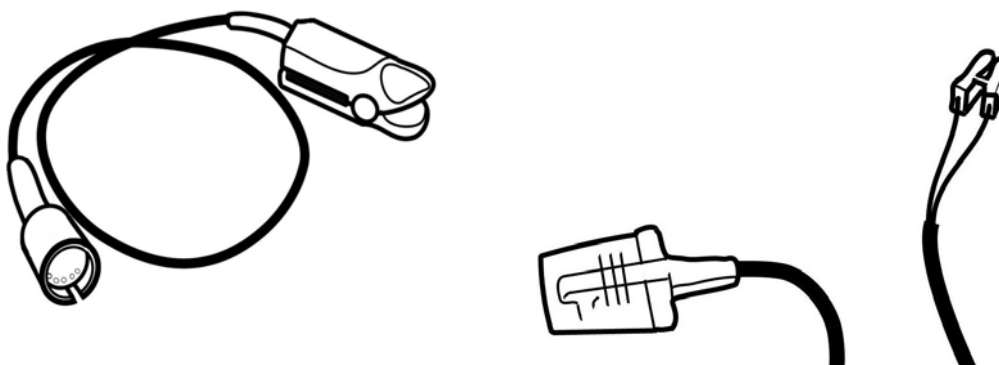
#### **Датчик пульсоксиметра**

Датчик оксиметра состоит из двух частей: светоизлучающих диодов (LEDs) и детектора света (называемого фотодетектором). Световые лучи проходят через ткани от одной части датчика к другой. Кровь и ткани поглощают определенное количество света, излученного датчиком, которое зависит от степени насыщения гемоглобина крови кислородом. Фотодетектор улавливает свет, прошедший через ткани, а микропроцессор рассчитывает уровень сатурации ( $SpO_2$ ).

Для работы пульсоксиметра необходимо, чтобы датчик располагался там, где пульс легко определяется. Светодиоды должны быть обращены к фотодетектору для того, чтобы он регистрировал проходящий сквозь ткани свет. Когда прибор включен, датчик светится красным светом. Если вы видите красный свет, датчик работает правильно.

Датчики разработаны для накладывания на палец кисти, стопы или мочку уха. Как показано на диаграмме, они имеют разную конструкцию. Датчик-прищепка - самый популярный, но легко повреждается. Резиновые датчики наиболее крепкие. Надетый слишком туго, датчик может пережать кровоток в пальце. Датчики, одеваемые на мочку уха, лёгкие по весу и удобны для использования у детей или у пациентов с вазоконстрикцией. Для детей разработаны датчики меньшего размера, но датчик-прищепка для взрослых может использоваться на большом пальце кисти или стопы ребенка. Для пальцевых датчиков изготовитель отмечает правильное положение ногтевого ложа на датчике.

Датчик - самая хрупкая часть пульсоксиметра и легко повреждается. Обращайтесь с датчиком осторожно и никогда не оставляйте там, где он может упасть на пол. Датчик соединяется с оксиметром с помощью коннектора с рядами очень тонких штырьков, которые могут быть легко повреждены – см. диаграмму. Всегда, до того как вставить коннектор в монитор, сначала правильно совместите его с разъемом. Чтобы отсоединить датчик от прибора, никогда не тяните за кабель, вместо этого крепко возьмитесь за коннектор.



*Датчик-прищепка на палец с коннектором, который входит в разъем на оксиметре только в одном положении*

*Резиновый пальцевой датчик и датчик на мочку уха*

Кабель датчика оксиметра, когда не используется, может быть смотан для хранения или транспортировки, но не слишком туго, так как это может повредить провода внутри него. Линзы и детектор сигнала должны оставаться чистыми. Используйте тампон, смоченный в мыльной воде или спирте, чтобы **аккуратно** удалить пыль, грязь или кровь с датчика

**Запомните: Чтобы давать верные показания, датчик должен светиться красным и быть правильно надет для определения пульсации тока крови.**

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПУЛЬСОКСИМЕТРА

- Включите пульсоксиметр: прибор откалибруется и выполнит самотестирование.
- Выберите подходящий датчик, обращая особое внимание на нужный размер и местоположение (обычно палец кисти или стопы, мочка уха). При использовании на пальце, убедитесь, что кожа пальца чистая. Удалите лак с ногтей.
- Подсоедините датчик к пульсоксиметру.
- Аккуратно наденьте датчик; убедитесь, что он надевается легко, не жмёт, но и не сваливается.
- При возможности не используйте для мониторинга артериального давления руку, на которой надет датчик – раздувание манжеты прерывает сигнал пульсоксиметра.
- Подождите несколько секунд, пока пульсоксиметр ищет пульс и рассчитывает кислородную сатурацию.
- Найдите на экране индикатор пульса, который говорит о том, что прибор определяет пульс. При отсутствии пульсового сигнала любые данные малоинформативны.
- Когда прибор получит чёткий пульсовой сигнал, на экране отобразятся частота сердечных сокращений и кислородная сатурация.
- Как и любой прибор, оксиметр может **изредка** выдавать неверные данные. При любых сомнениях, оцените пациента клинически, а не всецело полагайтесь на аппарат.
- Правильную работу датчика оксиметра можно проверить, надев его на свой палец.
- Настройте удобный для работы уровень громкости звукового сигнала пульса, никогда не используйте без звука.
- **Всегда проверяйте, что сигнал тревоги включен.**

