

**От редакции**

Контроль внутричерепного давления и его компонентов составляют наиболее продуктивную доктрину современной интенсивной терапии. Существует множество способов регистрации и мониторинга этого показателя, но большая часть их трудоемка и имеет высокую стоимость. Авторы в ходе многолетнего поиска вышли на довольно простой и доступный способ контроля не только внутричерепного давления, но и краниоспинального комплайенса, который мог бы стать рутинным в практике неотложной неврологии.

## Сравнительная оценка доступных методик измерения внутричерепного давления

Д. С. Доманский, А. А. Белкин, Б. Д. Зислин

Клиника нервных болезней и нейрохирургии Уральской государственной академии

**Резюме**

Высокая точность измерения ВЧД, практически не отличающаяся от точности инвазивных методов, меньшая инвазивность, не требующая вмешательства на черепной коробке, возможность использования в неспециализированных отделениях, все это является несомненными достоинствами данной методики. Единственный ее недостаток состоит в невозможности измерения ВЧД в случаях спинального блока, что по нашим данным встречается не часто. Метод спинальной манометрии может быть рекомендован для широкого использования в неспециализированной РАО для оценки степени выраженности уровня внутричерепной гипертензии. Протокол мониторинга больного с церебральным повреждением, помимо инвазивного определения ВЧД и КСК, должен включать контроль церебральной гемодинамики, используя для этого наиболее информативные показатели транскраниальной доплерографии: скорость, индекс резистивности, коэффициент овершута [2]. Метод СИМ является доступным методом диагностики реализации первого этапа системы церебральной защиты, что не маловажно для оценки эффективности противоотечной терапии и ведения больных с прогрессирующей церебральной недостаточностью.

В основе мониторинга и исследований показателей церебрального гомеостаза лежит модель прогрессирования отека головного мозга, построенная на взаимосвязи между компонентами (мозг, кровь, спинномозговая жидкость) и ригидной черепной коробки. Сущность связи основана на фундаментальной концепции Монро-Келли и состоит в том, что на всякое увеличение одного из компонентов системы пропорционально уменьшается объем другого, что обеспечивает постоянство ВЧД. По данным наших исследований, можно предположить, что существует несколько взаимосвязанных этапов компенсации, которые начинают свою реализацию по мере исчерпания резервов предшествующих механизмов системы церебральной защиты (СЦЗ).

Первый этап характеризуется достоверным увеличением (выше нормы) краниоспинального комплайенса (КСК) за счет резорбции ликвора и параметров ауторегуляции мозгового кровотока, отражающих повышение сопротивления пиальных сосудов, что приводит к ограничению перфузии мозга. В результате этого увеличивается податливость (комплаинс) внутричерепного содержимого, что и препятствует повышению внутричерепного давления. Оно остается в пределах нормальных величин (<15 мм Нг). Таким образом, на первом этапе реализации СЦЗ в предупреждении церебральной гипертензии принимают участие как КСК, так и сосудистый комплаинс.

При дальнейшем прогрессировании внутримозгового процесса (2 этап СЦЗ) отмечается снижение КСК до нормальных величин, а также уменьшение церебрального перфузионного давления (ЦПД), без заметной реакции параметров сосудистого комплайенса (КО, Pi, Ri). Уменьшение КСК и ЦПД, ограничивающее кровенаполнение мозга, препятствуют прогрессирующему снижению податливости внутричерепного содержимого, однако уже не могут полностью предупредить возникновение внут-

Д. В. Доманский — врач анестезиолог-реаниматолог РАО 3 ГКБ № 40;

А. А. Белкин — д. м. н., проф. каф. нервных болезней и нейрохирургии УГМА; Дир. Клинического ин-та Мозга Средне-Уральского Научного Центра РАМН; Зам. гл. врача ГКБ № 40 по неврологии и нейрохирургии, Главный невролог г. Екатеринбурга;

Б. Д. Зислин — д. м. н., зам. главного врача Клинического института мозга СУНЦ РАМН.

Таблица 1. Распределение исследований в зависимости от этиопатогенетического фактора

Вид	Количество больных	Число исследований
Субарахноидальное кровоизлияние	7	14
Внутричерепное кровоизлияние	13	26
Опухоль	3	9
Черепно-мозговая травма	5	15
Итого	28	64

ричерепной гипертензии. ВЧД стабилизируется на умеренном уровне, составляющем 15-25 мм Нг. Об относительной стабилизации ВЧД на этом этапе можно судить по отсутствию реакции со стороны ауторегуляции мозгового кровотока в ответ на снижение ЦПД, указывающее на соответствие мозгового кровотока метаболическим потребностям мозга.

