

## Оригінальні статті

УДК 616.1:615.835.3:616.831-001-073.756.8:616.133.33-073.584

**Трофимов А.О., Юрьев М.Ю., Военнов О.В., Грибков А.В.**

Нижегородский региональный травматологический центр, Нижегородская областная клиническая больница им. Н.А. Семашко, Нижний Новгород, Россия

### **Кровоток и оксигенация головного мозга у пострадавших с черепно-мозговой травмой. Сопоставление данных перфузионной компьютерной томографии и церебральной инфракрасной спектроскопии**

**Цель:** сопоставить данные о сатурации и перфузии ткани головного мозга (ГМ) и выявить взаимосвязь между состоянием кровотока и оксигенации ГМ у пострадавших с черепно-мозговой травмой (ЧМТ).

**Материалы и методы.** У 27 пациентов с ЧМТ проведена перфузионная КТ ГМ с регистрацией  $SctO_2$ . Возраст пострадавших в среднем  $(34,5 \pm 15,5)$  года. Женщин было 13, мужчин — 14.

**Результаты.** Сатурация в ткани лобных долей ГМ изменялась от 51 до 89%, составляя в среднем  $(62,1 \pm 8,3)\%$  — над левой лобной долей,  $(61,3 \pm 5,1)\%$  — над правой лобной долей. CBF составил в среднем  $(31,7 \pm 13,4)$  мл/100 г·мин, CBV —  $(2,3 \pm 0,63)$  мл/100 г, MTT —  $(5,3 \pm 3,4)$  с, TTP —  $(21,2 \pm 2,1)$  с.

**Выводы.** Уровень  $SctO_2$  у пострадавших при ЧМТ достоверно соотносится с уровнем CBV ( $P < 0,000001$ ). Не выявлено достоверной корреляции между насыщением ткани ГМ кислородом и другими показателями перфузии ГМ.

**Ключевые слова:** черепно-мозговая травма, церебральная оксиметрия, перфузионная компьютерная томография.

Український нейрохірургічний журнал. — 2013. — №1. — С. 40–44.

Поступила в редакцию 11.02.13. Принята к публикации 06.03.13.

**Адрес для переписки:** Трофимов Алексей Олегович, Нижегородский региональный травматологический центр, Нижегородская областная клиническая больница им. Н.А. Семашко, ул. Родионова, 190, Нижний Новгород, Россия, 603126, e-mail: xtro7@mail.ru

**Вступление.** Уменьшение летальности при тяжелых внутричерепных кровоизлияниях, достигнутое в последнее десятилетие, многие авторы связывают с возможностью своевременного выявления и коррекции ишемии головного мозга (ГМ) [1].

Одними из наиболее информативных методов, позволяющих выявить ишемию ГМ, являются перфузионная компьютерная томография (КТ) и инфракрасная церебральная спектроскопия [2].

Принцип перфузионной КТ заключается в количественной оценке изменений плотности ткани во время прохождения внутривенно введенного контрастного вещества [3–5]. С внедрением многосрезовых томографов стало возможным оценить кровоток ГМ как в конкретном участке, так и в целом мозге [6].

Хотя инфракрасная церебральная оксиметрия не позволяет прямо оценить мозговой кровоток, она показывает насыщение гемоглобина кислородом во всех звеньях сосудистого русла в определенном участке ГМ [7, 8]. Метод инфракрасной церебральной оксиметрии позволяет количественно оценить снижение уровня оксигемоглобина в капиллярном и венозном русле [9]. Учитывая эти факты, взаимосвязь между уровнем сатурации ткани ГМ (cerebral tissue oxygen saturation —  $SctO_2$ ) и состоянием микроциркуляции в ГМ представляется весьма вероятной. Вместе с тем, исследования по данной проблеме малочисленны [10] и касаются лишь острого нарушения кровообращения ГМ [2].