Если после надевания датчика сигнала с оксиметра не поступает, проверьте следующее:

- Работает ли датчик и правильно ли он надет? Попробуйте надеть его на другой палец.
- У пациента гипоперфузия?
  - Проверьте наличие низкого сердечного выброса, особенно вследствие гиповолемии, изменений со стороны сердца или септического шока. Если присутствует гипотензия, требуется незамедлительно начать проведение реанимации пациента. Сигнал появится вместе с улучшением состояния больного.
  - Проверьте температуру пациента. Если конечность холодная, бережное растирание пальца или мочки уха может восстановить сигнал.

**Совет: Если вы сомневаетесь в правильной работе датчика, проверьте его, надев на свой палец.**

## О ЧЕМ ГОВОРЯТ СИГНАЛЫ ТРЕВОГИ ПУЛЬСОКСИМЕТРА?

Сигналы тревоги предупреждают анестезиолога о проблемах. Эти сигналы следующие:

- Сигнал о низком уровне сатурации (гипоксии) т.е.  $SpO_2 < 90\%$
- Отсутствует пульс
- Низкая частота сердечных сокращений
- Тахикардия

**Сигнал 'Низкая кислородная сатурация'**. Сатурация у здоровых людей любого возраста должна быть не менее 95%.

**Запомните: Во время анестезии  $SpO_2$  необходимо поддерживать на уровне 95% или более. Если  $SpO_2$  составляет 94% или ниже, необходимо срочно выяснить и устранить причину.**

**$SpO_2 < 90\%$  является критическим состоянием и требует незамедлительной помощи.**

Сигнал '**Не определяется пульс**' обычно звучит, когда датчик свалился с пальца, но раздастся и в тех случаях, когда у пациента гипотензия, гиповолемия или произошла остановка сердца. Быстро проверьте место крепления датчика, затем оцените пациента по алгоритму ABC.

**Сигналы тревоги о частоте пульса** дают знать анестезиологу, что сердце бьётся слишком медленно или слишком быстро. Однако внимательный анестезиолог заметит нарушение сердечного ритма раньше сигнала. В норме у детей наблюдается более высокая частота сердечных сокращений по сравнению с взрослыми, но одинаковый уровень сатурации – см таблицу ниже.

Возраст	Нормы ЧСС	Нормы уровня сатурации ( $SpO_2$ )
Новорожденные - 2 года	100 - 180	Все пациенты должны иметь $SpO_2$ 95% или выше во время анестезии или в палате посленаркозного наблюдения*
2-10 лет	60 - 140	
10 лет - взрослые	50 - 100	

\* Исключение: недоношенным детям, получающим оксигенотерапию в отделении реанимации новорожденных  $SpO_2$  должна поддерживаться на уровне 89-94% во избежание токсического воздействия на сетчатку. Во время хирургического вмешательства кислородная сатурация у недоношенных должна оставаться  $>95\%$ , как у всех остальных пациентов.

Поверхностная анестезия, недостаточное обезболивание, атропин, кетамин, гиповолемия, лихорадка, или аритмия могут вызвать сигнал тревоги о высокой частоте пульса. Сигнал тревоги о низкой частоте пульса может сработать при брадикардии, вызванной стимуляцией блуждающего нерва вследствие, к примеру, тракции брюшной стенки, окулокардиального рефлексом или интубации (особенно у детей), кроме того, во время глубокой анестезии (в частности галотаном) или тяжелой гипоксии. У физически тренированных спортсменов или пациентов, принимающих  $\beta$ -блокаторы, может наблюдаться снижение частоты сердечных сокращений.

## ПОНИМАНИЕ КАК ВОЗНИКАЕТ ДЕСАТУРАЦИЯ КИСЛОРОДА

### КАКИЕ ФАКТОРЫ МОГУТ ПОВЛИЯТЬ НА ПОКАЗАНИЯ ПУЛЬСОКСИМЕТРА?

Некоторые факторы могут вызывать погрешности в правильной работе пульсоксиметра:

- **Свет** – яркий свет (свет в операционной или солнечный свет), направленный прямо на датчик, может влиять на показания. Защищайте датчик от прямых световых лучей.
- **Дрожь** – движение может затруднить определение сигнала датчиком.
- **Наполнение пульса** – оксиметр распознаёт только пульсирующий кровоток. При низком артериальном давлении из-за гиповолемического шока, снижения сердечного выброса или аритмии пульс может быть очень слабым, и оксиметр может не «увидеть» сигнал.
- **Вазоконстрикция** снижает периферический кровоток. Оксиметр может не определить сигнал, если конечности пациента холодные и присутствует сужение периферических сосудов.
- **Отравление угарным газом** может приводить к ошибочно высоким показаниям значения сатурации. Монооксид углерода очень хорошо связывается с гемоглобином, вытесняя кислород, с образованием ярко-красного соединения, называемого карбоксигемоглобин. Это наблюдается у пациентов после вдыхания дыма при пожарах.

