

УДК 612.135:612.83:612.741.61:616.711.18

А.П. Шеин, Е.Н. Щурова, Г.А. Криворучко

**ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРИМЕДУЛЛЯРНОГО КРОВОТОКА
И ЭМГ-ХАРАКТЕРИСТИК МЫШЦ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У БОЛЬНЫХ
С ПОЗВОНОЧНО-СПИННОМОЗГОВОЙ ТРАВМОЙ**

*ФГУН РНЦ «ВТО» им. академика Г.А. Илизарова Росздрава (Курган)
Курганский филиал Южно-Уральского научного центра РАМН (Курган)*

Цель работы состояла в анализе взаимосвязей показателей локального объемного капиллярного кровотока в перимедуллярных тканях травмированного спинного мозга с ЭМГ-характеристиками сенсомоторного дефицита в системе иннервации нижних конечностей у больных с позвоночно-спинно-мозговой травмой. Работа основана на результатах комплексного клинко-нейрофизиологического обследования 10 больных мужского пола в возрасте от 17 до 46 лет с закрытыми компрессионными переломами позвоночника в грудном, грудопоясничном и поясничном отделах. Показано, что интраоперационно замеренные показатели объемного кровотока перимедуллярной сети в области компрессии спинного мозга пропорциональны интегральным ЭМГ-характеристикам сенсомоторного дефицита, развившегося в результате позвоночно-спинномозговой травмы. Полученные данные дополнительно подчеркивают значимость ишемического компонента в патофизиологии двигательных и чувствительных расстройств у больных с позвоночно-спинномозговой травмой.

Ключевые слова: *позвоночно-спинномозговая травма, спинной мозг, перимедуллярный кровоток, электромиография*

THE RELATIONSHIP BETWEEN THE INDICES OF PERIMEDULLARY BLOOD FLOW AND EMG-CHARACTERISTICS OF LOWER LIMB MUSCLES IN PATIENTS WITH SPINAL CORD INJURY

A.P. Shein, E.N. Shchourova, G.A. Krivorouchko

Federal State Science Institution Russian Ilizarov Scientific Center «Restorative Traumatology and Orthopaedics» of Russian Health Service, Kurgan Kurgan Branch of the South-Ural Scientific Centre of Russian Academy of Medical Sciences, Kurgan

The object of the work consists in analyzing the relationship between the indices of local volumetric capillary blood flow in the perimedullary tissues of the spinal cord injured and EMG-characteristics of the sensorimotor deficit in lower limb innervation system in patients with spinal cord injury. The work is based on the results of the complex clinical-and-neurophysiologic examination of 10 male patients at the age of 17–46 years with closed compression fractures of the thoracic, thoracolumbar and lumbar spine. It is demonstrated that the intraoperative measurements of the volumetric blood flow of the perimedullary network in the site of spinal cord compression are proportional to the integral EMG-characteristics of the sensorimotor deficit which has been developed as a result of the spinal cord trauma. The data obtained further emphasize the significance of the ischemic component in the pathophysiology of motor and sensory disorders in patients with spinal cord injuries.

Key words: spinal cord injury, spinal cord, perimedullary blood flow, electromyography

Известно, что одним из условий регресса функциональной недостаточности различных структур спинного мозга при его травме является восстановление или улучшение регионарного кровообращения в очаге повреждения на уровне микроциркуляторного звена [3, 5]. Ранее, на основании сопоставления данных компьютерной томографии и электронейромиографии, показано, что уровень развившегося после позвоночно-спинномозговой травмы моторного дефицита коррелирует со степенью перекрытия позвоночного канала [6]. Ранняя декомпрессия спинного мозга (СМ) сопровождается ранним восстановлением показателей регионарного кровотока и функциональных характеристик проводниково-сегментарных структур, после сдавления СМ в течение 180 минут реактивной гиперемии не наблюдается, и наступают необратимые изменения в нейронах [8]. Результаты других исследователей [13] свидетельствуют о том, что уже спустя 80 минут после сдавления СМ реактивная гиперемия в ранее компрессируемом участке не регистрируется, а его реперфузия не способствует восстановлению соматосенсорных вызванных потенциалов. Следует отметить, что изучение взаимосвязей микроциркуляторного дефицита и сенсомоторной недостаточности при травматическом повреждении СМ производилось преимущественно на экспериментальных моделях [8–10], что накладывает известные ограничения на применение результатов этих исследований в клинике спинномозговой травмы.