Дальнейшее прогрессирование внутричерепного процесса сопровождается серьезными сдвигами в системе церебральной защиты (3 этап). Расходуется резерв краниоспинального комплайнса (величина этого параметра снижается до предельного уровня). Несмотря на повышение среднего артериального давления, церебральная перфузия не улучшается (ЦПД остается на прежнем уровне). Адекватная церебральная гемодинамика поддерживается только за счет включения ауторегуляции мозгового кровотока (снижение КО). Снижение резерва дилатации предупреждает повышение сопротивления пиальных сосудов (Рi и Ri достоверно не увеличиваются), препятствуя, тем самым, уменьшению церебральной перфузии и возникновению ишемии. Система церебральной защиты предупреждает галопирующее нарастание внутричерепного давления, удерживая его на уровне 25-35 мм Нг.

Четвертый этап характеризуется отсутствием изменений в величинах краниоспинального

и сосудистого комплайнса, что указывает на полностью исчерпанные их компенсаторные возможности еще на предыдущем этапе. Отмечается достоверное увеличение периферического сопротивления пиальных сосудов мозга (Рi и Ri), которое связано уже с экстравазальными влияниями (нарастающий отек мозга). Предельно снижается церебральное перфузионное давление, что в условиях повышенного сосудистого сопротивления обуславливает нарастающую ишемию мозга.

Приведенные данные указывают на высокую актуальность проблемы оценки внутричерепного давления как интегрального показателя системы церебральной защиты.

## Материалы и методы

Существует множество методов регистрации ВЧД и КСК. Из инвазивных наиболее часто используется методы прямого измерения давления в желудочках мозга, эпидуральных или субарахноидальных полостях черепа. В настоящее время наша клиника располагает четырьмя методами: комплайнс-монитор Spiegelberg, методика спинальной инвазивной манометрии тонометром низких давлений ИИНД 500/75 «Тритон», метод вентрикулярной инвазивной манометрии тонометром низких давлений ИИНД 500/75 «Тритон» и расчет ВЧД, основанный на анализе скоростей мозгового кровотока (ТК УЗДГ).

### 1. Комплайнс-монитор Spiegelberg

Методом выбора мониторинга церебрального статуса является монитор комплайнса Шпигельберга. Комплайнс-монитор совместно с монитором ВЧД образует систему мониторинга краниоспинального комплайнса (AESCULAP). Комплайнс-монитор управляет монитором ВЧД, посылая ему сигнал на ввод дополнительного объема воздуха (0,2 см<sup>3</sup>) каждые 5 секунд в воздушный баллончик Зонда 3 или Зонда 3 XL и удаление его спустя 2,5 секунды. Повторный ввод-вывод воздуха и усреднение полученных значений давления по-

Таблица 2. Сравнение данных о ВЧД, полученных с помощью инвазивной и неинвазивной методик

Величина ВЧД мм Нг		Сенсор «Codman»	Транскраниальная доплерография			
			I	отклонение*	II	отклонение*
<15	n=7	12,57±0,65	14,4±3,10 r=-0,4 (P=0,3)	1,83	7,57±0,68 r=-0,2 (P=0,6)	5,00
15-25	n=16	19,75±0,67	7,81±2,50 r=-0,24 (P=0,4)	11,94	6,56±0,5 r= 0,4 (P=0,2)	13,19
>25	n=5	32,00±2,10	9,20±5,40 r= 0,30 (P=0,06)	22,8	6,2±1,2 r= 0,15 (P=0,06)	25,80
Весь массив	n=28	20,14±1,30	9,71±1,90 r=-0,19 (P=0,2)	10,43	6,75±0,40 r=-0,08 (P=0,6)	13,39

Примечание. I – Расчет ВЧД по R. Aaslid.

II – Расчет ВЧД по A. Razumovsky.

\* – Отклонение средних величин ВЧД в сравнении с методом «Codman»

зволяет зафиксировать даже небольшие изменения давления. Комплаинс вычисляется на основе 200 циклов. Дополнительно вычисляется индекс давление-объем (PVI). Комплаинс-монитор измеряет артериальное кровяное давление (АД) и ВЧД, вычисляет средние значения и отображает их на цифровом дисплее. Кроме того, вычисляется и отображается церебральное перфузионное давление (ЦПД). Для АД, ВЧД, ЦПД, комплаинса и PVI программно вводятся верхние и нижние пороги тревоги. Вся информация может регистрироваться графически в непрерывном или дискретном режиме. Необходимые сигналы можно снять с выходов графического регистратора и монитора пациента. Через интерфейс RS 232 давление может быть подано на компьютер. Карта памяти комплаинс-монитора может хранить информацию, полученную в течение 18 рабочих часов. Сохраненные данные могут быть воспроизведены с различной скоростью для проведения дополнительного анализа системы с применением инвазивных интрапаренхиматозных датчиков (фото 1 на цветной вкладке).