**Запомните: Во время анестезии гиповолемия является наиболее распространенной причиной слабого сигнала пульсоксиметра. Также не стоит забывать о гипотермии.**

### ЧТО НЕ ИЗМЕРЯЕТСЯ ПУЛЬСОКСИМЕТРОМ?

Пульсоксиметр не дает прямой информации о частоте дыхания, дыхательном объеме, сердечном выбросе или артериальном давлении. Однако он указывает на них косвенно, и если эти факторы приведут к снижению сатурации, пульсоксиметр это зафиксирует.

**Запомните: В ходе анестезии часто приходится давать кислород. Тем не менее, помните, что он может скрывать наличие гиповентиляции. Необходима клиническая настороженность в плане адекватности вентиляции, в особенности при отсутствии капнографа.**

Пульсоксиметры можно использовать у пациентов с анемией. У больных с очень тяжелой анемией кислородная сатурация остаётся в пределах нормы (95%-100%) до того момента, когда гемоглобина становится недостаточно, чтобы переносить нужное количество кислорода к тканям. При тяжелой анемии во время анестезии необходимо давать пациенту 100% кислород, чтобы по возможности улучшить доставку кислорода к тканям путем увеличения количества растворённого кислорода в крови.

### ПРОВЕРКА ЗНАНИЙ ПО ПУЛЬСОКСИМЕТРИИ 3

Причины гипоксии во время анестезии могут быть объяснены проблемами с дыхательными путями (**Airway**), дыханием (**Breathing**), кровообращением (**Circulation**), введением препаратов (**Drugs**) или оборудованием (**Equipment**). Если проводить проверку состояния пациента в таком порядке, большинство причин гипоксии можно установить и устранить.

Просмотрев заголовки внизу, подумайте, какие причины в каждом случае могут вызвать гипоксию во время анестезии. Сравните свои ответы с данными таблицы на следующей странице.

#### Дыхательные пути

##### Дыхание

##### Кровообращение

##### Препараты

##### Оборудование

Что чаще всего, по вашему мнению, является причиной гипоксии в операционной или в палате посленаркозного наблюдения?

**Причины гипоксии ВО ВРЕМЯ АНЕСТЕЗИИ:**

Причины гипоксии во время проведения анестезии приведены ниже в таблице. **Нарушение проходимости дыхательных путей – наиболее частая причина гипоксии.**

**Причины гипоксии в операционной – ‘ABCDE’**

Источник	Распространённые проблемы
<b>А. Дыхательные пути</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Нарушение проходимости дыхательных путей препятствует поступлению кислорода в лёгкие</li> <li>• Неверное положение интубационной трубки, например в пищеводе</li> <li>• Аспирация рвотных масс создаёт препятствие в дыхательных путях</li> </ul>
<b>В. Дыхание</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Неадекватное дыхание не позволяет достичь альвеол достаточному количеству кислорода.</li> <li>• Тяжелый бронхоспазм может не давать кислороду попасть в лёгкие, а углекислому газу выйти наружу.</li> <li>• Пневмоторакс может вызвать ателектаз пораженного лёгкого</li> <li>• Высокий спинальный блок может вызвать нарушения дыхания</li> </ul>
<b>С. КРОВООБРАЩЕНИЕ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Недостаточность кровообращения препятствует транспорту кислорода к тканям.</li> <li>• Наиболее частые причины включают гиповолемию, аритмии и сердечную недостаточность</li> </ul>
<b>Д. ПРЕПАРАТЫ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Глубокая анестезия может угнетать дыхание и кровообращение</li> <li>• Многие анестетики вызывают падение артериального давления</li> <li>• Миорелаксанты парализуют дыхательную мускулатуру</li> <li>• Анафилаксия может вызвать бронхоспазм и снижение сердечного выброса</li> </ul>
<b>Е. Оборудование</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Проблемы с анестезиологическим оборудованием включают разгерметизацию и окклюзию дыхательного контура</li> <li>• Проблемы с подачей кислорода могут быть обусловлены тем, что закончился кислород (пустой кислородный баллон), и плохо работающим концентратором кислорода</li> <li>• Проблемы с оборудованием для мониторинга включают разряженные батареи и неисправные датчики</li> </ul>

**Запомните:** При возникновении гипоксии, в первую очередь, необходимо определиться где проблема: в пациенте или в оборудовании. После быстрой проверки наиболее вероятных проблем с пациентом, убедитесь, что оборудование работает должным образом. Всегда имейте под рукой мешок Амбу, который может быть использован в случае неполадок дыхательного контура.

## Что следует предпринять, если сатурация падает?

Во время анестезии снижение сатурации необходимо корректировать незамедлительно. Гипоксия у пациента может развиваться в любой момент в ходе индукции, поддержания или выведения из анестезии. Правильной последовательностью действий будет дать 100% кислород, убедиться в адекватности вентиляции, перейдя на вентиляцию ручную, а затем устранить фактор, вызывающий гипоксию. К примеру, если у пациента обструкция дыхательных путей, и он не может вдохнуть кислород в лёгкие, ситуацию разрешит только восстановление проходимости дыхательных путей.

