

Обзоры литературы

© Группа авторов, 2011

УДК 543.552:612.262:[616-001+617.3]-052

К вопросу об информативности чрескожного определения напряжения кислорода и углекислого газа у травматологических и ортопедических больных

Е.Н. Щурова, Т.И. Долганова, Т.И. Меншикова

Informative potential of the transcutaneous determination of oxygen and carbon dioxide tensions in traumatologic and orthopaedic patients

E.N. Shchurova, T.I. Dolganova, T.I. Menshchikova

Федеральное государственное учреждение «Российский научный центр
"Восстановительная травматология и ортопедия" им. академика Г. А. Илизарова» Минздравсоцразвития РФ, г. Курган
(директор — доктор медицинских наук А.В. Губин)

На основе анализа отечественных и иностранных научных публикаций представлен современный взгляд на диагностические возможности чрескожного определения напряжения кислорода и углекислого газа у травматологических и ортопедических больных. Проанализирована информативность данного метода в оценке состояния больных с множественной (сочетанной) травмой, открытых ран, кровотока и заживления тканевых лоскутов, реакции метаболизма тканей на дистракционные воздействия у ортопедических больных, результатов ГБО-терапии у травматологических и ортопедических больных.

Ключевые слова: чрескожное определение напряжения кислорода, чрескожное определение напряжения углекислого газа, травма костей нижних конечностей, ортопедическая патология, тканевые лоскуты, ткани раны.

A current view of the diagnostic capabilities of the transcutaneous determination of oxygen and carbon dioxide tensions in traumatologic and orthopaedic patients has been demonstrated based on the analysis of native and foreign scientific publications. The informative potential of this method has been analyzed for the assessment of condition of patients with multiple (combined) injuries, open wounds, that of blood flow and tissue flap healing, tissue metabolic reactions to distraction effects in orthopaedic patients, HBO therapy results in traumatologic and orthopaedic patients.

Keywords: transcutaneous determination of oxygen tension, transcutaneous determination of carbon dioxide tension, injuries of lower limb bones, orthopaedic pathology, tissue flaps, wound tissues.

В настоящее время в большинстве клиник мира является обязательным наличие чрескожного мониторинга напряжения кислорода и углекислого газа в структуре диагностических и реанимационных подразделений. Несмотря на то, что этот метод исследования используется больше 20 лет, не все аспекты применения и диагностических возможностей освещены, остаются спорными некоторые моменты интерпретации полученных данных. Достаточно широкое использование чрескожного мониторинга газов, особенно кислорода, получило при обследовании больных с хронической ишемией нижних конечностей. Данный вопрос очень широко освещен в литературе.

Однако применение чрескожного мониторинга у травматологических и ортопедических больных не имеет столь широкого анализа в научной литературе. Данные фрагментарны и не систематизированы.

Целью настоящей работы являлся анализ научной литературы, посвященной использованию чрескожного мониторинга кислорода и углекис-

лого газа у травматологических и ортопедических больных.

Поскольку чрескожный мониторинг напряжения кислорода стал применяться раньше и имеет большее распространение, чем определение напряжения углекислого газа, в первую очередь необходимо проанализировать использование $T_{\text{ср}}\text{O}_2$ при диагностике и лечении травматологических и ортопедических больных.

1. Чрескожный (транскутанный) мониторинг напряжения кислорода ($T_{\text{ср}}\text{O}_2$)

С начала 80-х годов чрескожное определение напряжения кислорода постепенно стало ценнейшим орудием в клинической практике для обследования больных.

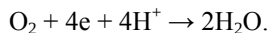
Чрескожная полярография является неинвазивным диагностическим методом, с помощью которого регистрируют парциальное давление кислорода в поверхностных слоях кожи [12, 17, 33, 53, 59]. Уровень $T_{\text{ср}}\text{O}_2$ отражает доставку кислорода к определенному участку кожи, к его микроциркуляторному руслу. Кроме того, су-

существует взаимосвязь между транскутанным давлением кислорода и парциальным давлением кислорода в тканях [19].

Идея бескровного измерения содержания кислорода в коже была впервые реализована в 1951 г. M. Baumberger и R. Goodfriend [12], которые использовали для этого ртутный каплевидный электрод в подогретом буферном растворе, куда был помещен палец испытуемого. При этом было обнаружено, что напряжение кислорода буферного раствора приближается к значению pO_2 артериальной крови. Вследствие сложности и недостаточной точности получаемых результатов этот метод в то время не нашел широкого распространения. Новые возможности появились после изобретения модифицированных электродов типа Clark [26] со специальным нагревательным устройством для длительного определения $TcpO_2$.

В настоящее время в клинической практике при обследовании больных получили широкое применение приборы различных фирм: "Radiometr" (Дания); "Hellige" (Германия); Universal-PO2-Meter MO 10.1 (PRACITRONIC, Германия); "Novamatrix Medical Systems" (США); «Instrumentation Laboratory» (США) и др. При определении чрескожного напряжения кислорода используется наконечный согревающий датчик типа «Clark». Датчик крепится на обезжиренный участок кожи с помощью специального адгезивного кольца. Электрод нагревается до 42–44 °С. Создаваемая с помощью тепла локальная реактивная гиперемия стимулирует увеличение местного кровообращения и диффузию газов через мембрану электрода. Кислород при проникновении через мембрану вызывает электрохимическую реакцию и генерирует потенциал, проходящий через катод. Данный потенциал конвертируется усилителем в величину, пропорциональную напряжению кислорода на поверхности мембраны, и информация появляется на экране монитора как $TcpO_2$ в мм рт. ст.

Известно, что молекула растворенного кислорода не имеет электрического заряда и достигает поверхности рабочего электрода в силу процесса диффузии. При определенных значениях потенциала электрода все молекулы кислорода в приэлектродном слое восстанавливаются до воды:



Напряжение кислорода в приэлектродном слое резко снижается, в результате чего к нему диффундируют молекулы кислорода из ткани, и процесс приобретает непрерывный характер.

Напряжение кислорода в капиллярной крови — первый важный параметр, от которого зависят результаты измерения. Повышение температуры электрода и подлежащего участка кожи приводит к артериализации капиллярной крови, как следствие — напряжение кислорода в капиллярной крови при нормальном кровоснабжении приближается к

таковому артериальной крови [3, 11]. Другой важный параметр, который влияет на $TcpO_2$ — интенсивность кровотока. Хотя играют роль и другие факторы, такие как кривая диссоциации гемоглобина, температура электрода, толщина эпидермиса, проницаемость кожи, проницаемость самой мембраны, расстояние между поверхностью кожи и мембраной электрода, метаболическая активность клеток [14].