## 2. Методика спинальной инвазивной манометрии тонометром низких давлений ИиНД 500/75 «Тритон»

Более широко в наших исследованиях представлена методика спинальной инвазивной манометрии (СИМ). Оценка возможностей компенсации краниоспинального содержимого при нарастании ВЧД проводилась на основании определения значения краниоспинального комплаинса. После люмбальной пункции на уровне L<sub>3</sub>-L<sub>4</sub> к павильону иглы (диаметр не менее 16G) через трехходовой кран и стандартную магистраль для внутривенных инфузий (ДШВ) подсоединяется прибор ИиНД 500/75. Тонометру передаются колебания воздушного столба подсоединенной магистрали, что позволяет исключить потери ликвора на ее заполнение. После пункции, ликвородинамическими классическими компрессионными пробами (Квеккенштедта, Стуккея), определяется проходимость ликворных путей и правильность расположения иглы. Фиксируется внутричерепное давление (P) в миллиметрах водяного или ртутного столба (фото 2 на цветной вкладке).

**Методика определения краниоспинального комплаинса состоит в следующем:**

1. пункция субарахноидального пространства;
2. измерение давления ликвора (P<sub>0</sub>);
3. проведение пробы на проходимость субарахноидального пространства (надавливание на живот в течение 30 секунд или наклон головы вперед);

4. при отрицательном тесте (увеличение давления) при значения P<sub>0</sub> > 8 мм рт. ст. выпускается определенный объем ликвора, при значении P<sub>0</sub> < 8 мм рт. ст. добавляется физиологический раствор (1-3 мл);

5. повторная манометрия для определения конечного внутричерепного давления (P<sub>x</sub>) и расчет краниоспинального комплаинса.

Краниоспинальный комплаинс рассчитывался по формулам A.Marmouq [3] и регистрировался на основании данных СИМ:

$$Cc = 0,4343 \times PVI / P_0$$

$$PVI = V / \log P_x / P_0$$

Норма: PVI = 33,0 + 2,8 мл

Cc = 1,1 + 0,12 мл/мм рт. ст.

где: PVI — индекс «давление-объем»;

P<sub>0</sub> — начальное давление после пункции субарахноидального пространства по методике СИМ;

P<sub>x</sub> — конечное ликворное давление, после эвакуации определенного объема ликвора или введения физиологического раствора по методике СИМ.

С помощью манометра ИиНД можно также зарегистрировать динамику краниоспинального комплаинса.

## 3. Методика вентрикулярной инвазивной манометрии тонометром низких давлений ИиНД 500/75 «Тритон»

Методика основывается на методе выполнения спинальной инвазивной манометрии тонометром низких давлений ИиНД 500/75 «Тритон». Только регистрация ВЧД осуществляется через интавентрикулярно установленный дренаж по Арендту, к которому присоединен трехходовый кран. Дальнейшие манипуляции для исследования ВЧД и КСК схожи по своим исполнениям с проведением СИМ. Преимущества вентрикулярной манометрии состоит в том, что в режиме реального времени мы можем реагировать на повышение ВЧД путем одномоментной эвакуации ликвора до нормальных показателей ВЧД (фото 3 на цветной вкладке).

## 4. Транскраниальная ультразвуковая доплерография

Среди неинвазивных методик наибольшего распространения получили расчетные способы, основанные на ТКДГ (фото 4 на цветной вкладке).