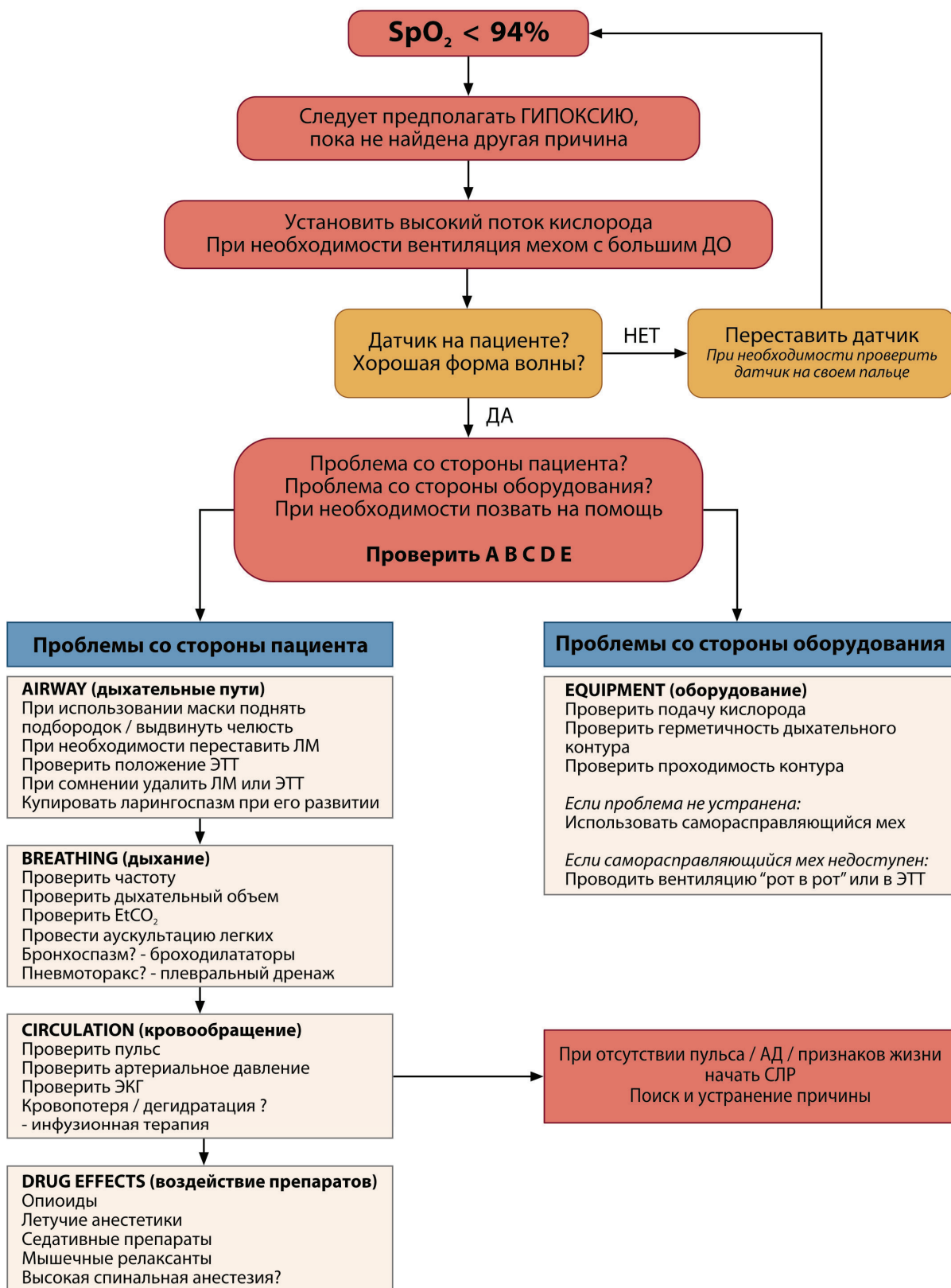
**Во всех случаях, когда у пациента низкий уровень сатурации, увеличьте фракцию вдыхаемого кислорода и действуйте по 'ABCDE':**

- **A** – дыхательные пути проходимы?
- **B** - дыхание присутствует?
- **C** - кровообращение в норме?
- **D** - препараты не являются причиной проблемы?
- **E** - оборудование работает правильно?

Необходимо быстро реагировать на возникновение гипоксии: увеличить подачу кислорода, убедиться в адекватности вентиляции ручную, позвать на помощь и приступить к выполнению последовательности 'ABCDE'. Устраняйте проблемы из каждой буквы алгоритма по мере их нахождения. После того как пройдете по списку в первый раз, возвратитесь в начало и проверьте еще раз, чтобы полностью убедиться, что состояние пациента улучшилось. Внизу приведена пошаговая схема, составленная ВОЗ, чтобы помочь вам запомнить, на что обращать внимание. В экстренной ситуации может не быть времени на просмотр протокола. Вы должны попросить коллегу читать его вслух, чтобы убедиться, что ничего не забыли.