**Цель работы:** сопоставить данные о сатурации и перфузии ткани ГМ и выявить взаимосвязь между состоянием кровотока и оксигенации ГМ у пострадавших с черепно-мозговой травмой (ЧМТ).

**Материалы и методы исследования.** У 27 пострадавших с ЧМТ, которых лечили в Нижегородской областной клинической больнице им. Н.А. Семашко в 2011–2012 гг., изучены результаты одновременно проведенной перфузионной КТ ГМ и измерения локальной сатурации ткани ГМ с помощью инфракрасной церебральной спектроскопии.

Возраст пострадавших от 15 до 65 лет, в среднем  $(34,7 \pm 15,5)$  года, двое из них были в возрасте 15 и 17 лет. Женщин было 13, мужчин — 14. Уровень бодрствования по шкале ком Глазго (ШКГ) при госпитализации составлял от 5 до 10 баллов, в среднем  $(7,9 \pm 1,5)$  балла, перед исследованием от 5 до 13 баллов, в среднем  $(10,3 \pm 1,9)$  балла. Тяжесть повреждений по шкале ISS (Injury Severity Score) составила от 25 до 81 балла, в среднем  $(44,7 \pm 8,3)$  балла.

По поводу внутричерепной гематомы 11 пострадавших оперированы в 1-е сутки после госпитализации. У 5 из них обнаружена субдуральная гематома, у 6 — внутримозговая, без повреждения лобной доли. Консервативное лечение проведено 16 пациентам, субарахноидальное кровоизлияние выявлено у всех. Все пострадавшие живы. На момент обследования выполнение неотложного нейрохирургического вмешательства не требовалось. Смещение срединных структур ГМ не превышало 3 мм.

### Церебральная инфракрасная спектроскопия

проведена с использованием аппарата Fore-Sight MC 2030 (CAS Medical Systems Inc., Branford, CT, США) и включала определение уровня  $SctO_2$  в области полюса лобных долей стандартными оптодами в соответствии с рекомендациями производителя. Общий вид комплекса представлен на **рис. 1**.

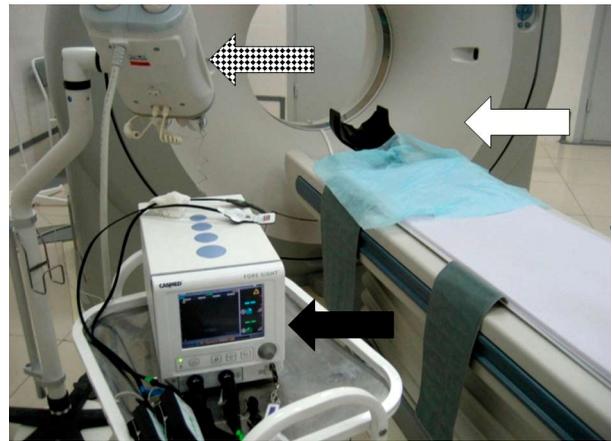
**Перфузионная компьютерная томография** ГМ проведена 27 пациентам с использованием 64-срезового томографа Toshiba Aquilion TSX-101A (Toshiba Medical systems, Нидерланды). Протокол перфузионного исследования [8] включал исходную неконтрастную КТ ГМ, «зону интереса» устанавливали с учетом выявленных зон очагового травматического повреждения – в лобных долях на глубине до 2 см субкортикально. Далее проводили 4 продленных сканирования «зоны интереса» толщиной 32 мм в течение 55 с на фоне введения контрастного вещества (режим Brain Perfusion). Параметры сканирования: 120 kVp, 70 mA, 70 mAs, 1000 ms. Контрастное вещество (Ultravist 370, Shering AG, Германия) вводили автоматическим шприцем-инъектором (Stellant, One Medrad, Indianola, PA) в периферическую вену через стандартный катетер (20G) со скоростью 5 мл/с в дозе 50 мл на 1 исследование или в центральную вену со скоростью 3 мл/с в дозе 35 мл на 1 исследование.

