

А.С. ЖИДКОВ, В.Е. КОРИК, А.П. ТРУХАН, С.А. ЖИДКОВ,
С.Н. ПИВОВАРЧИК, Д.Г. ТЕРЕШКО

ПРЯМАЯ ОКСИМЕТРИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СИНДРОМА ДЛИТЕЛЬНОГО СДАВЛЕНИЯ

УО «Белорусский государственный медицинский университет»,
Республика Беларусь

Цель. Изучить изменения параметров прямой оксиметрии мышц поврежденной конечности, определить их значимость в диагностике синдрома длительного сдавления (СДС) и оценка его тяжести в раннем посткомпрессионном периоде.

Материал и методы. В качестве объекта исследования использовались морские свинки (60 особей). Моделирование синдрома длительного сдавления осуществлялось при помощи разработанного авторами прибора регулируемой компрессии (ПРК-1). Проводился анализ параметров прямой оксиметрии мышц поврежденной конечности: парциального давления кислорода в мышцах, скоростей массопереноса кислорода, показателя оксигенации.

Результаты. Были выявлены достоверные различия при сравнении скорости массопереноса кислорода в диапазоне 150-155 мм рт.ст. (V_1) между животными контрольной группы отдельно с каждой из групп сравнения, что указывает на нарушение тканевого дыхания при любой степени СДС. В группе животных с СДС легкой степени тяжести наблюдалось повышение показателя V_1 в первые 48 часов, с умеренным снижением на 3-и сутки. Анализ данных, полученных в группе животных со средней степенью патологии не выявил значимых изменений динамики показателя V_1 , в тоже время, в группе с тяжелой степенью компрессии было выявлено статистически значимое постоянное увеличение скорости массопереноса кислорода в диапазоне 150-155 мм рт.ст. При анализе показателя оксигенации были выявлены статистически значимые различия при сравнении групп с легкой и средней, а также с легкой и тяжелой степенями компрессионных повреждений, что четко дифференцирует легкую степень патологии.

Заключение. Метод прямой оксиметрии позволяет выявлять тканевую гипоксию при компрессионных повреждениях конечностей, дифференцировать легкие и тяжелые повреждения, а также спрогнозировать степень тяжести патологии в раннем посткомпрессионном периоде.

Ключевые слова: компрессия, синдром длительного сдавления, травма, оксиметрия, рабдомиолиз

Objectives. To study the changes in parameters of the direct oximetry of injured limb muscles, to determine their significance in diagnosis of crush syndrome (CD) and its severity in early postcompression period.

Methods. Guinea pigs (60 animals) were research models. Modeling of crush syndrome was carried out by application of the developed device of adjustable compression. The parameters of direct oximetry of the injured limbs muscles have been analyzed: oxygen partial pressure in muscles, oxygen mass transfer rates and oxygenation rate.

Results. Significant differences in comparing of oxygen mass transfer rate in the range of 150-155 mm Hg (V_1) have been revealed between animals of the control group separately with each one of the comparison groups, which indicates some tissue respiration changes at any degree of crush syndrome. Within the first 48 hours in the group of animals with mild crush syndrome the increase of the indicator V_1 was observed and with a moderate decline — on the third day. Analysis of data obtained in the group of animals with a moderate degree of pathological changes found no significant changes of the V_1 indicator dynamics, while the analysis of the data obtained in the group of animals with severe pathology, showed a statistically significant permanent increase of oxygen mass transfer rate in the range of 150-155 mm Hg. In analyzing the oxygenation indicator the statistically significant differences have been revealed while comparing groups with mild, moderate and severe degrees of compression damage clearly differentiated a mild degree of pathological changes.

Conclusion. The method of direct oximetry permits to detect tissue hypoxia with compression injuries of the limbs, to differentiate mild and severe damages, as well as to predict the severe pathology in the early postcompression period.

Keywords: compression, crush syndrome, trauma, oximetry, rhabdomyolysis

Novosti Khirurgii. 2015 Jan-Feb; Vol 23 (1): 12-16

Direct Oximetry in Diagnosis of Experimental Crush Syndrome

A.S. Zhidkov, V.E. Korik, A.P. Trukhan, S.A. Zhidkov, S.N. Pivovarchik, D.G. Tereshko

Введение

Первое десятилетие XXI века ознаменовало себя резко возросшим количеством техно-

генных катастроф и вооруженных конфликтов. Практически ежедневно в новостных лентах проходит информация о крупных техногенных или природных катаклизмах, не говоря уже о

множестве войн различных масштабов, происходящих практически на всех континентах планеты. Любое из приведенных в качестве примера бедствий сопровождается значительным количеством ранений и механических травм, в том числе синдром длительного сдавления (СДС).