**Запомните: Если SpO<sub>2</sub> <94%, дайте 100% кислород, вентилируйте вручную, действуйте по ABCDE**

## ТАКТИКА ЛЕЧЕНИЯ SpO<sub>2</sub> < 94%





## План действий при кислородной сатурации 94% или ниже

Если сатурация 94% или ниже, необходимо назначить 100% кислород, вентилировать вручную, решить, связана ли причина с пациентом или с неполадками в оборудовании, далее действовать по плану 'ABCDE', оценивая каждый фактор и устраняя проблемы по мере продвижения.

### Кислород

Назначьте высокий поток кислорода, если  $SpO_2 < 94\%$

### А – Проходимы ли дыхательные пути?

- Дыхание пациента спокойное, без признаков обструкции?
- Есть ли симптомы ларингоспазма? (умеренно выраженный ларингоспазм – звучный шумный вдох; тяжелый ларингоспазм – вдох тихий, воздух не проходит между голосовыми связками)
- Есть ли в дыхательных путях рвотные массы или кровь?
- Интубационная трубка поставлена правильно?

### Действия

- Убедитесь в отсутствии обструкции.
  - При дыхании через лицевую маску – поднимите подбородок, выдвиньте вперед нижнюю челюсть
    - Рассмотрите необходимость применения орофарингеального или назофарингеального воздуховода.
    - Проверьте наличие ларингоспазма и при необходимости начните лечение
  - Проверьте состояние интубационной трубки/ларингеальной маски – при любых сомнениях в правильности положения, извлеките ее и используйте лицевую маску.
- Санируйте дыхательные пути для удаления мокроты.
- Рассмотрите возможность разбудить пациента, если трудности с поддержанием проходимости дыхательных путей возникли сразу после индукции в анестезию.
- Рассмотрите необходимость интубации.
- Если невозможно ни интубировать, ни вентилировать, необходимо немедленно приступить к хирургическим мероприятиям по поддержанию проходимости дыхательных путей.

Обструкция дыхательных путей – клинический синдром, являющийся наиболее частой причиной гипоксии в условиях операционной и требующий быстрых действий. Нераспознанная интубация пищевода – основная причина анестезиологических осложнений и смертности. У интубированного пациента на фоне исходно хорошего уровня сатурации, гипоксия может развиваться при смещении и перегибе интубационной трубки или закупорке ее отверстия. Проверьте интубационную трубку и - **'Есть сомнения - вынимайте'**

### В – Адекватно ли дыхание пациента?

Смотрите, слушайте и чувствуйте:

- Адекватны ли экскурсии грудной клетки и дыхательный объем?
- При аускультации, воздух поступает в оба лёгких? Выслушивается везикулярное дыхание? Присутствуют хрипы или другие побочные дыхательные шумы?
- Экскурсия обеих половин грудной клетки симметрична?
- Анестезия не вызывает угнетения дыхания?
- Нарушение дыхания не вызвано высоким спинальным блоком?

Бронхоспазм, уплотнение легочной паренхимы, спадение, отёк лёгкого или пневмоторакс препятствуют попаданию кислорода в альвеолы для соединения с гемоглобином. Опиоиды, остаточное действие миорелаксантов или глубокая ингаляционная анестезия могут угнетать дыхание. Высокий спинальный блок может вызвать паралич дыхательных мышц. У детей раздувание желудка при вентилиции через лицевую маску может ограничить движения диафрагмы, мешая дыханию. Лечение должно быть направлено на решение конкретной проблемы.

## Действия

- Вспомогательная вентиляция адекватным дыхательным объемом для расправления обоих лёгких, пока проблема не диагностирована и не устранена.
- При наличии времени, рассмотрите необходимость рентгенографии грудной клетки.

Если дыхание неадекватно, пациента необходимо вентилировать через лицевую маску, ларингеальную маску или интубационную трубку. Это быстро устранит гиповентиляцию, вызванную препаратами или высоким блоком и вызовет расправление спавшегося лёгкого. Необходимо санировать нижние дыхательные пути с помощью трахеального катетера, а также установить назогастральный зонд для уменьшения растяжения желудка.

Пневмоторакс может развиваться после травмы, катетеризации центральной вены или при выполнении блокады плечевого сплетения из надключичного доступа. Его можно заподозрить по резкому ослаблению дыхания на пораженной стороне, перкуторно определяется тимпанит. Показана рентгенография грудной клетки. Для прекращения нарастания пневмоторакса необходимо дренировать плевральную полость. При наличии сопутствующей гипотензии (напряженный пневмоторакс), необходимо проведение экстренной декомпрессии грудной клетки введением иглы во втором межреберье по среднеключичной линии, не дожидаясь результатов рентгенографии. Дренажная трубка в этом случае устанавливается позднее. Всегда помните об этом осложнении в случае травм.