Принципиально чрескожная полярография позволяет решить две задачи: осуществлять мониторинг содержания кислорода в крови (при сохранном и стабильном кровоснабжении) или определить степень нарушения кровоснабжения (при постоянном содержании кислорода в крови) [3]. Во втором варианте данный метод применяется в основном для выявления критической ишемии; прогноза заживления язвы; оценки эффективности терапевтического лечения; отбора больных для ГБО и оценки эффективности этого метода; определения необходимости и уровня ампутации; определения вероятности приживления кожного лоскута при трансплантации.

По мнению одних авторов, измеряемое таким электродом транскутанное напряжение кислорода достоверно коррелирует с напряжением кислорода артериальной крови как у новорожденных детей, так и у взрослых и количественно характеризует кожный кровоток [12, 18]. Однако другие исследователи утверждают, что даже при нормальном кровоснабжении измеряемая величина $TcpO_2$ обычно несколько ниже, чем напряжение кислорода в артериальной крови [45] и больше связана с уровнем давления кислорода в смешанной венозной крови, за исключением декомпенсированных и терминальных состояний [18].

M.L. Franklin [32] считал, что только у новорожденных и младенцев чрескожное измерение газов с применением обычных электрохимических методов может являться средством определения значений напряжения кислорода и углекислого газа в артериальной крови. У пациентов с риском нарушения сердечно-сосудистой и легочной функции и у многих взрослых лиц (из-за разной структуры кожи) чрескожный мониторинг газов не будет точно отражать напряжения газов артериальной крови, поскольку чрескожное напряжение газов зависит от перфузии кожи. Но данный метод может пригодиться при мониторинге тканевой перфузии, особенно у пациентов с периферическим сосудистым заболеванием и при пересадке тканевых лоскутов.

Такого же мнения придерживается и K. Rich [44], чрескожное определение напряжения кислорода можно использовать при обследовании взрослых людей для анализа состояния раны, в процессе проведения гипербарической терапии, пластических хирургических операций, для определения уровня ампутации, оценки тяжести хронической артериальной недостаточности и

результатов реваскуляризации конечности.

Прежде чем анализировать использование данного метода исследования у травматолого-ортопедических больных, необходимо осветить величины чрескожного напряжения кислорода человека в норме.

Рассмотрим значения чрескожного напряжения кислорода у здоровых взрослых людей на различных сегментах конечности и частях тела. Так, по данным литературы [17, 20, 23], на уровне груди T_{cPO_2} составляет $64,0 \pm 1,3$ мм рт. ст., на бедре – $61,0 \pm 1,5$ – $62,0 \pm 1,75$ мм рт. ст., на голени – $55,4 \pm 1,8$ – $59,4 \pm 1,5$ мм рт. ст., на стопе $52,0 \pm 1,12$ – $53,0 \pm 1,1$ – $54,6 \pm 1,3$ мм рт. ст. Следовательно, по данным этих авторов, чрескожное напряжение кислорода на стопе меньше, чем на уровне груди, бедра и голени, где цифры достоверно не различаются.

Точкой для измерения T_{cPO_2} нижней конечности чаще всего служит стопа (первый межпальцевой промежуток), хотя возможно измерение в любой другой доступной зоне. Исследование проводят в положении лежа на спине. Диапазон варьирования нормативных значений напряжения кислорода в коже стопы взрослых людей, представленный в литературе, достаточно широк – от 40 мм рт. ст. до 65 мм рт. ст. По данным одних авторов [4, 46–59], напряжение кислорода в коже стопы (T_{cPO_2}) в горизонтальном положении составляет ≥ 40 мм рт. ст. Другие ученые [17, 20] приводят более высокие значения этого показателя: $52,0 \pm 1,12$ мм рт. ст., $53,0 \pm 1,1$ мм рт. ст., $54,6 \pm 1,3$ мм рт. ст., $53,8 \pm 1,6$ мм рт. ст.

В документах Российского консенсуса 2002 года [3] опубликованы величины нормальных значений T_{cPO_2} , они составляют 50–60 мм рт. ст. В руководстве для врачей «Клиническая ангиология» под ред. А.В. Покровского, 2004 [11] приводятся значения чрескожного напряжения кислорода в коже стопы у здоровых людей значительно выше – 65 мм рт. ст.

В «Национальных стандартах оказания помощи больным сахарным диабетом», утвержденных Минздравом РФ в 2002 году [15], устанавливается для чрескожного напряжения кислорода величина 40 мм рт. ст. как нижняя граница нормы.

Следует заметить, что напряжение кислорода в артериальной крови здоровых людей в возрасте от 25 до 70 лет в покое составляет в среднем 87,5 (от 75 до 100 мм рт. ст.) [10], что значительно выше чрескожного напряжения кислорода во всех областях исследования. Это, по всей видимости, обусловлено особенностью строения кожи и снижением уровня капилляризации ткани, изменением регуляции сосудов взрослых обследуемых относительно детей, у которых T_{cPO_2} при нормальном кровоснабжении может соответствовать напряжению кислорода в артериальной крови.

Кроме того, у здоровых людей с возрастом (от 25 до 70 лет) происходит значительное снижение

T_{cPO_2} (при температуре электрода 44 °C) в покое и при проведении фармакологических проб (капсаицин) [43].

Таким образом, анализируя вышеизложенное можно сделать вывод, что значения чрескожного напряжения кислорода в коже стопы больше 40 мм рт. ст. являются нормальными и величина 40 мм рт. ст. определяется как нижняя граница нормы. T_{cPO_2} у здоровых взрослых людей на различных частях тела и сегментах конечности значительно меньше, чем напряжение кислорода в артериальной крови.

Необходимо проанализировать нормативные показатели чрескожного напряжения кислорода конечностей детей и подростков.

По данным авторов, чрескожное напряжение кислорода в коже стопы у детей в возрасте от 5 до 16 лет составляет $68,5 \pm 5,2$ мм рт. ст. [9]. В.А. Щуров [21] приводит значения несколько ниже – $57 \pm 6,5$ мм рт. ст., хотя достоверно эти значения не отличаются.

Другие исследователи [12] показали, что в группе здоровых обследуемых от 6 до 33 лет (в основном дети и подростки) чрескожное напряжение кислорода на стопе составляло $70,5 \pm 8,03$ мм рт. ст., а в группе здоровых людей от 14 до 46 лет – $56,0 \pm 2,2$ мм рт. ст.

В работе И.А. Абушкина с соавт. [1] величины T_{cPO_2} в симметричной здоровой области (низ живота, паховая область, нижняя конечность, голень) или передней поверхности предплечья (стандартная точка мониторинга T_{cPO_2}) в группе больных (острый аппендицит, паховая грыжа, флегмоны мягких тканей, гемангиома голени) в возрасте от 10 мес. до 14 лет составляли $66,0 \pm 2,8$ мм рт. ст.