Цель настоящей работы состояла в анализе взаимосвязей показателей локального объемного капиллярного кровотока (ОКК) в перимедулярных тканях травмированного спинного мозга с ЭМГ-характеристиками сенсомоторного дефицита в системе иннервации нижних конечностей у больных с позвоночно-спинномозговой травмой.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Работа основана на результатах комплексного клиничко-нейрофизиологического обследования

10 больных мужского пола в возрасте от 17 до 46 (36 ± 3) лет с закрытыми компрессионными переломами позвоночника в грудном, грудопоясничном и поясничном отделах, прошедших курс оперативного лечения в отделении вертебрологии и нейрохирургии РНЦ «ВТО». Распределение больных по уровню повреждения позвоночника: грудной отдел — 1 больной, грудно-поясничный — 5, поясничный — 4. Срок после травматического повреждения и до оперативного вмешательства варьировал в пределах 2–32 (17 ± 3) дней. Травма позвоночника сопровождалась ушибом и компрессией СМ (5 пациентов), его ишемией (4 пациента), имбибцией кровью (2 пациента), отеком (3 пациента), образованием спаек (5 пациентов), гидромы (2 пациента), дедрита (2 пациента), разрывами твердой мозговой оболочки (3 пациента). Клинический анализ двигательных нарушений показал, что у 5 больных наблюдалась вялая нижняя параплегия, у 4 — нижний вялый парапарез различной степени выраженности, в одном случае двигательные нарушения отсутствовали. У 6 больных были сопутствующие нарушения функции тазовых органов (задержка или недержание мочи и кала). В 9 случаях эстезиометрически определялись нарушения температурно-болевой чувствительности, проявляющиеся в виде повышения ее порогов или полного ее отсутствия (5 больных). Комплексное хирургическое лечение включало открытую декомпрессию СМ из заднего или заднебокового доступов и жесткую фиксацию травмированного участка позвоночника аппаратом наружной транспедикулярной фиксации (НТФП) [4].

При проведении нейрофизиологических исследований использован базовый комплекс взаимодополняющих электронейромиографических методик [1], включающий, в частности, регистрацию и анализ М-ответов (мышцы — *m. tibialis ant.*, *m. extensor dig. br.*, *m. rectus fem.*, *m. gastrocnemius c.l.*, *m. soleus*, *m. flexor dig. br.*; форма раздражающих стимулов — прямоугольная, длительность — 1 мс, интенсивность — супрамаксимальная; спо-

соб отведения — униполярный; анализируемый показатель — амплитуда «от пика до пика»), максимальных Н-рефлексов (мышцы — *m. gastrocnemius c.l.*, *m. soleus*; форма раздражающих стимулов — прямоугольная, длительность — 0,5–1,0 мс, интенсивность — оптимальная для вызова максимального Н-рефлекса; способ отведения — униполярный; анализируемый показатель — амплитуда «от пика до пика») и глобальной ЭМГ (мышцы — *m. tibialis ant.*, *m. gastrocnemius c.l.*, *m. rectus fem.*, *m. biceps fem.*; функциональная проба — «максимальное произвольное напряжение»; тип отведения — биполярный; диаметр электродов — 8 мм, межэлектродное расстояние — 10 мм; анализируемые параметры — частота следования колебаний и средняя амплитуда суммарной ЭМГ, программно рассчитываемые по фрагментам экранных копий МВА-теста). Во всех случаях тестировали левую и правую конечности. Таким образом, общее количество анализируемых признаков в каждом отдельном случае составляло 32. Используемое оборудование: 4-канальная цифровая система ЭМГ и ВП «Viking IV» (Nicolet Biomedical, США). Обследования проводились до операции, через 1 месяц после операции, за 1–3 дня перед снятием аппарата НТФП (этот срок соответствовал завершению пребывания больного в стационаре).