После сканирования объем данных передавали на рабочую станцию Vitrea 2 (Vital Imaging, Inc., ver 4.1.8.0). Артериальную и венозную «метки» (AIF и VIF) выставляли в автоматическом режиме с последующим ручным контролем по показателям графика «время-концентрация».

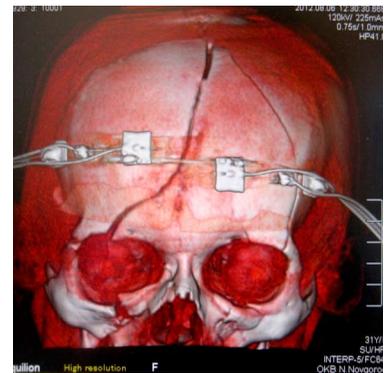
В дальнейшем автоматически строили перфузионные карты, кодированные цветом и описывающие значения регионарной объемной скорости кровотока (rCBF), регионарного объема циркулирующей крови (rCBV), средней продолжительности транзита контрастного вещества (MTT), времени достижения пиковой концентрации контрастного вещества (TTP). Указанные параметры оценивали качественно и количественно во всех долях большого мозга: лобных, височных, теменных, затылочных, а также зонах подкорковых узлов. Особое внимание уделяли параметрам перфузии в зонах коры лобных долей на глубине до 25 мм, непосредственно примыкающих к местам расположения оптодов. Результаты КТ в режиме объемной реконструкции приведены на **рис. 2**, пример цветной карты перфузии с расположением «зоны интереса» — на **рис. 3**.

Статистический анализ проведен с использованием методов непараметрической статистики, регрессионного анализа. Для анализа использовали программу Statistica 7.0 (StatSoft Inc., США, 2004). Уровень значимости определяли менее 0,01.

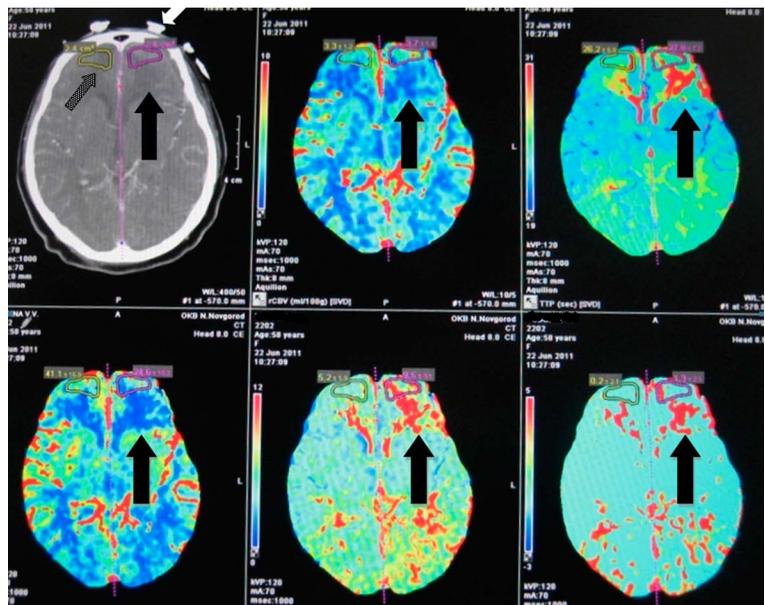
**Результаты и их обсуждение.** При одновременном исследовании кровотока перфузионной КТ ГМ и сатурации ткани ГМ с использованием инфракрас-



**Рис. 1\*.** Исследовательский комплекс. Компьютерный томограф (белая стрелка); церебральный оксиметр (черная стрелка); автоматический шприц-инъектор (градиентная стрелка).



**Рис. 2\*.** 3D реконструкция КТ пациента с расположением оптодов церебрального оксиметра.



**Рис. 3\*.** Цветная перфузионная карта пострадавшего с тяжелой ЧМТ. Артефакты от оптодов, расположенных в лобных областях (белая стрелка); «зона интереса» (градиентная стрелка); зона ишемического повреждения (черная стрелка).