Следовательно, у детей и подростков чрескожное напряжение кислорода в коже стопы, по данным разных авторов, имеет тенденцию к увеличению либо достоверно увеличено в сравнении с показателями здоровых взрослых людей. Ясность в этот вопрос может внести дифференцированное исследование отдельно в группе детей и подростков. Однако публикаций подобного характера в доступной нам литературе не найдено.

В научных публикациях последних лет применение чрескожного мониторинга напряжения кислорода у пациентов с различной патологией представлено относительно мало (кроме исследования больных с хронической ишемией конечностей).

Чрескожный мониторинг напряжения кислорода используется при оценке состояния больных новорожденных детей [30], у взрослых тяжелобольных пациентов [45] и при проведении исследований у лиц пожилого и старческого возраста [41].

Данный метод может найти применение у больных с тетраплегией как способ выявления возможности развития пролежней и для прогноза их заживления [54].

Были проведены пробные исследования чрескожного напряжения кислорода у больных с инсультом [37], которые показали отсутствие отличий в значениях T_{SpO_2} на паретичной и непаретичной голени.

R. McPhail et al. [55] исследовали чрескожное напряжение кислорода при проведении артропластики тазобедренного или коленного суставов без наличия сосудистой патологии. Измерения производили перед операцией в области рассечения кожи, на противоположной стороне и в контрольной области (грудная клетка). На второй день после операции T_{SpO_2} снижалась во всех областях исследования и в большей степени в области раны. Через 2 месяца после операции показатель T_{SpO_2} во всех зонах измерения вернулся к дооперационному уровню. Таким образом, острые хирургические раны приводят к обширному и существенному снижению T_{SpO_2} в условиях нормального кровоснабжения.

Чрескожный мониторинг кислорода при травматических повреждениях. Результаты исследований больных с тяжелой травмой и шоком показали, что у выживших больных чрескожное напряжение кислорода было значительно выше [19]. По данным этих авторов было определено, что, хотя оксигенация участка кожи не отражает степень оксигенации всех органов и тканей, ее измерение дает ряд преимуществ. Сужение сосудов кожи является первой реакцией на стресс и развитие шока, поэтому чрескожное измерение давления кислорода позволяет наиболее рано выявить его симптомы.

T. Lindström et al. [28, 36, 48] исследовали чрескожное напряжение кислорода у больных с закрытыми переломами костей нижних конечностей. В этой группе больных как на больной, так и на контралатеральной конечности показатели T_{SpO_2} снижены относительно величин здоровых людей [47]. На конечности с переломом большеберцовой кости T_{SpO_2} значительно уменьшено относительно контралатеральной конечности. Применение лечения с использованием интрамедуллярного остеосинтеза с расщеплением и без него в послеоперационный период (5 дней) не приводит к значительным изменениям T_{SpO_2} [36].

По данным Е.В. Николайчук [16], у больных с закрытыми переломами костей голени в процессе лечения по методу Г.А. Илизарова чрескожное напряжение кислорода в коже стопы снижено на 30 % ($43,4 \pm 5,8$ мм рт. ст.) относительно значений контралатеральной конечности ($61,5 \pm 5,4$ мм рт. ст.).

Однако результаты исследования В.А. Щурова [22] показали, что в процессе лечения по методу Г.А. Илизарова закрытых винтообразных и оскольчатых переломов костей голени чрескожное напряжение кислорода на нижней конечности соответствует нормативным значениям (60 мм рт. ст.).

Применение ГБО-терапии у больных данной категории (первый сеанс через 1 час после операции) уже после трех сеансов [28] приводит к улучшению показателей T_{SpO_2} (уменьшение влияния вазоконстрикции и отека), а после 10-го сеанса ГБО достигает $54,2 \pm 6,5$ мм рт. ст. и достоверно не отличается от нормативных значений [15].

A. Seekamp et al. [50, 57] показали, что у больных с открытыми переломами конечностей, сопровождающимися повреждением мягких тканей, в первые 4 дня после травмы на поврежденной конечности T_{SpO_2} было снижено относительно контралатеральной конечности и составляло $23,5 \pm 4,1$ мм рт. ст. На травмированном сегменте, в области прилежащей непосредственно к ране, значения T_{SpO_2} составляли $13,2 \pm 2,3$ мм рт. ст. Через несколько дней (в среднем 10 дней) значения T_{SpO_2} возвращались к нормативным величинам во всех областях исследования поврежденной конечности ($55,4 \pm 5,4$ мм рт. ст.).

Аналогичную картину наблюдал И.А. Абушкин с соавт. [1], исследуя чрескожное напряжение кислорода в тканях вблизи раны в процессе ее заживления. При неосложненном течении раневого процесса T_{SpO_2} восстанавливается в первые 3 суток после операции. Сохраняющаяся с первых дней послеоперационного периода или возникшая позднее гипоксия достоверно свидетельствует о неблагоприятии в ране или наличии очага воспаления, расположенного в проекции раны. Контроль за данными парциального давления газов в ране позволяет избежать ту тяжелую степень гипоксии, при которой ослабевают фагоцитарная активность нейтрофильных гранулоцитов, процесс отложения коллагена, ангиогенез и эпителизация [35].

По мнению Т.И. Долгановой [8], выраженность изменений T_{SpO_2} в коже стопы зависит от тяжести открытого перелома костей голени. У больных с I А, Б, В и II А типами переломов (классификация по Марковой-Каплану) показатели T_{SpO_2} в тканях поврежденной и контралатеральной конечностей достоверно не отличались от нормы. При переломах II Б, В и III А типа наблюдалась гипероксия (увеличение T_{SpO_2} на 13 %) на обеих конечностях. У пациентов с IV типом была зарегистрирована выраженная гипоксия тканей пораженной конечности в сочетании с умеренной гипероксией в коже контралатеральной конечности.

В процессе лечения по методу Г.А. Илизарова открытых переломов костей голени [24] анализ T_{SpO_2} вблизи раневой поверхности (2-3 см) показал неоднозначность его изменений. В первые сутки после травмы T_{SpO_2} было снижено на 52 % относительно нормы, через 5-10 суток снижение составляло 14,3 %, через 20 дней – достоверно не отличалось от нормативных величин, через 30-35 дней превышало уровень нормы на 34 %, и повышенные значения регистрировались в последую-

щие периоды фиксации. После снятия аппарата Илизарова значения T_{SpO_2} соответствовали показателям контрольной группы ($55,0 \pm 2,3$ мм рт. ст.).

Исследование влияния гипербарической оксигенации (ГБО) на показатели T_{SpO_2} больных с открытыми переломами костей конечностей определило [5], что при переломах с ограниченным повреждением мягких тканей и отсутствием клинических проявлений ишемии конечности после курса ГБО динамики показателей T_{SpO_2} не наблюдалась. В случаях тяжелых открытых переломов конечностей при наличии признаков ишемии и нулевых значениях показателей T_{SpO_2} проводимая сразу после хирургической обработки и фиксации перелома по методу Г.А. Илизарова медикаментозная терапия в сочетании с курсом ГБО приводила к положительной динамике состояния больных и увеличению чрескожного напряжения кислорода (после 3-5 сеансов).