## С – Кровообращение в норме?

- Нащупайте пульс и ищите признаки жизни, включая наличие кровотечения из хирургической раны.
- Измерьте АД
- Оцените периферическую перфузию и скорость наполнения капилляров
- Проверьте объем кровопотери по количеству крови в ёмкости отсоса и числу хирургических тампонов.
- Анестезия не слишком глубокая? Нет высокого спинального блока?
- Венозный возврат не нарушен вследствие пережатия нижней полой вены (увеличенной маткой при беременности или при хирургическом вмешательстве)?
- Нет септического или кардиогенного шока?

Неадекватность кровообращения может быть выявлена с помощью пульсоксиметра при исчезновении или уменьшении амплитуды пульсовой волны или возникновении трудностей обнаружения пульсового сигнала.

## Действия

- Если артериальное давление низкое, скорректируйте его.
- Проверьте наличие гиповолемии.
- Начните инфузионную терапию (0,9% раствор NaCl) или гемотрансфузию по показаниям
- Рассмотрите возможность придания пациенту позиции с опущенной головой или поднятыми ногами, а у беременных – с наклоном стола на левый бок.
- Рассмотрите возможность введения вазоконстрикторов (эфедрин или мезатон)
- Если у пациента остановка сердца, начните сердечно-лёгочную реанимацию и рассмотрите вероятность обратимых причин (4-Г, 4-Т: Гипотензия, Гиповолемия, Гипоксия, Гипотермия  
Напряженный пневмоторакс, Тампонада сердца, Токсические эффекты (глубокая анестезия, сепсис, действие препаратов), Тромбоэмболия (эмболия легочной артерии).

## D – Действие препаратов

Убедитесь, что все препараты для анестезии вводятся правильно.

- Высокая доза галотана (или другого ингаляционного анестетика) вызывает угнетение сердечной деятельности.
- Миорелаксанты угнетают спонтанное дыхание и требуют проведения реверсии блока в конце оперативного вмешательства.
- Опиоиды и другие седативные средства могут угнетать дыхание.

- Анафилаксия вызывает сердечно - сосудистую недостаточность, часто с развитием бронхоспазма и гиперемией кожных покровов (сыпь). Это может произойти, если пациент получает лекарственные препараты, препараты крови или растворы для инфузии, на которые у него аллергия. У некоторых пациентов есть аллергия на латекс.

#### **Действия**

- Будьте готовы к неблагоприятным эффектам препаратов и назначайте соответствующее лечение.
- При развитии анафилаксии прекратите введение препарата, дайте 100% кислород, начните инфузию 0,9% раствора NaCl струйно из расчета 10 мл/кг, введите адреналин и рассмотрите необходимость назначения стероидов, бронходилататоров и антигистаминных средств.

#### **Е – Оборудование работает правильно?**

- Нет проблем с системой подачи кислорода пациенту?
- Оксиметр показывает адекватный пульсовой сигнал?

#### **Действия**

- Проверьте наличие обтурации или дисконнекции дыхательного контура или интубационной трубки.
- Убедитесь, что кислородный баллон не пуст
- Проверьте правильность работы кислородного концентратора.
- Убедитесь, что работает централизованная подача кислорода в больнице
- Смените положение датчика пульсоксиметра; проверьте правильность его работы, надев на свой палец.

При подозрении на неполадки в анестезиологическом оборудовании, **используйте самораздувающийся мешок, вентилируя пациента воздухом**, пока происходит замена аппаратуры или восстановление подачи кислорода. При отсутствии мешка, вдыхание ртом воздуха в интубационную трубку или дыхание «рот в рот» может спасти жизнь больного.

#### **Проверка знаний 4. Пульсоксиметр – практические навыки**

##### **Продемонстрируйте преподавателю или коллегам:**

1. Как заряжать батарею пульсоксиметра и хранить принадлежности в готовности к использованию.
2. Как выбрать наиболее подходящий для пациента датчик.
3. Как правильно надеть датчик на пациента.
4. Индикатор заряда батареи – что означают его показания?
5. Включите монитор и опишите порядок самотестирования.
6. Возможности главного экрана.
7. Характеристики пульсовой волны и индикатора пульса.
8. Как настроить границы тревог.
9. Как настроить громкость пульсового сигнала.
10. Как включить и выключить подсветку.

##### **Ответьте на два вопроса:**

11. Какие условия могут привести к недостоверным показаниям?
12. Как выбрать место крепления датчика?

## Проверка знаний 5. Знания о пульсоксиметрии

Ответьте на вопросы о методе пульсоксиметрии – правильные ответы находятся внизу страницы. Правильными могут быть несколько ответов.

1. Пульсоксиметр измеряет:

- a. Уровень гемоглобина в крови
- b. Количество кислорода, содержащегося в крови
- c. Процент гемоглобина, насыщенного кислородом
- d. Частоту пульса
- e. Сердечный выброс

2. Есть ли среди следующих утверждений о датчиках пульсоксиметра правда?

- a. Датчики для мочки уха склонны к завышению показаний по сравнению с пальцевыми датчиками
- b. Датчики - дорогостоящие
- c. Датчики можно осторожно очищать мыльной водой
- d. Если сигнала нет, датчик всегда неисправен
- e. Лак для ногтей не влияет на работу датчика

3. Что из перечисленного может привести к недостоверным показаниям пульсоксиметра?