ной спектроскопии отмечены следующие результаты.

Сатурация в ткани лобных долей ГМ изменялась от 51 до 89%, в среднем составляя  $(62,1 \pm 8,3)\%$  — над левой лобной долей,  $(61,3 \pm 5,1)\%$  — над правой лобной долей. Значения ниже ишемического порога ( $SctO_2$  менее 60%) установлены у 6 (22,2%) пострадавших, что свидетельствовало об ишемическом повреждении ГМ в бассейне кровоснабжения передней мозговой артерии.

При общем анализе данных перфузионной КТ ГМ выявлены следующие значения параметров перфузии.

Объемная скорость кровотока от 11,5 до 80,6 мл/100 г·мин, в среднем  $(31,7 \pm 13,4)$  мл/100 г·мин.

Региональный объем крови (min — 1,1 мл/100г, max — 4,4 мл/100 г), в среднем  $(2,3 \pm 0,63)$  мл/100 г.

Продолжительность транзита контрастного вещества (min — 2,8 с, max — 34,3 с), в среднем  $(5,3 \pm 3,4)$  с.

Время достижения пиковой концентрации контрастного вещества от 16,9 до 34,3 с, в среднем  $(21,2 \pm 2,1)$  с.

По данным анализа перфузионных карт у 16 пострадавших отмечены зоны, по характеристикам соответствующие ишемии ГМ.

Лишь у одного пациента «зона интереса» перфузионной КТ частично совпала с зоной нарушений циркуляции, обнаруженной по данным церебральной спектроскопии (см. рис. 3). Это свидетельствовало о том, что зона «сердцевины», возможно, расположена глубже границ возможностей церебральной оксиметрии. Вместе с тем, технические возможности церебральной оксиметрии позволили выявить циркуляторные изменения сатурации ткани ГМ у 6 из 16 больных, у которых эти изменения найдены при перфузионной КТ.

Проведен множественный регрессионный анализ в блоке Multiple linear regression. Парно сравнивали значения показателей перфузии ГМ и уровень сатурации в его лобных долях.

При отсутствии в лобных долях очагового повреждения уровень сатурации ткани ( $SctO_2$ ) пропорционально зависел от регионарного объема крови (rCBV), циркулирующей в корковых отделах лобных долей ( $P < 0,000001$ ).

Вместе с тем, не установлена достоверная корреляция между  $SctO_2$ , уровнем rCBF ( $P = 0,0323$ ), ТТР ( $P = 0,112$ ), МТТ ( $P = 0,682$ ).

Результаты регрессионного анализа приведены на рис. 4–7.

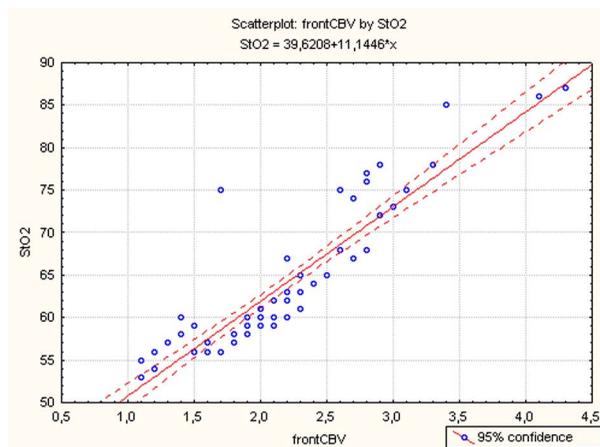


Рис. 4\*. Результаты регрессионного анализа rCBV и  $SctO_2$  в лобных долях ГМ.