Таким образом, у больных с открытыми переломами костей нижних конечностей вблизи раневой поверхности и в других областях исследования в первые недели после травмы чрескожное напряжение кислорода значительно снижено, в последующем наблюдается восстановление, переходящее в гипероксию. Расхождение в анализе характера показателей T_{SpO_2} может быть связано с различными этапами начала наблюдения и длительностью периода наблюдения.

Чрескожный мониторинг кислорода пересаженных свободных лоскутов. Чрескожный мониторинг напряжения кислорода нашел широкое применение при оценке состояния пересаженных свободных составных лоскутов. По мнению D. Serafin [58], чрескожное измерение T_{SpO_2} может быть использовано при регистрации быстрых (менее 15 сек) и длительных (до 1 часа) изменений напряжения кислорода в коже лоскута и прогнозировать постоперационное лечение хирургических больных.

J.L. Mahoney, F.R. Lista [38] считают, что методика регистрации T_{SpO_2} кожи лоскута может успешно определить ранний тромбоз сосудов, повторно исследовать анастомоз и спасти свободный лоскут.

Однако по данным U. Herrberger et al. [34], только интраоперационно и первые 24 часа после операции показатели T_{SpO_2} были информативны в оценке кровотока кожного лоскута крыс. На последующих этапах наблюдения нет оснований для использования мониторинга T_{SpO_2} .

Н.О. Миланов с соавт. [14] пришли к выводу, что, несмотря на сложность интерпретации данных, получаемых при определении T_{SpO_2} , целесообразно использовать эту методику для мониторинга жизнеспособности свободных составных лоскутов, учитывая, что она недостоверна при нулевых значениях напряжения кислорода. В случаях, когда регистрируется исходный уровень T_{SpO_2} ($21,3 \pm 5,9$ мм рт. ст.) и отмечается положи-

тельная реакция на «кислородную пробу» (вдыхание чистого кислорода или газовой смеси с повышенным содержанием кислорода (до 40 %) в течение 2-10 минут), можно с уверенностью говорить о жизнеспособности свободных составных лоскутов (в качестве контроля измеряли T_{SpO_2} в подключичной области).

Нулевое значение T_{SpO_2} не всегда является показателем нежизнеспособности свободных составных лоскутов. Существуют различные мнения о причине нулевого значения чрескожного напряжения кислорода при наличии кровотока в исследуемой ткани. Так, F. Matsen [49] считает, что нулевой уровень T_{SpO_2} , определяемый накожным электродом, при наличии незначительного кровотока связан с тем, что локальное поглощение кислорода равно его доставке. Существует также мнение, что причиной нулевого T_{SpO_2} является симпатическая денервация трансплантата, ведущая к открытию артерио-венозных шунтов в глубокой артериальной сети. Следовательно, артериальный приток к коже значительно уменьшается и локальная гиперемия, создаваемая электродом, оказывается неэффективной [14].

M.C. Rochat [52] в экспериментальных исследованиях на собаках при пересадке аваскулярных тканевых лоскутов через 12 и 24 часа после операции наблюдали значительные различия в значениях T_{SpO_2} в основании лоскута и его верхушки. В основании T_{SpO_2} составляет $90,9 \pm 3,3$ мм рт. ст., на верхушке лоскута — $21,2 \pm 1,8$ мм рт. ст. Проводили гистологические исследования толщины кожи в основании и на верхушке через 24 часа после операции. Эти показатели имели достоверные отличия.

M.L. Gimbel et al. [39] при создании экспериментальной модели частичной и полной венозной окклюзии (обструкции) свободного лоскута использовали целый комплекс методов исследования (в том числе и T_{SpO_2}) для верификации состояния кожного лоскута. При полной окклюзии (обструкции) вены T_{SpO_2} снижалось на 80 %. При частичной окклюзии значения T_{SpO_2} достоверно не изменялись, что, по мнению автора, суживает его диагностические возможности.

По мнению ряда авторов [2, 25, 49], низкое T_{SpO_2} на несколько часов опережает появление отчетливых клинических симптомов тромбоза. Поэтому определяемые через 1-3 часа после включения кровотока низкие значения T_{SpO_2} должны настораживать. Достаточно информативно определение градиента T_{SpO_2} в центре и на периферии лоскута и проба с ингаляцией кислорода.

Как показали исследования, проведенные Б.С. Вихриевым с соавт. [7], первые измерения T_{SpO_2} и T_{SpCO_2} , выполненные через 1-3 часа после включения кровотока, в сочетании с клинической симптоматикой, позволяют точнее определить кровоснабжение трансплантата. В это время

его оценка по клиническим признакам (цвет, капиллярный ответ, температура) часто недостоверна. Только высокие цифры $TspO_2$ и низкие $TspCO_2$ в сочетании с клиническими данными говорят о достаточном кровоснабжении. Низкий уровень оксигенации в сочетании с высокими показателями углекислого газа свидетельствуют о субкомпенсации кровотока. В подобных ситуациях вполне допустимо наблюдение в течение 1-3 часов от момента реваскуляризации лоскута. Это время следует использовать для ликвидации других возможных причин нарушения оксигенации лоскута: устранить спазм сосудов, выполнить объем ОЦК, восстановить внешнее дыхание. Если положительной динамики $TspO_2$ и $TspCO_2$ нет и особенно, если эти показатели ухудшаются, показана срочная операция: ревизия, устранение перегиба или сдавления сосудистой ножки, реанастомоз, наложение дополнительного венозного анастомоза.

Таким образом, чрескожный мониторинг напряжения кислорода позволяет оценить кровоснабжение различных кожных лоскутов, дает возможность обоснованно и своевременно вносить необходимые коррективы в послеоперационное лечение.

Чрескожный мониторинг кислорода у больных с ортопедической патологией. Анализ литературы показал, что использование чрескожного напряжения кислорода у больных с ортопедической патологией относительно редко. В доступной нам литературе мы нашли мало публикаций.

В.А. Щуров [21] исследовал $TspO_2$ в коже стопы при оперативном удлинении конечности у больных с отставанием в росте голени. До лечения показатели достоверно не отличались от значений нормы ($65,1 \pm 4,1$ мм рт. ст.). В условиях дистракционного остеосинтеза по методу Илизарова величина $TspO_2$ имела тенденцию к снижению. Аналогичная ситуация наблюдалась и при удлинении нижней конечности у больных с ахондроплазией [13]. Следует отметить, что группу обследуемых в обоих случаях составляли дети и подростки.