Капиллярный кровоток оболочек СМ исследовали интраоперационно (во время открытой декомпрессии СМ из заднего и заднебокового доступов, после ламинэктомии и вскрытия позвоночного канала) на трех уровнях: проксимальнее зоны поражения, в зоне поражения, дистальнее зоны поражения, располагая интраоперационный датчик над дуральным мешком до и после декомпрессии. Использован лазерный доплеровский флоуметр BLF-21 (Transonic Systems, США), оборудованный интраоперационным игольчатым датчиком (тип № 18) с диаметром иглы 1,2 мм. Метод лазерной доплеровской флоуметрии позволяет измерить капиллярный кровоток в объеме ткани 1–1,5 мм³. В наших исследованиях, при анализе состояния оболочек СМ замеряли кровоток всей толщины оболочек (в большей степени пиальной сети) [7]. Таким образом, исследование регионарного кровотока СМ человека в рамках настоящего исследования сводилось к оценке ОКК перимедуллярной сосудистой системы.

В качестве контроля использованы данные 30 здоровых испытуемых в возрасте от 17 до 22 лет. Количественная оценка взаимосвязи анализируемых признаков производилась с помощью коэффициентов линейной корреляции Пирсона, а оценка достоверности различия средних — с помощью непараметрических критериев (W- и T-критериев Вилкоксона для независимых и попарно сопоставленных выборок показателей).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С целью проверки гипотезы о взаимосвязи показателей регионарного кровотока и посттрав-

матической функциональной недостаточности различных нейронных структур СМ произведена аналитическая обработка всей совокупности ЭМГ-характеристик произвольной и вызванной биоэлектрической активности мышц, зарегистрированных на указанных этапах лечения каждого больного, с последующим ее преобразованием («сверткой») в три интегральных критерия, количественно отражающих степень моторного дефицита в нейронных системах СМ, участвующих в генерации суммарной ЭМГ ($Q_{ЭМГ}$), моносинаптических рефлексов (Н-рефлекс) ($Q_{Н-рефл}$) и вызванных стимуляцией периферических нервов потенциалов мышц (М-ответов) ($Q_{М-отв}$). Интегральный показатель моторного дефицита, рассчитанный по всей совокупности ЭМГ-признаков обозначен как $Q_{общ}$. Ниже приведена схема расчета соответствующих Q -критериев.

В зависимости от выраженности моторного дефицита, т.е. степени отклонения от нормы (% от контрольных величин), каждый анализируемый признак (X) оценивался по четырехбалльной шкале (табл. 1).

Таблица 1
Система формирования балльной оценки уровня сенсомоторного дефицита у больных с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы

% от нормы	Балл
$90 < X \leq 100$	0
$60 < X \leq 90$	1
$30 < X \leq 60$	2
$0 \leq X \leq 30$	3

Далее производилось усреднение полученного таким образом балльного показателя по совокупности признаков, привлеченных к описанию суммарной ЭМГ, М-ответов и Н-рефлексов. Из приведенного в разделе «Материал и методы» перечня анализируемых признаков, включающего в себя 32 показателя, следует, что расчет $Q_{ЭМГ}$ производился по 16-ти признакам, $Q_{М-отв}$ — по 12-ти, а $Q_{Н-рефл}$ — по 4-м. Если полученное значение Q удовлетворяло условиям $0,0 \leq Q \leq 0,3$, то уровень моторного дефицита (степень поражения) соответствовал норме («отсутствие поражения»); $0,3 < Q \leq 1,2$ — поражение легкой степени; $1,2 < Q \leq 2,1$ — средней; $2,1 < Q \leq 3,0$ — тяжелой. Как уже ранее отмечалось, расчет $Q_{общ}$ производился по всей совокупности анализируемых признаков ($n = 32$).

Результаты оценки взаимосвязи (коэффициенты корреляции Пирсона) показателей объемного капиллярного кровотока оболочек спинного мозга, замеренных до его декомпрессии и Q -характеристик развившегося после позвоночно-спинномозговой травмы моторного дефицита, рассчитанных по результатам комплексного дооперационного нейрофизиологического тестирования больных представлены в таблице 2.

Таблица 2

Оценки взаимосвязи (коэффициенты линейной корреляции Пирсона) показателей объемного капиллярного кровотока оболочек спинного мозга, замеренных до его декомпрессии, и Q-характеристик моторного дефицита в системе нижних конечностей, рассчитанных по результатам комплексного дооперационного нейрофизиологического тестирования

	ОКК _{ЗК}	ОКК _{ПЗ}	ОКК _{ДЗ}	Q _{ЭМГ}	Q _{М-оте.}	Q _{Н-рефл.}	Q _{общ.}
ОКК _{ЗК}	1						
ОКК _{ПЗ}	0,741*	1					
ОКК _{ДЗ}	0,442	0,583	1				
Q _{ЭМГ}	-0,893*	-0,514	-0,414	1			
Q _{М-оте.}	-0,463	-0,063	-0,117	0,715*	1		
Q _{Н-рефл.}	-0,862*	-0,667*	-0,398	0,902*	0,612	1	
Q _{общ.}	-0,801*	-0,402	-0,319	0,959*	0,875*	0,883*	1

Примечание: * – статистически достоверные значения коэффициентов корреляции Пирсона ($P < 0,05$).