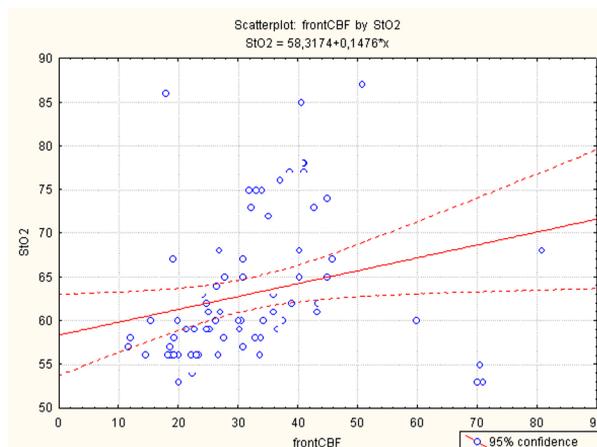


Рис. 5\*. Результаты регрессионного анализа rCBF и  $SctO_2$  в лобных долях ГМ.

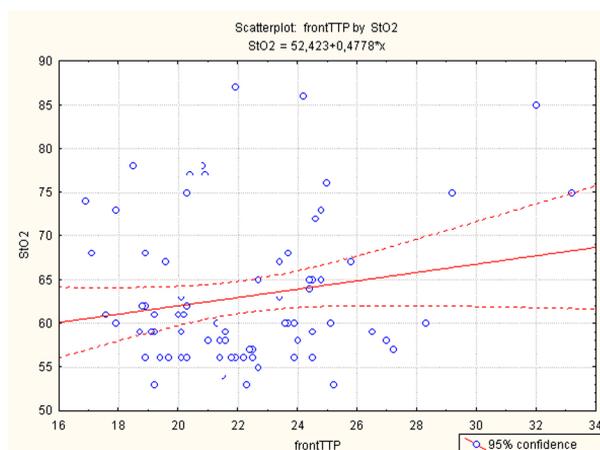


Рис. 6\*. Результаты регрессионного анализа ТТР и  $SctO_2$  в лобных долях ГМ.

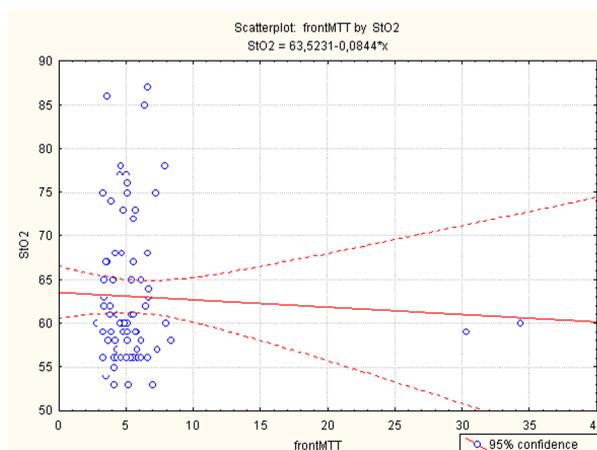


Рис. 7\*. Результаты регрессионного анализа МТТ и  $SctO_2$  в лобных долях ГМ.

Уровень оксигенации ткани ГМ при ЧМТ прямо зависит от регионарного объема циркулирующей крови в лобных долях ( $P < 0,000001$ ).

Зависимость между уровнем сатурации мозговой ткани лобных долей ГМ и другими показателями перфузии ГМ в этих зонах недостоверна:  $rCBF$  ( $P = 0,0315$ ),  $TTP$  ( $P = 0,1059$ ),  $MTT$  ( $P = 0,6862$ ).

Наши выводы согласуются с результатами церебральной оксиметрии и позитронно-эмиссионной томографии у здоровых добровольцев, установлено, что с уровнем насыщения ткани ГМ кислородом достоверно коррелирует именно регионарный объем крови (CBV) [9].

При исследовании взаимосвязи между уровнем оксигенации и параметрами перфузионной КТ ГМ у пациентов при цереброваскулярных заболеваниях, напротив, установлена достоверная зависимость между  $SctO_2$  и  $rCBF$  ( $P < 0,0001$ ) и не выявлена линейная корреляция с другими параметрами перфузии ГМ [2].