Т.И. Долганова [9] исследовала $TspO_2$ в коже стопы в процессе лечения у больных с посттравматическими и врожденными дефектами костей голени. До лечения показатели соответствовали нормативным значениям ($61,0 \pm 5,2$ мм рт. ст.). В процессе лечения по методу Илизарова отмечалась тенденция к увеличению $TspO_2$.

Таким образом, применение чрескожного мониторинга напряжения кислорода информативно в оценке состояния и прогнозирования заживления пролежней, острых хирургических и инфекционных ран, при пересадке тканевых лоскутов, при закрытых и открытых переломах костей конечностей, в процессе проведения гипербарической терапии.

Однако при оперативном лечении ортопедических больных (удлинении конечностей, лечении врожденных и посттравматических дефек-

тов костей конечностей) этот метод не имеет большой диагностической значимости.

II. Чрескожный (транскутанный) мониторинг напряжения углекислого газа ($TspCO_2$)

Если чрескожному напряжению кислорода у ортопедо-травматологических больных в научной литературе уделено достаточно внимания, то исследованию другого компонента тканевого дыхания – углекислого газа – относительно мало [9, 7, 21, 24, 39]. Анализ этого показателя у данной категории больных может дать дополнительную информацию о тканевом дыхании, степени изменения метаболизма в процессе лечебного и реабилитационного процесса.

Чрескожное измерение двуокиси углерода ($TspCO_2$) было введено в начале 80-х годов при использовании локально нагреваемых электрохимических датчиков, которые накладывались на поверхность кожи. Такая методология обеспечивала постоянную неинвазивную оценку показателя артериальной крови CO_2 и могла применяться для оценки адекватности вентиляции. Сейчас эта методика широко распространена и часто используется в клинической практике [27]. Наибольшее применение чрескожный мониторинг нашел при оценке состояния новорожденных детей [30, 47].

Напряжение углекислого газа в коже конечностей исследуется с помощью уникальных pH датчиков, базирующихся на принципе Stow-Severinghaus. Датчик для определения углекислого газа состоит из двух частей: 1) pH электрод, референтный электрод, электролит и полупроницаемая мембрана; 2) тепловая секция, состоящая из двух термисторов для измерения и контроля датчика температуры. Когда датчик установлен на конечности обследуемого, при нагревании до $44^\circ C$ молекулы углекислого газа диффундируют сквозь мембрану и вступают в реакцию с электролитом. Эта реакция меняет pH раствора электролита, который изменяет на противоположный заряд напряжение pH и референтного электрода. Поскольку CO_2 – газ, который может влиять на pH электролита, существует направленная корреляция между pH и углекислым газом. Эта взаимосвязь выражается уравнением Henderson-Hasselbach [19]:

$$pH = pK_a + \log \frac{HCO_3^-}{0,03 \cdot pCO_2},$$

где pK_a – константа, характеризующая свойства системы (в данном случае составляет 6,1), HCO_3^- – содержание бикарбонатов в ммоль/л, 0,03 – коэффициент соотношения в ммоль/л $\cdot$ мм рт. ст., pCO_2 – напряжение углекислого газа в мм рт. ст. По изменению напряжения на измеряемом электроде судят о напряжении углекислого газа в верхних слоях кожи.

Датчики чрескожного определения напряжения CO_2 ($TspCO_2$) существуют в виде одиночного датчика Pco_2 , комбинированного датчика Pco_2/Po_2 (TCM-3 “Radiometr”, Дания; “Novametric Medical Systems”, США), а позднее появился

комбинированный датчик P_{CO_2}/SpO_2 (TOSCA, Linde Medical Sensor; Basel, Switzerland).

Чрескожное напряжение углекислого газа у здоровых взрослых людей в вертельной и ретро-вертельной области составляет $36,3 \pm 5,1$ мм рт. ст., средней трети голени – $43,0 \pm 1,0$ мм рт. ст., стопе – $42,0 \pm 2,4$ – $43,7 \pm 3,7$ мм рт. ст. [20, 21, 51].

У здоровых людей (в возрасте от 25 до 70 лет) в покое напряжение углекислого газа в артериальной крови ($PaCO_2$) составляет от 32 до 45 мм рт. ст. ($38,5$ мм рт. ст.) [10]. Напряжение углекислого газа в артериальной крови, поступающей в тканевые капилляры, приближается к 40 мм рт. ст. В оттекающей от тканей крови напряжение углекислого газа увеличивается до 46 мм рт. ст. Данные чрескожного определения напряжения углекислого газа у здоровых взрослых людей находятся в этом же диапазоне значений.

S.V. Rithalia et al. [45] также определили, что у здоровых взрослых субъектов взаимосвязь между $T_{pr}CO_2$ и $PaCO_2$ носит линейный характер, и коэффициент корреляции составлял 0,92. Значения $T_{pr}CO_2$ при модифицированной калибровке электродов не отличаются в значительной степени от $PaCO_2$. Данный факт был подтвержден и J.P. Janssen et al. [41] при проведении исследований у взрослых лиц пожилого и старческого возраста. В большей степени показатели соответствуют друг другу, когда измерения регистрируются в области грудной клетки [40].

Анализируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что чрескожное напряжение углекислого газа у здоровых взрослых людей соответствует напряжению углекислого газа артериальной крови.

У здоровых детей и подростков показатели чрескожного напряжения углекислого газа в коже стопы достоверно не отличаются от значений взрослых людей и находятся в диапазоне от 38 до 48 мм рт. ст. [9, 21]. Взаимосвязь между $T_{pr}CO_2$ и $PaCO_2$ у детей и подростков (в возрасте от 1 года до 15 лет, $6,2 \pm 4,4$ лет) также носит линейный характер (коэффициент корреляции – 0,95), а разница между $T_{pr}CO_2$ и $PaCO_2$ составляет 3 мм рт. ст. и меньше [42]. Наибольшее применение чрескожный мониторинг нашел при оценке состояния новорожденных детей [30, 47].

Чрескожный мониторинг углекислого газа при травматических повреждениях. У тяжелых больных с множественной (сочетанной) травмой по чрескожному мониторингу углекислого газа (на мочке уха) с применением датчика TOSCA pCO_2 - SpO_2 вполне можно оценивать динамику $PaCO_2$ [56]. Несмотря на это относительно мало работ, посвященных целенаправленному анализу чрескожного напряжения углекислого газа в процессе проводимого лечения у пациентов с травмой костей нижних конечностей.

Авторы исследования [24] проследили динамику $T_{pr}CO_2$ вблизи раневой поверхности (2-3 см) у больных с открытыми переломами костей голени в процессе лечения по методу Илизарова.