Синдром длительного сдавления представляет собой патологию, обусловленную длительной компрессией мягких тканей и отличающуюся сложностью патогенеза, трудностью лечения и высокой летальностью [1]. Высокая летальность среди пострадавших с СДС, достигающая 80-90%, обуславливает необходимость дальнейшего исследования данной патологии [2].

В настоящее время лишь в 15% случаев вовремя диагностируется данная патология, устанавливается степень ее тяжести и назначается адекватное лечение [3].

Данный факт требует поиска новых подходов в решении этой проблемы. Одним из методов, которому в современной медицинской литературе уделяется все больше внимания, является прямая оксиметрия, позволяющая оценить процессы оксигенации органов и тканей, и на основании полученных данных судить об их функциональном состоянии [4, 5].

По мнению ряда авторов, изучение природы массопереноса кислорода в тканях, а также кислородного обмена в норме и при патологии является перспективным направлением практической медицины [6, 7]. В современной литературе имеются данные о количественных характеристиках массопереноса кислорода в головном мозге, органах брюшной полости и забрюшинного пространства [8, 9]. Значительный прогресс достигнут в изучении массопереноса кислорода *in vitro* клеточными структурами животных и человека, в частности, эритроцитами [10, 11]. Между тем, в доступной литературе не упоминаются исследования, посвященные изучению массопереноса кислорода в тканях (в первую очередь в мышцах), подвергшихся компрессионной травме.

Нами были проанализированы данные, полученные путем прямой оксиметрии мышц при экспериментальном СДС.

Цель исследования: выявить изменения параметров прямой оксиметрии мышц поврежденной конечности, определить их значимость в диагностике СДС и его тяжести в раннем посткомпрессионном периоде.

Исследования выполнялись в рамках научно-исследовательских работ «Оптимизация оказания помощи при боевой хирургической травме» и «Разработать и внедрить новые

инновационные методы диагностики и комплексного лечения пациентов с острой и хронической хирургической патологией».

Материал и методы

Экспериментальная работа проводилась на базе вивария УО «Белорусский государственный медицинский университет». В качестве объекта исследования использовались морские свинки (60 особей мужского пола, массой от 800 до 1000 г). Моделирование синдрома длительного сдавления осуществлялось при помощи разработанного авторами прибора регулируемой компрессии (ПРК-1) (заявка на полезную модель № и20130140 от 14.02.2013) [12]. Сдавление осуществлялось на площади 2 см², по внутренней поверхности тазовой конечности, медиальнее на 1 см от проекции кости, что предотвращало повреждение кости и магистральных сосудов. Сила компрессии контролировалась динамометрическим ключом и была равна 25 кг/см² [13]. Животных по времени компрессии разделили на 3 группы сравнения (по 18 животных): I группа – 2 часа (легкая степень СДС); II группа – 5 часов (средняя степень СДС) и III группа – 8 часов (тяжелая степень СДС). Каждая из групп, в свою очередь, была поделена на 3 подгруппы (по 6 животных) в зависимости от срока вывода из эксперимента в ранний посткомпрессионный период (24, 48 и 72 часа соответственно). Контрольную группу составили 6 животных, измерения производились на неизменной мышечной ткани.

Исследования проводились в соответствии с требованиями «Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и иных научных целей» (Страсбург, 1986), по согласованию с комитетом по биомедицинской этике УО «Белорусский государственный медицинский университет».

Прямую оксиметрию мышечной ткани (по отработанной ранее на кафедре военно-полевой хирургии УО «БГМУ» методике) проводили с помощью прибора, собранного на базе анализатора газов крови ABL 330 (Radiometr), разрешенного к использованию в лабораторных условиях (решение Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 11 мая 2009 года № 11-11/827-604). Основным звеном во всех аппаратах такого типа и назначения занимает мембранный амперометрический кислородный датчик, основанный на звене Кларка [14]. Точкой приложения датчика, после произведенного послойного рассечения мягких

тканей и фасциотомии, являлась мышечная ткань, непосредственно подвергшаяся компрессии.