Согласно концепции «центрального объема» и вытекающему из нее уравнению расчета параметров перфузии ( $CBF = CBV / MTT$ ), объемная скорость кровотока и регионарный объем крови теоретически должны находиться в прямой зависимости [10], однако на практике эта зависимость не является однозначной.

По нашему мнению, подобные противоречия могут быть преодолены, если учесть, что регионарный объемный кровоток ГМ (CBF), в отличие от регионарного объема крови (CBV), зависит, в том числе, и от состояния артериального русла [2], а следовательно, может существенно изменяться при ангиоспазме сосудов ГМ, что характерно для нетравматических внутричерепных кровоизлияний.

**Выводы.** 1. Сатурация ткани ГМ у пострадавших при ЧМТ достоверно коррелирует с показателями регионарного объема крови в ткани ГМ (CBV) ( $P < 0,000001$ ).

2. Не выявлено достоверной корреляции между уровнем сатурации ткани ГМ и другими показателями его перфузии у пострадавших с ЧМТ.

3. Лазерная инфракрасная спектроскопия может быть использована в качестве скринингового метода неинвазивной оценки уровня регионарного объема крови у пострадавших при ЧМТ.

#### Список литературы

1. Фраерман А.П. Сдавление головного мозга при изолированной и сочетанной черепно-мозговой травме / А.П. Фраерман, Л.Я. Кравец, А.О. Трофимов – Н. Новгород: ООО «Типография «Поволжье», 2008. — 345 с.
2. Validation of frontal near-infrared spectroscopy as non-invasive bedside monitoring for regional cerebral blood / P.Taussky, B.O'Neal, W.P.Daugherty [et al.] // *Neurosurg. Focus.* — 2012. — V. 32. — P.1–6.
3. Hoeffner E.G. Cerebral perfusion CT: technique and clinical applications / E.G. Hoeffner, I. Case, R. Jain // *Radiology.* — 2004. — V. 231. — P. 632–644.
4. Mazzeo A.T. Monitoring brain tissue oxymetry: will it change management of critically ill neurologic patients? / A.T. Mazzeo, R. Bullock // *J. Neurol. Sci.* — 1997. — V. 261. — P. 1–9.
5. Wintermark M. Acute stroke imaging research roadmap / M. Wintermark, G.W. Albers, A.V. Alexandrov // *Am. J. Neuroradiol.* — 2008. — V. 29. — P. 23–30.
6. Потапов А.А. Особенности регионарного мозгового кровотока, показателей внутричерепного и церебрального перфузионного давления при тяжелой травме мозга / А.А. Потапов, В.Н. Корниенко, Н.Е. Захарова // *Лучевая диагностика и терапия.* — 2012. — №3. — С.79–92.
7. Bunce S.C. Functional near-infrared spectroscopy / S.C. Bunce, M. Izzetoglu, K. Izzetoglu // *Engin. Med. Biol. Mag.* — 2006. — V. 25. — P. 54–62.
8. Griffith S. Invasive versus non-invasive monitoring of brain tissue oxygenation / S. Griffith, J.L. Caron, R. Coleman // *Cerebrovasc. Dis.* — 2008. — V. 25. — P. 86.
9. Pott F. Cerebral blood volume in humans by NIRS and PET / F. Pott, M. Gitte // *Proc. SPIE.* — 1998. — V. 3194. — P. 306.
10. Miles K. Multidetector Computed Tomography in Cerebrovascular Disease. CT Perfusion Imaging / K. Miles. — London.: Informa UK, 2007. — 235 p.