- a. Темнокожие пациенты
- b. Ускоренная частота пульса при нормальном кровяном давлении.
- c. Прямой свет, падающий на датчик
- d. Отравление угарным газом
- e. Оксигенотерапия

4. Кислородная сатурация:

- a. В ходе анестезии всегда должна оставаться 100%
- b. В норме выше 95% у здорового 2-х летнего ребёнка
- c. В норме ниже 93% у человека в 70 лет
- d. Клинически значима при снижении менее 75%
- e. Не является необходимым методом мониторинга во время спинальной анестезии при кесаревом сечении

5. Что из перечисленного может снизить шансы удачного измерения?

- a. Лихорадка
- b. Гипертензия
- c. Серповидно-клеточная анемия
- d. Аритмия
- e. Гиповолемия

Правильные ответы:

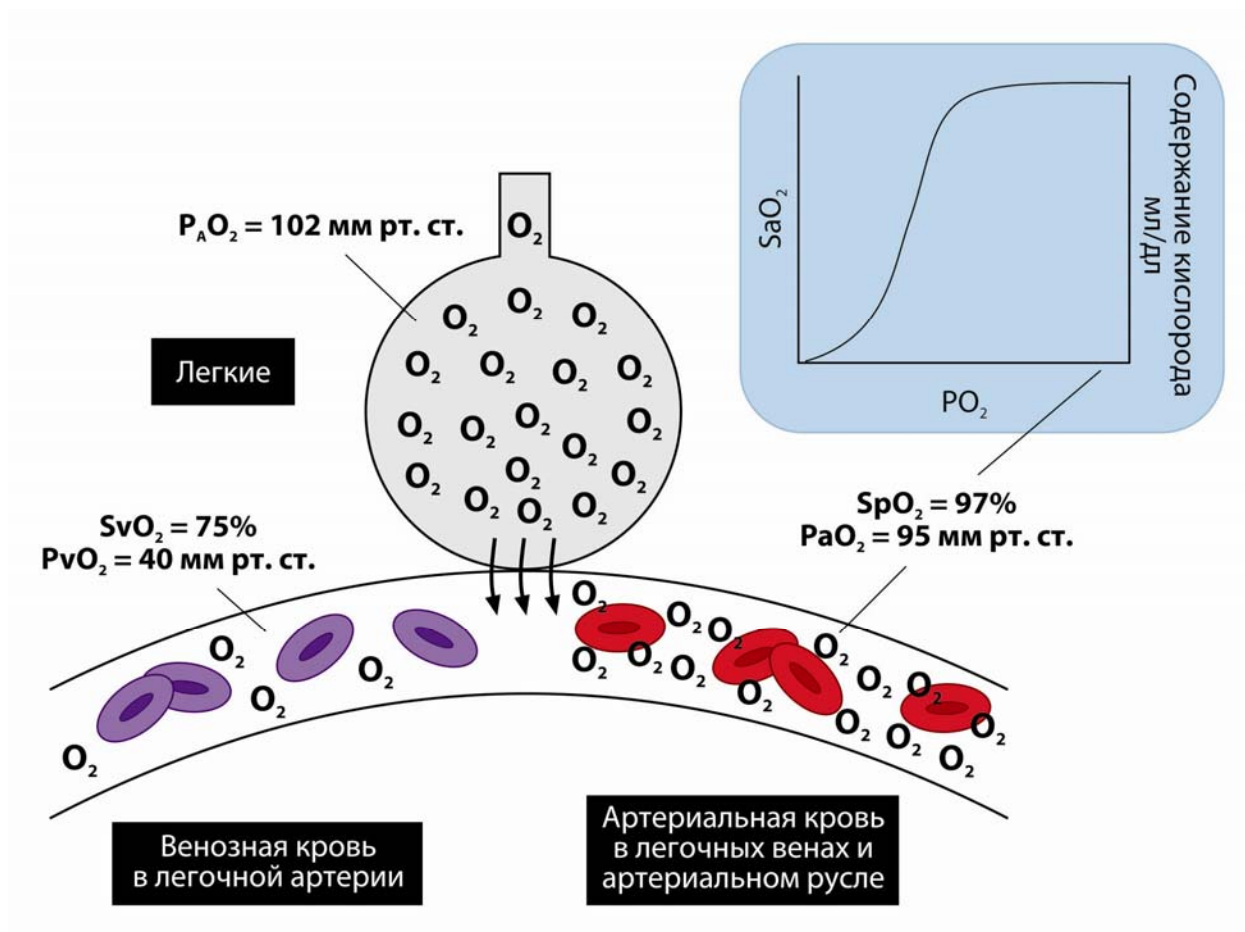
- 1. c, d
- 2. b, c
- 3. c, d
- 4. b
- 5. d, e

## ПРИЛОЖЕНИЕ: ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА И КРИВАЯ ДИССОЦИАЦИИ ОКСИГЕМОГЛОБИНА.

Этот раздел содержит дополнительные сведения о том, как функционирует гемоглобин и о взаимосвязи  $SpO_2$  с газами артериальной крови. Также здесь представлен ряд ссылок на дополнительную литературу, которая доступна в сети Интернет.