В первые сутки после травмы $T_{pr}CO_2$ были зарегистрированы самые высокие показатели – $81,8 \pm 16,2$ мм рт. ст., что превышало уровень нормы на 85 %. Этот рост $T_{pr}CO_2$, по всей видимости, являлся следствием быстрого накопления посттравматических метаболитов в мягких тканях. Через две недели $T_{pr}CO_2$ снижался, и тем не менее, превышал показатели контрольной группы на 30 % и сохранялся на этом уровне до 1,5-2 мес. лечения. На последующих этапах наблюдения отмечалось повышение $T_{pr}CO_2$, сохраняющееся и после снятия аппарата. Использование в комплексном хирургическом лечении ГБО-терапии приводило к снижению повышенного уровня $T_{pr}CO_2$ и нормализации показателей кислорода [5].

Чрескожный мониторинг углекислого газа пересаженных свободных лоскутов. В литературе также относительно мало уделяется внимания направленным исследованиям $T_{pr}CO_2$ тканевых кожных лоскутов. Б.С. Вихриев с соавт. [7] установили, что в хорошо приживающихся лоскутах в первые часы после операции может незначительно повышаться $T_{pr}CO_2$ (до 50-60 мм рт. ст.), в последующие периоды наблюдения (от 3 часов до 3 недель) этот показатель находился в диапазоне 40 ± 10 мм рт. ст. В лоскутах с явлениями ишемии показатели $T_{pr}CO_2$ были повышены до 120-160 мм рт. ст., а нормализация их наступала через 3-4 суток, когда отмечалась граница некроза. Первые измерения $T_{pr}O_2$ и $T_{pr}CO_2$, выполненные через 1-3 часа после включения кровотока, в сочетании с клинической симптоматикой позволяют точнее определить кровоснабжение трансплантата.

M.C. Rochat et al. [52] в экспериментальных исследованиях на животных проводили регистрацию $T_{pr}CO_2$ в основании лоскута и на его вершине. Во всех проведенных измерениях было показано, что значения $T_{pr}CO_2$ в основании лоскута составляли $52,7 \pm 2,24$ мм рт. ст., а на вершине были значительно выше и составляли – $106,4 \pm 2,44$ мм рт. ст.

I.A. Hashimoto et al. [31] в экспериментальных исследованиях определили, что $T_{pr}O_2$ более чувствительно, чем $T_{pr}CO_2$ при ишемии (артериальной или венозной) лоскута. Клинические исследования этих авторов показали, что очень сложно отличить застойные лоскуты от здоровых только с помощью $T_{pr}O_2$. Авторы полагают, что застойный лоскут, в котором $T_{pr}CO_2$ составляет более 90 мм рт. ст., требует дальнейшего восстановительного лечения.

Таким образом, исследование $T_{pr}CO_2$ тканевых лоскутов дает дополнительную информацию о состоянии его кровотока и прогнозирования жизнеспособности.

Чрескожный мониторинг углекислого газа у больных с ортопедической патологией. Анализ научных публикаций по чрескожному мониторингу газов показал, что определение

чрескожного напряжения углекислого газа у больных с ортопедической патологией используется относительно редко. В доступной литературе мы нашли мало библиографических источников.

Так, В.А. Щуров с соавт. [21] провели исследование $T_{\text{ср}}\text{CO}_2$ в коже стопы при оперативном удлинении конечности у больных детей и подростков с отставанием в росте голени. До лечения показатели достоверно не отличались от значений нормы ($44,0 \pm 9,0$ мм рт. ст.). В условиях дистракционного остеосинтеза по методу Илизарова показатели $T_{\text{ср}}\text{CO}_2$ имели тенденцию к снижению.

Также было проведено исследование $T_{\text{ср}}\text{CO}_2$ в коже стопы в процессе лечения у больных с посттравматическими и врожденными дефектами костей голени [9]. До лечения показатели соответствовали нормативным значениям ($44,0 \pm 5,3$ мм рт. ст.). В процессе лечения по методу Илизарова в группе больных с посттравматическими дефектами костей голени (взрослые в возрасте $26,3 \pm 4,5$ лет) на этапе дистракции наблюдалось значительное увеличение показателей (на 57,5 %), в последующий период фиксации они возвращались к исходному уровню. У больных с врожденными дефектами костей голени (дети и подростки в возрасте $12,1 \pm 2,4$ лет) на этапе дистракции наблюдалось значительное уменьшение $T_{\text{ср}}\text{CO}_2$ (на 48,3 %, $24,8 \pm 2,2$ мм рт. ст.), в период фиксации показатели возвращались к исходному уровню.

При удлинении нижних конечностей у больных с ахондроплазией на этапе дистракции аппаратом Г.А. Илизарова $T_{\text{ср}}\text{CO}_2$ увеличивалось на 11 %, в период фиксации снижалось на 13 % [13].

Таким образом, применение чрескожного мониторинга напряжения углекислого газа у орто-

педических больных информативно в оценке реакции метаболизма тканей на дистракционные воздействия. У взрослых с посттравматическими дефектами и больных с ахондроплазией $T_{\text{ср}}\text{CO}_2$ увеличивается, у детей с отставанием в росте конечности и врожденных дефектах снижается.

Анализируя современное состояние вопроса о диагностических возможностях чрескожного мониторинга напряжения углекислого газа, Р. Eberhard [27] сформулировал текущие и будущие направления развития данного метода исследования. В течение последних 20 лет постоянно разрабатывалась методология, которая совершенствовала систему $T_{\text{ср}}\text{CO}_2$, делая ее более простой и надежной для применения в клинической практике: уменьшалась величина датчика (диаметр 15 мм, высота 8 мм), устанавливалась более редкая смена мембран (каждые 2 недели) и калибровка (два раза в день); разрабатывался датчик, готовый к применению при подсоединении к монитору; датчик с более низкой температурой (42°C); сокращалось время артериализации (3 минуты); повышалась надежность показателей вследствие защиты мембраны. В применяемых в настоящее время датчиках $T_{\text{ср}}\text{CO}_2$ все ещё требуется систематически менять мембрану и проводить калибровку. Одним из путей преодоления необходимости этих процедур является применение исключительных средств регистрации. Разработаны два метода с применением оптического поглощения в свете, почти близком к инфракрасному в бесконечно малой волне волновода, интегрированной на поверхности датчика, или в выбранной микрооптической ячейке. На такой датчик не оказывает влияния смещение на несколько дней, и время его реакции составляет менее 1 минуты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ научной литературы, посвященной использованию чрескожного мониторинга кислорода и углекислого газа у травматологических и ортопедических больных, показал неоднозначность информационной ценности данного способа исследования у разных групп пациентов.

У больных с тяжелой травмой и шоком чрескожное напряжение кислорода может служить критерием прогноза выживаемости. При открытых переломах голени с наличием повреждений мягких тканей чрескожный мониторинг газов вблизи раневой поверхности и в других областях исследования может определять динамику заживления ран и вносить коррективы в лечение.