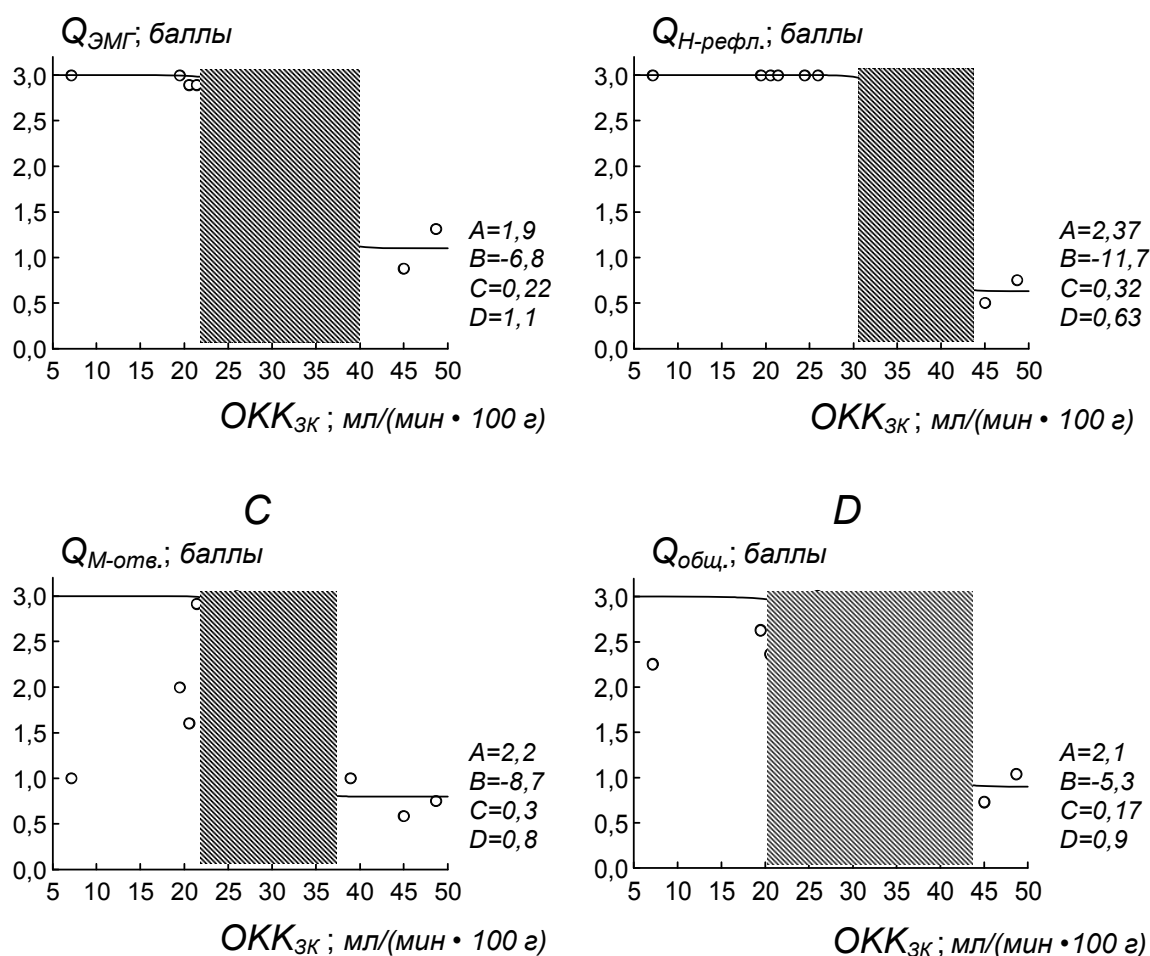


Рис. 1. Взаимосвязь дооперационно рассчитанных интегральных показателей моторного дефицита (Q) и интраоперационно замеренных величин объемного капиллярного кровотока оболочек спинного мозга (ОКК) в зоне компрессии у больных с позвоночно-спинномозговой травмой.