### Газы артериальной крови и $SpO_2$

Как указывалось ранее, пульсоксиметр измеряет насыщение гемоглобина артериальной крови кислородом. Анализатор газов крови может быть использован для измерения содержания кислорода в пробе крови ('газы артериальной крови'). Анализатор газов крови выражает содержание газа в виде парциального давления. Он измеряет парциальное давление кислорода ( $PaO_2$ ) и углекислого газа ( $PaCO_2$ ), pH крови и концентрацию бикарбоната.



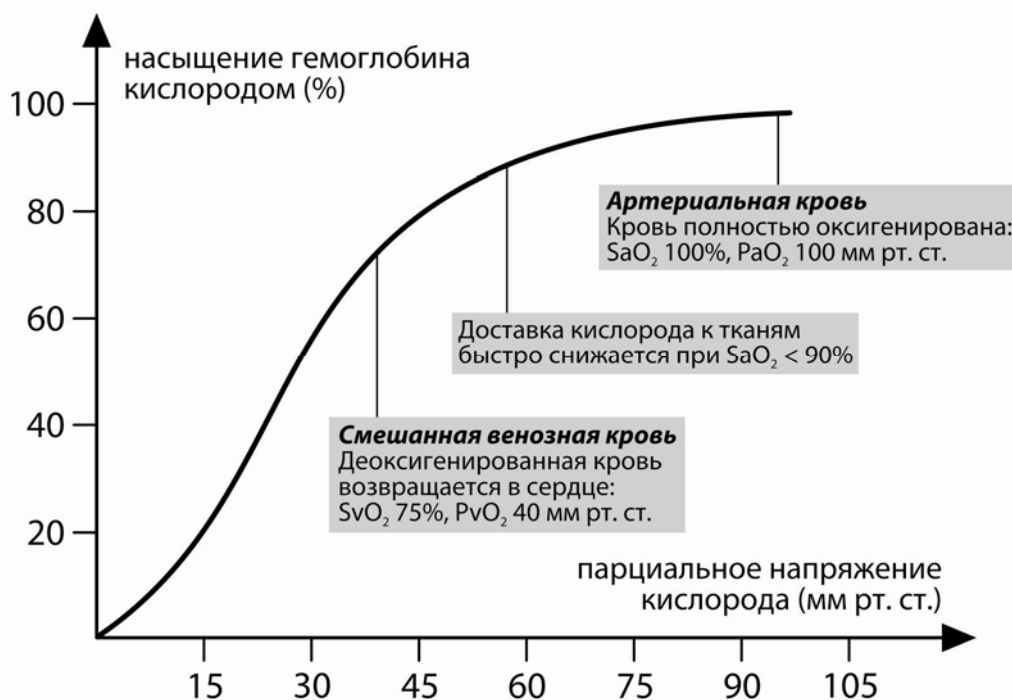
## КРИВАЯ ДИССОЦИАЦИИ ОКСИГЕМОГЛОБИНА

Взаимосвязь между парциальным давлением и сатурацией артериальной крови кислородом описывается кривой диссоциации оксигемоглобина. При повышении парциального давления кислорода в крови, происходит повышение сатурации. Сигмовидная форма кривой диссоциации оксигемоглобина отражает взаимодействие молекул гемоглобина и кислорода.

Некоторые анализаторы газов артериальной крови используют парциальное давление кислорода для расчета сатурации гемоглобина, но этот метод не так точен, как непосредственное измерение ко-оксиметром.

Газообмен происходит в лёгких. С каждым вдохом лёгкие вновь наполняются кислородом. Кислород с высоким парциальным давлением ( $P_{aO_2}$  13 кПа или 100 мм рт. ст.) связывается с гемоглобином, до того момента, пока не станет насыщенным 95 – 100%. Гемоглобин отдаёт кислород при прохождении крови по тканям. Парциальное давление кислорода в крови, оттекающей от тканей (смешанная венозная кровь), значительно ниже, чем в артериальной ( $P_{aO_2}$  5.3 кПа или 40 мм рт. ст.).

Кривая диссоциации кислорода первоначально имеет крутую часть, а затем выравнивается (сигмовидная форма). Наиболее важный аспект заключается в том, что после снижения показаний оксиметра менее 90%, парциальное давление кислорода в крови стремительно падает, и уменьшается доставка кислорода к тканям, что может привести к остановке сердца. Если сатурация падает ниже 90%, вам необходимо срочно вмешаться.



### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО ПУЛЬСОКСИМЕТРИИ:

1. Fearnley SJ. Pulse Oximetry. Update in Anaesthesia [http://www.nda.ox.ac.uk/wfsa/html/u05/u05\\_003.htm](http://www.nda.ox.ac.uk/wfsa/html/u05/u05_003.htm)
2. Hill E, Stoneham MD. Practical applications of pulse oximetry. [http://www.nda.ox.ac.uk/wfsa/html/u11/u1104\\_01.htm](http://www.nda.ox.ac.uk/wfsa/html/u11/u1104_01.htm)
3. Principles of pulse oximetry. <http://www.oximeter.org/pulseox/principles.htm>