**Трофімов О.О., Юр'єв М.Ю., Воєннов О.В., Грибков А.В.**

Нижегородський регіональний травматологічний центр, Нижегородська обласна клінічна лікарня ім. М.О.Семашка, Нижній Новгород, Росія

**Кровоток і оксигенація головного мозку у постраждалих за тяжкої черепно-мозкової травми. Зіставлення даних перфузійної комп'ютерної томографії та церебральної інфрачервоної спектроскопії**

**Мета:** зіставити дані про сатурацію і перфузію тканини головного мозку (ГМ) і виявити взаємозв'язок між станом його кровотоку і оксигенації у постраждалих з черепно-мозковою травмою (ЧМТ).

**Матеріали і методи.** У 27 постраждалих з ЧМТ проведена перфузійна КТ ГМ з реєстрацією  $\text{SctO}_2$ . Вік хворих у середньому (34,5±15,5) року. Жінок було 13, чоловіків — 14.

**Результати.** Сатурація в тканині лобових часток ГМ змінювалася від 51 до 89%, становила у середньому (62,1±8,3)% — над лівою лобовою часткою, (61,3±5,1)% — над правою лобовою часткою. CBF у середньому (31,7±13,4) мл/100 г×хв, CBV — (2,3±0,63) мл/100 г, МТТ — (5,3±3,4) с, ТТР — (21,2±2,1) с.

**Висновки.** Рівень  $\text{SctO}_2$  у потерпілих за ЧМТ достовірно співвідноситься з рівнем CBV ( $P < 0,000001$ ). Не виявлено достовірної кореляції між насиченням тканини ГМ киснем та іншими показниками перфузії ГМ.

**Ключові слова:** черепно-мозкова травма, церебральна оксиметрія, перфузійна комп'ютерна томографія.

Надійшла до редакції 11.02.13. Прийнята до публікації 06.03.13.

**Адреса для листування:** Трофімов Олексій Олегович, Нижегородський регіональний травматологічний центр, Нижегородська обласна клінічна лікарня ім. М.О. Семашка, вул. Родіонова, 190, Нижній Новгород, Росія, 603126, e-mail: xtro7@mail.ru

**Trofimov A.O., Yuriev M.Yu., Voennov O.V., Gribkov A.V.**

Regional Trauma Center, Nizhniy Novgorod Regional Hospital named after N.A. Semashko, Nizhniy Novgorod, Russia

**Cerebral blood flow and cerebral saturation in head injury. Comparison of CT perfusion and cerebral near-infrared oxymetry**

**Background.** The purpose of this study was to determine the relationship between cerebral tissue oxygen saturation and cerebral blood volume in patients with traumatic brain injury.

**Materials and methods.** Perfusion computed tomography of the brain was performed in 27 patients with traumatic brain injury associated with simultaneous  $\text{SctO}_2$  level measurement using cerebral near-infrared oxymetry. The mean age of the injured persons was (34,5±15,5) years, 14 men, 13 women. The Injury Severity Score (ISS) values were 44,7±8,3 (25–81). The Glasgow Coma Score (GCS) mean value before the study was 10,3±1,9(5–13).

**Results.**  $\text{SctO}_2$  varied between 51 and 89%, mean (62,1±8,3)% (left frontal lobe) and (61,3±5,1)% (right frontal lobe). Cerebral blood volume (CBV) values were (2,3±0,63) ml/100 g, cerebral blood flow (CBF) was (31,7±13,4) ml/100 g×min, mean transit time (MTT) values were (5,3±3,4) s, the time to peak (TTP) was (21,2 ± 2,1) s.

**Conclusions.** Statistically significant correlation of  $\text{SctO}_2$  levels and cerebral blood volume (CBV) levels ( $P < 0,000001$ ) was found. There was no statistically significant correlation between brain tissue oxygenation and other parameters of the brain perfusion.

**Key words:** head injury, cerebral near-infrared oxymetry, perfusion computed tomography.

Received, February 11, 2013. Accepted, March 06, 2013.

**Address for correspondence:** Alexey O. Trofimov, Regional Trauma Center, Nizhniy Novgorod Regional Hospital named after N.A. Semashko, 190 Rodionova St, Nizhniy Novgorod, Russia, 603126, e-mail: xtro7@mail.ru