Существуют следующие формулы расчета ВЧД:

1. по R. Aaslid [1] ВЧД =

$$AD_{cp} - (1,1 AD_{сист.} \times V_m / V_s - 5), \text{ где:}$$

2. по A. Razumovsky [2]

$$ВЧД = AD_{cp} \times 10 Ri / V_m$$

Рисунок 1. Корреляции прямой манометрии с расчетом по формуле R. Aaslid

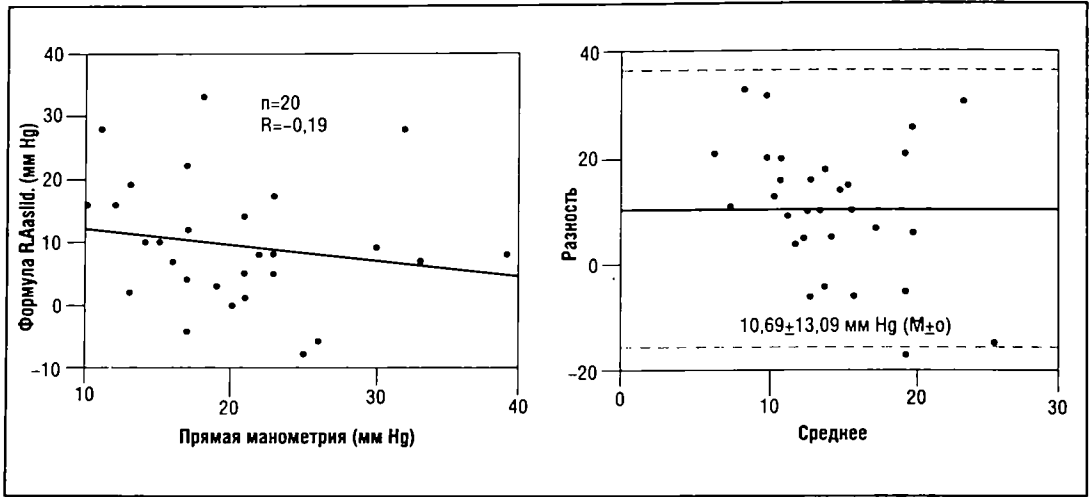


Рисунок 2. Корреляции прямой манометрии с расчетом по формуле A. Razumovsky

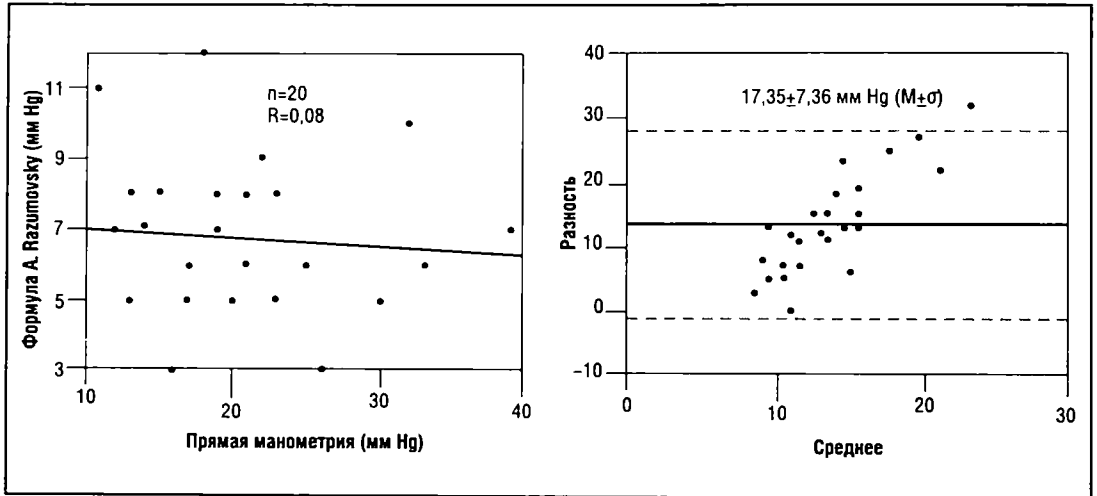


Рисунок 3. Корреляции инвазивных методов регистрации ВЧД

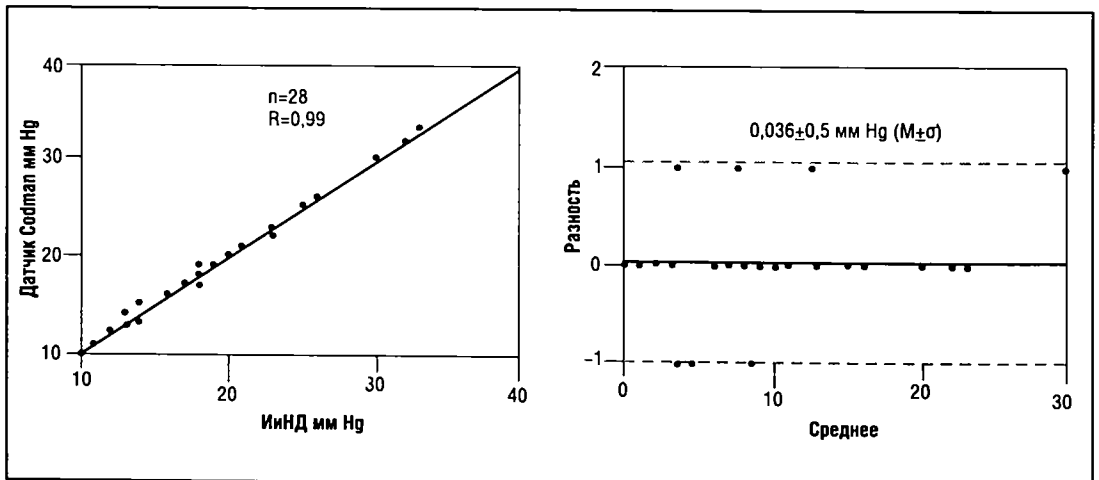


Таблица 3. Изменения параметров мозгового кровотока при различном уровне ВЧД

Уровень ВЧД мм Нг			Допплерографические параметры		
			КО	Pi	Ri
<15	n=92	11,52±0,230	1,16±0,006	0,91±0,020	0,56±0,008
15-25	n=142	19,45±0,270	1,17±0,006	0,89±0,020	0,54±0,008
P <sub>1</sub>		=0,000	-	-	-
26-35	n=43	30,3±0,450	1,13±0,010	0,97±0,040	0,57±0,020
P <sub>1</sub>		=0,000	=0,008	-	-
P <sub>2</sub>		=0,000	=0,001	-	-
>35	n=12	37,45±0,450	1,09±0,020	1,23±0,050	0,74±0,020
P <sub>1</sub>		=0,000	=0,000	=0,000	=0,000
P <sub>2</sub>		=0,000	=0,000	=0,000	=0,000
P <sub>3</sub>		=0,000	-	=0,000	=0,000
Весь массив n=289		19,29±0,450	0,17±0,004	0,91±0,010	0,55±0,009

Примечание. P<sub>1</sub> — различия с ВЧД <15 мм Нг;  
P<sub>2</sub> — различия с ВЧД 15-25 мм Нг;  
P<sub>3</sub> — различия с ВЧД 26-35 мм Нг

Следует отметить, что из выше перечисленных методов, более широкое применение в нашей клинике получила СИМ, ввиду достаточной простоты техники выполнения, минимизации различных осложнений, таких как, прогрессирование дислокационного синдрома, инфекционных осложнений. Все исследования также основываются на методе СИМ, на выявлении корреляций с другими методами диагностики ВЧД.