Из таблицы 2 следует, что объемный кровоток в зоне компрессии ($OKK_{ЗК}$) отчетливо коррелирует ($r = 0,741$; $P < 0,05$) с кровотоком в смежном проксимально расположенном сегменте СМ ($OKK_{ПЗ}$) и слабо коррелирует ($r = 0,441$; $P > 0,05$) с кровотоком в смежном дистально расположенном сегменте СМ ($OKK_{ДЗ}$), что свидетельствует о

некоторой посттравматической разобщенности микроциркуляторных бассейнов пораженного и нижерасположенного участков СМ. Кроме того по результатам измерения $OKK_{ЗК}$ до декомпрессии выявлена статистически значимая отрицательная взаимосвязь с $Q_{ЭМГ}$ ($r = -0,893$; $P < 0,05$), $Q_{Н-рефл.}$ ($r = -0,862$; $P < 0,05$) и $Q_{общ.}$ ($r = -0,862$; $P < 0,05$).

Интерпретируя полученные данные следует иметь в виду, что $Q_{ЭМГ}$ являются интегральной характеристикой дефицита проводниково-интегративной функции СМ и одновременно функционального состояния периферической части ДЕ. Что касается взаимосвязи $ОКК_{ЗК}$ и $Q_{Н-рефл}$, то центральная часть дуги Н-рефлекса, как и первичные афференты мышечных веретен, входящие в состав периферических нервов [11, 12], оказались более чувствительны к снижению $ОКК$, чем спинальные эфферентные структуры (периферические элементы пирамидного тракта и спинальные мотонейроны).

Для описания взаимосвязи интраоперационно замеренных величин объемного капиллярного кровотока оболочек спинного мозга в зоне компрессии с рассчитанными дооперационно интегральными показателями моторного дефицита использована логистическая функция вида

$$y = \frac{A}{1 + 10^{B+Cx}} + D,$$

где в качестве независимой переменной (x) выступают величины $ОКК_{ЗК}$, а в качестве зависимой (y) — значения $Q_{ЭМГ}$, $Q_{Н-рефл}$, $Q_{М-отв}$ и $Q_{общ}$. Алгоритм расчета параметров A , B , C и D приведен, в частности, в руководстве Н.А. Плохинского [2]. Из графиков, приведенных на рисунке 1 видно, что верхняя точка перегиба логистической кривой соответствует $ОКК_{ЗК} = 22 - 30$ мл/(мин $\times$ 100 г). Иными словами уровень объемного капиллярного кровотока 22 мл/(мин $\times$ 100 г), можно обозначить как критический, ниже которого функционирование сегментарно-проводниковых структур СМ фактически прекращается.

Из таблицы 2 и рисунка 1С следует, что взаимосвязь между $ОКК_{ЗК}$ и $Q_{М-отв}$ относительно невелика ($r = -0,463$; $P > 0,05$). Этот факт объясняется тем, что при ишемическом поражении сегментарных мотонейронов величина $Q_{М-отв}$ определяется степенью завершенности (или незавер-

шенности) денервационно-реиннервационных изменений в периферических структурах двигательных единиц (ДЕ) и является достаточно инерционным показателем, не жестко отслеживающим текущие изменения капиллярного кровотока на сегментарном уровне.