Исследование чрескожного напряжения газов пересаженных свободных лоскутов позволяет оценить кровоснабжение, дает возможность обоснованно и своевременно вносить необходимые изменения в послеоперационное лечение и прогнозировать жизнеспособность приживляемого лоскута.

Одновременная регистрация чрескожного напряжения кислорода и углекислого газа позволяет контролировать реакцию метаболизма тканей на дистракционные воздействия при оперативном лечении ортопедических больных (удлинении конечностей, лечении врожденных и посттравматических дефектов костей конечности).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абушкин И. А., Абушкина В. Г., Привалов В. А. Напряжение кислорода в тканях раны в процессе ее заживления // Вестн. хирургии им. И.И. Грекова. 2002. Т. 161, № 1. С. 51-54.
2. Артыков К. П., Мычко-Мегрин В. В., Антохий Н. И. Чрескожное определение напряжения кислорода в свободных лоскутах //

- Проблемы микрохирургии. М., 1985. С. 70–71.
3. Беневоленский Д. С. Транскуптанная оксиметрия, как метод оценки состояния местного кровоснабжения // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2007. Т. 6, № 1 (21). С. 30–31.
4. Возможности полярографии в прогнозировании эффекта реконструктивной операции у больных с тяжелой ишемией нижних конечностей / В. К. Гусак [и др.] // Вестн. хирургии им. И.И. Грекова. 1993. № 5–6. С. 69–70.
5. Гипербарическая оксигенация в системе лечения по методу Илизарова больных с открытыми переломами / И. И. Мартель [и др.] // Вестн. хирургии им. И.И. Грекова. 2003. Т. 162, № 6. С. 35–39.
6. Российский консенсус «Диагностика и лечение пациентов с критической ишемией нижних конечностей». М., 2002. 40 с.
7. Динамика изменений напряжения кислорода и диоксида углерода в капиллярах кожи как показатель кровоснабжения сложных кожных лоскутов / Б. С. Вихриев [и др.] // Вестн. хирургии им. И.И. Грекова. 1989. Т. 142, № 6. С. 54–59.
8. Долганова Т. И. Оценка газового метаболизма тканей у больных с открытыми переломами // Рос. физиологический журн. 2004. Т. 90, № 8. С. 432–433.
9. Долганова Т. И. Диагностическая значимость ишемической пробы в оценке газового состава тканей при их травматическом или врожденном повреждении // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2005. Т. 4, № 4 (16). С. 32–37.
10. Елизарова Л. Н., Гринчук В. И. Кислородное обеспечение организма у мужчин с ринохпатией // Вестн. оториноларингологии. 2007. № 6. 43–47.
11. Клиническая ангиология : рук. для врачей : в 2-х т. / под. ред. А.В. Покровского. М. : ОАО «Издательство «Медицина», 2004. Т. 1. С. 219–221.
12. Клэйс А., Ктенидис К., Хорш С. Исследование микроциркуляции у больных с критической ишемией // Ангиология и сосудистая хирургия. 1995. № 2. С. 59.
13. Менщикова Т. И. Структурно-функциональные аспекты в обосновании оперативного удлинения нижних конечностей : автореф. дис... д-ра биол. наук. Курган, 2007. 48 с.
14. Миланов Н. О., Антохий Н. И., Гайнуллин З. М. Значение полярографии в контроле за жизнеспособностью свободных составных лоскутов // Хирургия. 1989. № 8. С. 51–55.
15. Национальные стандарты оказания помощи больным сахарным диабетом : метод. рекомендации / сост. : И. И. Дедов, М. В. Шестакова, М. А. Максимова. М., 2002. 30 с.
16. Николайчук Е. В. Клинико-физиологическое обоснование применения гипербарической оксигенации при лечении больных с закрытыми переломами костей голени : автореф. дис... канд. мед. наук. Курган, 2004. 23 с.
17. Определение уровня ампутации конечности у больных окклюзионными заболеваниями периферических артерий методом чрескожного измерения напряжения кислорода / Г. Б. Кабулия [и др.] // Хирургия. 1990. № 5. С. 72–75.
18. Покровский А. В., Чупин А. Определение степени нарушения региональной микроциркуляции нижних конечностей // Методология флоуметрии. 1997. Вып. 1. С. 51–54.
19. Предсказание исхода тяжелой травмы с помощью неинвазивного мониторинга / В. Шумейкер [и др.] // Анестезиология и реаниматология. 2003. № 6. С. 8–13.
20. Шевцов В. И., Щурова Е. Н., Щуров В. А. Чрескожное определение напряжения кислорода и углекислого газа у больных с облитерирующим атеросклерозом сосудов нижних конечностей // Вестн. хирургии. 1999. Т. 158, № 3. С. 30–33.
21. Щуров В. А., Сазонова Н. В., Николайчук Е. В. Особенности кислородного режима в тканях при оперативном удлинении конечности // Гений ортопедии. 2001. № 2. С. 55–58.
22. Щуров В. А., Бойчук С. П., Щуров И. В. Полярографический контроль кровоснабжения тканей при лечении переломов костей голени // Гений ортопедии. 2008. № 2. С. 13–15.
23. Щурова Е. Н. Динамика чрескожного напряжения кислорода и углекислого газа при проведении ишемической пробы в норме и в условиях хронической ишемии конечности // Физиология человека. 2000. Т. 26, № 3. С. 79–83.
24. Щурова Е. Н., Долганова Т. И., Лунова С. Н. Оценка газового режима поврежденных тканей // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 2004. № 1. С. 22–24.
25. Achauer B. M., Black K. S., Litre D. K. Transcutaneous PO₂ in flaps : a new method of survival prediction // Plast. Reconstr. Surg. 1980. Vol. 65, No 6. P. 761–765.
26. Clark L. C. The control and monitoring of blood and tissue oxygen // Trans. Amer. Soc. Anat. Int. Org. 1956. Vol. 2. P. 41–48.
27. Eberhard P. The design, use, and results of transcutaneous carbon dioxide analysis : current and future directions // Anesth. Analg. 2007. Vol. 105, Suppl. 6. P. 48–52.
28. Effects of hyperbaric oxygen therapy on perfusion parameters and transcutaneous oxygen measurements in patients with intramedullary nailed tibial shaft fractures / T. Lindström [et al.] // Undersea Hyperb. Med. 1998. Vol. 25, No 2. P. 87–91.
29. Evaluation of skin viability in dogs, using transcutaneous carbon dioxide and sensor current monitoring / M. C. Rochat [et al.] // Am. J. Vet. Res. 1993. Vol. 54, No 3. P. 476–480.
30. Fanconi S., Sigrist H. Transcutaneous carbon dioxide and oxygen tension in newborn infants : reliability of a combined monitor of oxygen tension and carbon dioxide tension // J. Clin. Monitor. 1988. Vol. 4, No 2. P. 103–106.
31. Flap monitoring by transcutaneous PO₂ and PCO₂ : importance of transcutaneous PCO₂ in determining follow-up treatment for compromised free flaps / I. Hashimoto [et al.] // J. Reconstr. Microsurg. 2007. Vol. 23, No 5. P. 269–274.
32. Franklin M. L. Transcutaneous measurement of partial pressure of oxygen and carbon dioxide // Respir. Care Clin. N. Am. 1995. Vol. 1, No 1. P. 119–131.
33. Got I. Transcutaneous oxygen pressure (TcPO₂) : advantages and limitations // Diabetes Metab. 1998. Vol. 24, No 4. P. 379–384.
34. Transcutaneous oxygen partial pressure in the evaluation of circulatory disorders in myocutaneous island flaps in the rat / U. Herrberger, A. Tilgner, D. Schumann // Handchir. Mikrochir. Plast. Chir. 1989. Vol. 21, No 5. P. 246–251.
35. Hopf H. W. Development of subcutaneous wound oxygen measurement in humans : contributions of Thomas K. Hunt MD // Wound Repair. Regenerat. 2003. Vol. 11, No 6. P. 424–430.
36. Leg tissue perfusion in simple tibial shaft fractures treated with unreamed and reamed / T. Lindström [et al.] // J. Trauma. 1997. Vol. 43, No 4. P. 636–639.
37. Lem F. C., de Vries J. Transcutaneous oxygen measurement in stroke : circulatory disorder of the affected leg? // Arch. Phys. Med. Rehabil. 1997. Vol. 78, No 9. P. 998–1002.
38. Mahoney J. L., Lista F. R. Variations in flap blood flow and tissue PO₂ : a new technique for monitoring flap viability // Ann. Plast. Surg. 1988. Vol. 20, No 1. P. 43–47.
39. Monitoring partial and full venous outflow compromise in a rabbit skin flap model / M. L. Gimbel [et al.] // Plast. Reconstr. Surg. 2009. Vol. 124, No 3. P. 796–803.
40. Nishiyama T., Nakamura S., Yamashita K. Comparison of the transcutaneous oxygen and carbon dioxide tension in different electrode locations during general anaesthesia // Eur. J. Anaesthesiol. 2006. Vol. 23, No 12. P. 1049–1054.
41. Non-invasive (transcutaneous) monitoring of PCO₂ (TcPCO₂) in older adult / J. P. Janssen [et al.] // Gerontol. 2005. Vol. 51, No 3. P. 174–178.