В ходе исследования мы анализировали оксигенацию тканей по следующим параметрам: парциальное давление кислорода в мышцах (PO_2), скорость массопереноса кислорода в диапазонах 150-155 мм рт.ст. (V_1) и 30-35 мм рт.ст. (V_2), а также показатель оксигенации (i). Интервал 150-155 мм рт.ст. характеризует скорость поглощения кислорода из электролита окружающего электрод датчика типа Кларк, т.е. дыхательную активность исследуемой ткани. Интервал 30-35 мм рт.ст. характеризует равновесную скорость потребления и выброса кислорода. Показатель оксигенации использовался для упрощения трактовки данных прямой оксиметрии (в процессе выявления вида распределения оказалось, что совокупность значений парциального давления кислорода и скоростей массопереноса подчиняется лог-нормальному закону распределения, логарифм которой имеет нормальное распределение). Данный показатель представляет собой дробь, знаменатель которой равен логарифму произведения константы массопереноса и суммы скоростей массопереноса кислорода в диапазонах 150-155 мм рт.ст. и 30-35 мм рт.ст. по основанию парциального давления кислорода (формула 1) [15].

$$i = \frac{10}{\log_p k (D_1 + D_2)}$$

где i – показатель оксигенации,

p – парциальное давление кислорода (мм рт.ст.),

k – эффективная константа массопереноса кислорода (0,997 мин),

D_1 – скорость массопереноса кислорода в диапазоне 150-155 мм рт.ст. (мм рт.ст./мин),

D_2 – скорость массопереноса кислорода в диапазоне 30-35 мм рт.ст. (мм рт.ст./мин),

10 – эмпирически подобранный коэффициент для приведения значений в интервал от 1 до 10.

Расчеты соответствующих параметров производились в программе Table Curve 2D, парциальное давление кислорода вычисляли на графике.

Данные представлены в виде Me (25%-75%), где Me – медиана, 25% и 75% – 25 и 75 процентиля. Для определения статистически значимых различий между данными анализов у животных разных групп в количественных непараметрических данных использовали критерий Kruskal-Wallis (K-W test). Для сравнения показателей между животными экспе-

риментальных групп и контрольной группой использовали критерий Mann-Whitney (U test) (M-W). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

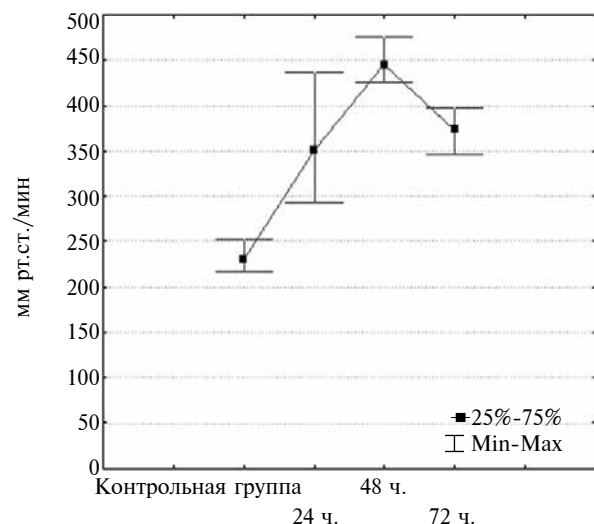
На первом этапе нами было осуществлено изолированное сравнение каждой из экспериментальных групп с контрольной группой (Манн-Уитни тест). Полученные результаты показали достоверные различия у всех животных в диапазоне V_1 (интервал 150-155 мм рт.ст.).

Следующим этапом было изучение динамики оксигенации мышечной ткани в каждой из групп сравнения (т.е. на протяжении всего раннего посткомпрессионного периода при каждой из степеней тяжести СДС).

В группе животных с СДС легкой степени тяжести из всех применяемых в эксперименте параметров были выявлены статистически значимые различия ($p < 0,001$) в интервале 150-155 мм рт.ст. (рис. 1). Наблюдалось повышение показателя в первые 48 часов, с умеренным снижением на 3-и сутки.

Дальнейшим этапом исследований был расчет и анализ динамики скоростей массопереноса при средней и тяжелой степенях тяжести СДС. Как и в случае с легкой степенью СДС, расчет осуществлялся интервале 150-155 мм рт.ст. Так, при средней степени тяжести, скорость поглощения кислорода (V_1) значимо резко увеличивалась в период между 24 и 48 часами раннего посткомпрессионного периода, $p = 0,03$ (рис. 2).