Следствием устранения фактора компрессии СМ фрагментами поврежденного позвонка является увеличение $ОКК_{ЗК}$ в среднем на 28,1 %, а $ОКК_{ДЗК}$ — на 8,5 %. Из рисунка 2 видно, что до декомпрессии СМ $ОКК_{ЗК}$ был ниже $ОКК_{ПЗК}$ в среднем на 30,5 % ($P < 0,05$). После декомпрессии СМ наблюдалась отчетливая тенденция к выравниванию показателей $ОКК_{ЗК}$, $ОКК_{ПЗК}$ и $ОКК_{ДЗК}$ сопровождаемому возникновением выраженной положительной взаимосвязи между $ОКК_{ЗК}$, с одной стороны, и значениями $ОКК_{ПЗК}$ ($r = 0,859$; $P < 0,05$) и $ОКК_{ДЗК}$ ($r = 0,950$; $P < 0,05$) с другой (см. табл. 3). Результаты ЭМГ-обследования, полученные спустя 1 месяц после декомпрессии подтвердили мнение о том, что динамика показателя), $Q_{Н-рефл}$ действительно может рассматриваться в качестве характеристики, наиболее чувствительной к изменениям текущих значений корешково-сегментарного кровотока, предположительно коррелирующего с $ОКК$ перимедуллярных структур. В частности, представленный в таблице 3 коэффициент корреляции между $ОКК_{ЗК}$ и $Q_{Н-рефл}$ составил $-0,857$ ($P < 0,05$), тогда как взаимосвязь между $ОКК_{ЗК}$ и другими показателями, в частности с $Q_{ЭМГ}$ ($r = -0,546$; $P > 0,05$), оказалась значительно меньшей и статистически не значимой.

Есть основания полагать, что декомпрессия СМ задает некоторый определенный уровень фонового кровотока в поврежденном участке СМ, который впоследствии, по прошествии определенного времени, приходит в соответствие с уровнем выхода на плато такого достаточно «инерционного» показателя, как $Q_{М-отв}$. Последний фактически отражает число функционирующих ДЕ. Действительно, как показано в

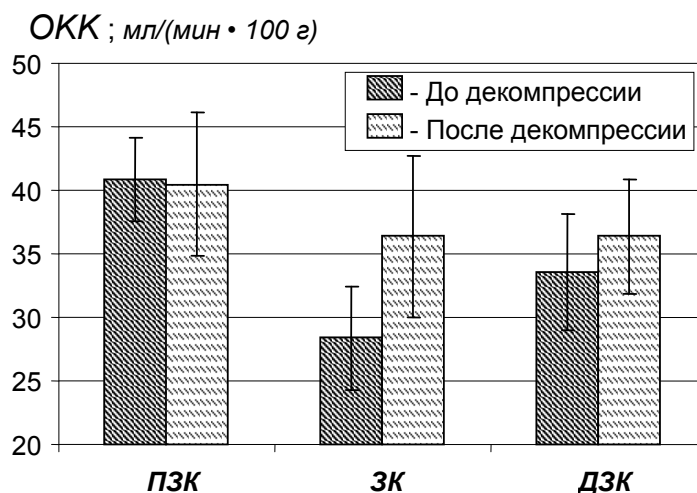


Рис. 2. Средние величины ($M \pm m$) интраоперационно замеренного объемного капиллярного кровотока ($ОКК$) оболочек спинного мозга в зоне его компрессии фрагментами позвонка (ЗК), а также проксимальнее (ПЗК) и дистальнее (ДЗК) указанной зоны до и после декомпрессии.

Таблица 3

Оценки взаимосвязи (коэффициенты линейной корреляции Пирсона) показателей объемного капиллярного кровотока оболочек спинного мозга, замеренных после его декомпрессии, и Q-характеристик моторного дефицита в системе нижних конечностей, рассчитанных по результатам комплексного нейрофизиологического тестирования, проведенного спустя один месяц после оперативного вмешательства

	ОКК _{ЗК}	ОКК _{ПЗ}	ОКК _{ДЗ}	Q _{ЭМГ}	Q _{М-отв.}	Q _{Н-рефл.}	Q _{общ.}
ОКК _{ЗК}	1						
ОКК _{ПЗ}	0,859*	1					
ОКК _{ДЗ}	0,950*	0,856*	1				
Q _{ЭМГ}	-0,546	-0,292	-0,285	1			
Q _{М-отв.}	-0,612	-0,545	-0,403	0,845	1		
Q _{Н-рефл.}	-0,857*	-0,903*	-0,793*	0,552	0,695*	1	
Q _{общ.}	-0,652*	-0,481	-0,413	0,967*	0,944*	0,703*	1

Примечание: * – статистически достоверные значения коэффициентов корреляции Пирсона ($P < 0,05$).

таблице 3, измеренный непосредственно после декомпрессии ОКК_{ЗК} еще недостаточно коррелирует с Q_{М-отв.}, рассчитанным спустя 1 месяц после декомпрессии СМ ($r = -0,612$; $P > 0,05$), но хорошо коррелирует с Q_{М-отв.}, рассчитанным по результатам обследования больных, произведенных перед снятием аппарата НТФП ($r = -0,739$; $P < 0,05$).