42. Nosovitch M. A., Johnson J. O., Tobias J. D. Noninvasive intraoperative monitoring of carbon dioxide in children : endtidal versus transcutaneous techniques // Paediatr. Anaesth. 2002. Vol. 12, No 1. P. 48-52.
43. Ogrin R., Darzins P., Khalil Z. Age-related changes in microvascular blood flow and transcutaneous oxygen tension under basal and stimulated conditions // J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci. 2005. Vol. 60, No 2. P. 200-206.
44. Rich K. Transcutaneous oxygen measurements : implication for nursing // J. Vasc. Nurs. 2001. Vol. 19, No 2. P. 55-59.
45. Rithalia S. V., Farrow P., Doran B. R. Comparison of transcutaneous oxygen and carbon dioxide monitors in normal adults and critically ill patients // Intensive Crit. Care Nurs. 1992. Vol. 8, No 1. P. 40-46.
46. Rooke T. TcpO₂ in non-invasive vascular medicine // Blood Gas News. 1998. No 7. P. 21-23.
47. Tingay D. G., Stewart M. J., Morley C. J. Monitoring of end tidal carbon dioxide and transcutaneous carbon dioxide during neonatal transport // Arch. Dis. Child. Fetal Neonatal Ed. 2005. Vol. 90, No 6. P. 523-526.
48. Tissue perfusion after intramedullary nailing of tibial shaft fracture / T. Lindström [et al.] // Ann. Chir. Gynaecol. 1998. Vol. 87, No 4. P. 317-320.
49. Transcutaneous pO₂ : a potential monitor of the status of replanted limb parts / F. A. Matsen [et al.] // Plast. Reconstr. Surg. 1980. Vol. 65, No 6. P. 732-737.
50. Transcutaneous PO₂ measurement in compound fractures / A. Seekamp [et al.] // Eur. J. Emerg. Med. 1995. Vol. 2, No 2. P. 69-74.
51. Transcutaneous carbon dioxide tension for the evaluation of limb ischemia / I. Sugimoto [et al.] // Surg. Today. 2009. Vol. 39, No 1. P. 9-13.
52. Transcutaneous oxygen monitoring for predicting skin viability in dogs / M. C. Rochat [et al.] // Am. J. Vet. Res. 1993. Vol. 54, No 3. P. 468-475.
53. Transcutaneous oxygen tension as predictor of wound healing / F. T. Matsen [et al.] // J. Rehabil. Res. Dev. 1986. Vol. 24, No 1. P. 234-235.
54. Transcutaneous oxygen tension in subjects with tetraplegia with and without pressure ulcer : a preliminary report / M. N. Liu [et al.] // J. Rehabil. Res. Dev. 1999. Vol. 36, No 3. P. 202-206.
55. Transcutaneous partial pressure of oxygen after surgical wounds / R. McPhail [et al.] // Vasc. Med. 2004. Vol. 9, No 2. P. 125-127.
56. Transcutaneous PCO₂ monitoring in critically ill adults : clinical evaluation of a new sensor / K. Bendjelid [et al.] // Crit. Care Med. 2005. Vol. 33, No 10. P. 2203-2206.
57. Transcutaneous po₂ measurement in follow-up of severe soft tissue injuries of open fractures / A. Seekamp [et al.] // Zentralbl. Chir. 1995. Bd. 120, H. 1. S. 16-21.
58. Transcutaneous PO₂ monitoring for assessing viability and predicting survival of skin flaps : experimental and clinical correlations / D. Serafin [et al.] // J. Microsurg. 1981. Vol. 2, No 3. P. 165-178.
59. Wutschert R., Bongard O., Bounameaux H. Utilité clinique de la mesure transcutanée de la pression partielle d'oxygène // STV : Sang, thrombose, vaisseaux. 1998. Vol. 10, No 9. P. 581-585.

Рукопись поступила 30.11.09.

Сведения об авторах:

1. Щурова Елена Николаевна – ФГУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздравсоцразвития РФ, клинико-экспериментальный научный отдел физиологии, ведущий научный сотрудник, д.б.н.;
2. Долганова Тамара Игоревна – ФГУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздравсоцразвития РФ, клинико-экспериментальный научный отдел физиологии, ведущий научный сотрудник, д.м.н.;
3. Меншикова Татьяна Ивановна – ФГУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздравсоцразвития РФ, клинико-экспериментальный научный отдел физиологии, ведущий научный сотрудник, д.б.н.