Рис. 1. Изменение скорости массопереноса кислорода в поперечно-полосатых мышцах в интервале 150-155 мм рт.ст. (V_1). Легкая степень СДС. (Крускал-Уоллис тест)



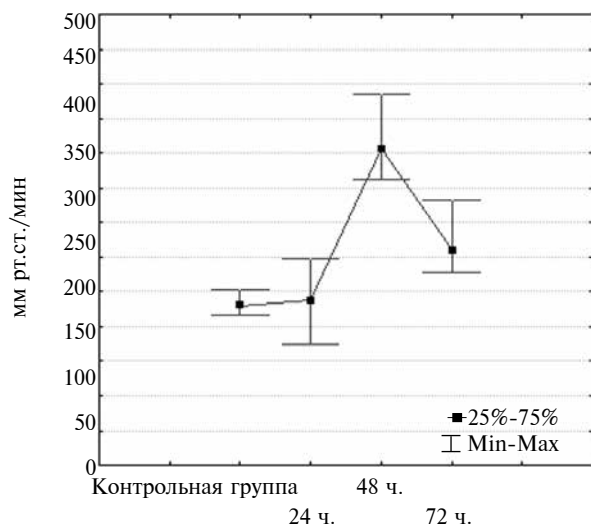


Рис. 2. Изменение скорости массопереноса кислорода в поперечно-полосатых мышцах в интервале 150-155 мм рт.ст. (V_1). Средняя степень СДС. (Крускал-Уоллис тест)

Анализ данных, полученных в группе животных с тяжелой степенью СДС, показал статистически значимое постоянное увеличение скорости поглощения кислорода в диапазоне 150-155 мм рт.ст. (V_1) ($p < 0,001$) (рис. 3).

На заключительном этапе эксперимента было произведено сравнение показателя оксигенации (i) между животными с СДС различной степени тяжести в 1-е, 2-е и 3 сутки раннего посткомпрессионного периода. При этом были выявлены статистически значимые различия в между животными 1 и 2-й групп (легкая и средняя степень СДС) – 3,8 (3,5-3,8) и 6,3 (5,6-6,5) соответственно ($p = 0,03$). Также были выявлены значимые различия между животными 1 и 3-й групп (легкая и тяжелая степень СДС) – 3,8 (3,5-3,8) и 5,2 (4,7-6,2), соответственно ($p = 0,04$).

Обсуждение

Таким образом, при сравнении каждой из экспериментальных групп животных с контрольной на протяжении всего раннего посткомпрессионного периода при любой степени тяжести СДС отмечается нарушение тканевого дыхания.

Анализ изменения скорости массопереноса кислорода в интервале 150-155 мм рт. ст. при СДС легкой степени на протяжении раннего посткомпрессионного периода указывает на активное поглощение кислорода поврежденной тканью на фоне гипоксии в первые 48 часов с последующей стабилизацией внутриклеточных процессов через 72 часа. В то же время, динамика вышеуказанного параметра в

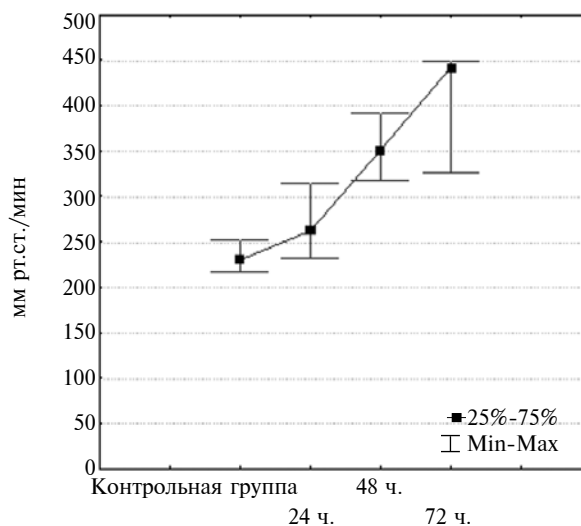


Рис. 3. Изменение скорости массопереноса кислорода в поперечно-полосатых мышцах в интервале 150-155 мм рт.ст. (V_1). Тяжелая степень СДС. (Крускал-Уоллис тест)

группе с СДС тяжелой степени демонстрирует глубокие гипоксические нарушения в тканях без тенденции к компенсации.

Кроме того, следует обратить внимание на тот факт, что отмечалась различная тенденция нарастания скорости V_1 в первые сутки при легкой и тяжелой степенях повреждения (рис. 1, 3). Так, при легкой степени, наблюдалось резкое увеличение данного показателя, в то время как при тяжелой степени динамика была плавной. Это свидетельствует о разнице в процессах обмена кислорода в поврежденных тканях при компрессионной травме и может играть существенную роль в диагностике тяжелой степени повреждения.

Выявленные при анализе показателя оксигенации различия указывают на продолжающиеся процессы гипоксии в тканях с более тяжелыми степенями повреждений и четко выделяют группу животных с легкой степенью СДС.