Таким образом, результаты проведенных исследований позволили количественно и в динамике описать взаимосвязь показателей объемного кровотока перимедулярной сети спинного мозга в области его компрессии с интегральными нейрофизиологическими характеристиками сенсомоторного дефицита в системе нижних конечностей. Полученные данные в целом подтверждают результаты ранее проведенных исследований [6], основанных на сопоставлении показателей перимедулярного кровотока в области компрессии СМ с результатами измерения силы мышц нижних конечностей, и дополнительно подчеркивают значимость ишемического компонента в патофизиологии двигательных и чувствительных расстройств у больных с позвоночно-спинномозговой травмой.

ВЫВОДЫ

1. Интраоперационно замеренные показатели объемного кровотока перимедулярной сети в области компрессии спинного мозга коррелируют с интегральными ЭМГ-характеристиками сенсомоторного дефицита, развившегося в результате позвоночно-спинномозговой травмы.

2. Наибольшей чувствительностью к ишемии характеризуется величина максимального Н-рефлекса, ишемический порог угнетения которого по данным интраоперационно измеренного объемного кровотока перимедулярной сети до и после декомпрессии спинного мозга составляет 22 мл/(мин × 100 г).

ЛИТЕРАТУРА

1. Нейрофизиологические и клинические аспекты реактивности и резистентности спинномоз-

говых структур у больных с закрытыми повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника / А.П. Шеин, Г.А. Криворучко, Н.А. Чухарева, С.В. Люлин // Вестник РАМН. – 2000. – № 2. – С. 35 – 41.

2. Плохинский Н.А. Биометрия / Н.А. Плохинский. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 367 с.

3. Травма спинного мозга: современные представления о механизмах повреждения, регенерации и путях их коррекции / Л.Н. Грищенко, Ф.В. Олешкевич, Л.Н. Семейко, О.И. Дулуб // Вопросы нейрохирургии. – 1997. – № 2. – С. 37 – 44.

4. Шевцов В.И. Наружная транспедикулярная фиксация при лечении больных с переломами грудного и поясничного отделов позвоночника / В.И. Шевцов, А.Т. Худяев, С.В. Люлин. – Курган, 2003. – 207 с.

5. Щурова Е.Н. Влияние резервов микроциркуляции на функциональное восстановление в спинном мозге при травматическом повреждении / Е.Н. Щурова, А.Т. Худяев // Физиология человека. – 2004. – № 4. – С. 54 – 61.

6. ЭМГ- и КТ-корреляты посттравматической компрессии спинномозговых структур у больных с закрытыми повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника / А.П. Шеин, Г.А. Криворучко, Н.А. Чухарева, П.В. Нецветов // Актуальные вопросы и перспективы развития многопрофильного лечебного учреждения: Тез. докл. Всерос. научн. конф. – Шиханы, 2001. – С. 409 – 411.

7. Corbin J.L. Anatomie et pathologie arterielles de la moelle / J.L. Corbin. – Paris, 1961. – 317 p.

8. Early time-dependent decompression for spinal cord injury: vascular mechanisms of recovery / G.D. Carlson et al. // J. Neurotrauma. – 1997. – Vol. 14, N 12. – P. 951 – 962.

9. Experimental study of acute spinal cord injury: a study of spinal blood flow / K. Kawata et al. // No Shinkei Geka. – 1993. – Vol. 21, N 3. – P. 239 – 245.

10. Holtz A. Relation between spinal cord blood flow and functional recovery after blocking weight-induced spinal cord injury in rats / A. Holtz, B. Nystrom, B. Gerdin // *Neurosurgery*. — 1990. — Vol. 26, N. 6. — P. 952–957.
11. Magladery J.W. // *Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man. III. The post-ischemic state* / J.W. Magladery, D.B. McDougal Jr., J. Stoll // *Bull. Johns Hopkins Hosp.* — 1950. — Vol. 86, N 5. — P. 313–340.
12. Soleus H-reflex to S1 nerve root stimulation / Y. Zhu et al. // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* — 1998. — Vol. 109, N 1. — P. 10–14.
13. Spinal cord blood flow in response to focal compression / P.W. Hitchon et al. // *J. Spinal Disord.* — 1990. — Vol. 3, N 3. — P. 210–219.