Выводы

1. Метод прямой оксиметрии позволяет выявить тканевую гипоксию на протяжении всего раннего посткомпрессионного периода при любой степени тяжести СДС.
2. Анализ динамики скоростей массопереноса кислорода в мышцах поврежденной конечности в раннем посткомпрессионном периоде позволяет спрогнозировать степень тяжести компрессионного повреждения.
3. Показатель оксигенации позволяет дифференцировать легкие и тяжелые компрессионные повреждения через 72 часа развития раннего посткомпрессионного периода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нечаев Э. А. Синдром длительного сдавления: руководство для врачей / Э. А. Нечаев, А. К. Ревской, Г. Г. Савицкий. — М. : Медицина, 1993. — 208 с.
2. Гаркави А. В. Синдром длительного сдавления мягких тканей конечностей / А. В. Гаркави // Мед. помощь. — 2000. — № 2. — С. 23–28.
3. Musselius S. G. Adviser expert system in the myorenal syndrome / S. G. Musselius, M. D. Putinsev, R. H. Enileev // EDTA : 20-th Congress, Glasgow, 1993. — P. 78.
4. Будников Г. К. Биосенсоры как новый тип аналитических устройств / Г. К. Будников // Сорос. образоват. журн. — 1996. — № 12. — С. 26–32.
5. Экспресс-способ количественной оценки действия фармакологических средств на кислородный обмен тканей / Э. П. Титовец [и др.] // Достижения мед. науки Беларуси. — 2003. — Вып. VIII. — С. 22–23.
6. Гипоксия и индивидуальные особенности реактивности / В. А. Березовский [и др.] ; под общ. ред. В. А. Березовского. — Киев : Наукова думка, 1978. — 215 с.
7. Березовский В. А. Напряжение кислорода в тканях животных и человека / В. А. Березовский. — К. : Наукова думка, 1975. — 279 с.
8. Пархач Л. П. Проницаемость оболочек головного мозга к кислороду и ее фармакологическая коррекция / Л. П. Пархач // Актуальные проблемы неврологии и нейрохирургии : сб. науч. тр. — 2004. — № 6. — С. 111–13.
9. Способ исследования массопереноса кислорода в биологических тканях и устройство для его осуществления : пат 7602 Респ. Беларусь, SU 1803872

Жидков А.С., адъюнкт кафедры военно-полевой хирургии военно-медицинского факультета в УО «Белорусский государственный медицинский университет». Корик В.Е., к.м.н. доцент, начальник кафедры военно-полевой хирургии военно-медицинского факультета в УО «Белорусский государственный медицинский университет».

Жидков С.А., д.м.н. профессор кафедры военно-полевой хирургии военно-медицинского факультета в УО «Белорусский государственный медицинский

- А1, МПК G 01 N27 // 48, 33 / 483 / Э. П. Титовец, Л. П. Пархач — № а20020470 ; заявл. 30.05.02; опубл. 12.03.05.
10. Козловский В. И. Устройство для определения напряжения кислорода в коже и артериальной крови / В. И. Козловский, М. Н. Микулич // Здоровоохранение Белоруссии. — 1984. — № 6. — С. 67–69.
 11. Oxygen distribution and respiration by the microcirculation / A. G. Tsai [et al.] // Antioxidants Redox Signal. — 2004 Dec. — Vol. 6, N 6. — P. 1011–18.
 12. Экспериментальное моделирование синдрома длительного сдавления / А. П. Трухан [и др.] // Хирургия. Восточ. Европа. — 2013. — №1. — С. 70–75.
 13. Влияние силы компрессии конечности на выраженность морфологических изменений при синдроме длительного сдавления / А. П. Трухан [и др.] // Новости хирургии. — 2013. — Т. 21, № 5. — С. 18–23.
 14. Будников Г. К. Биосенсоры как новый тип аналитических устройств / Г. К. Будников // Сорос. образоват. журн. — 1996. — № 12. — С. 26–32.
 15. Шмидт Р. Физиология человека : в 3 т. : пер. с англ. / Р. Шмидт, Г. Тевс. — М. : Мир, 1996. — Т. 2 — 313 с.

Адрес для корреспонденции

220030, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Энгельса, д. 27,
УО «Белорусский государственный
медицинский университет»,
кафедра военно-полевой хирургии,
тел. + 375 17 392-29-16,
e-mail: orgcinus84@gmail.com,
Жидков Алексей Сергеевич

Сведения об авторах

Трухан А.П., к.м.н. доцент кафедры военно-полевой хирургии военно-медицинского факультета в УО «Белорусский государственный медицинский университет».

Пивоварчик С.Н., слушатель 6 курса военно-медицинского факультета в УО «Белорусский государственный медицинский университет».

Терешко Д.Г., врач-хирург приемно-поликлинического отделения медицинской роты.

Поступила 18.09.2014 г.