### Обсуждение результатов

Поскольку регистрация ВЧД с помощью ТКДГ считается полуколичественным методом, представлялось важным выяснить степень соответствия расчетов ВЧД по доплерографической методике истинным величинам, полученным прямым измерением внутричерепного давления субдуральным датчиком фирмы Codman, введенным в полость черепа через трепанационное отверстие. Сравнительное исследование ВЧД было проведено 28 больным в возрасте 47,8±1,3 л. (табл. 1). По этиологии заболевания больные распределились следующим образом: опухоль — 3, внутримозговая гематома — 13, субарахноидальное кровоизлияние — 7, черепно-мозговая травма — 5.

Данные сравнительного исследования ВЧД инвазивным и доплерографическим методами представлены в табл. 2 и рис. 1 и 2.

Материалы, представленные в табл. 2 и на рис. 1 и 2 свидетельствуют о том, что величины ВЧД, полученные расчетным способом при ТКДГ существенно отличаются от величин, зарегистрированных инвазивным методом.

Особенно большие расхождения в величинах ВЧД отмечаются в условиях церебральной гипертензии. При ВЧД, превышающем 25 мм Нг, доплерографический метод расчета ВЧД

занижает этот показатель более чем на 22-25 мм Нг. (81-71%).

Полученные нами результаты сравнения инвазивной и неинвазивной методик регистрации ВЧД, позволяют утверждать, что определение ВЧД доплерографическим способом некорректно, и не может быть использовано ни в научных, ни в практических целях.

Между тем, в нашем распоряжении имеются материалы, позволяющие констатировать, что доплерографические параметры, отражающие церебральное кровообращение, такие как, резерв дилатации (КО) и сопротивление сосудов пиаально-капиллярного бассейна (Pi, Ri), все же реагируют на повышение внутричерепного давления (табл. 3).

Материалы табл. 3 свидетельствуют, что при ВЧД, превышающем 25 мм Нг, достоверно снижается резерв дилатации (КО), а при ВЧД более 35 мм Нг, повышаются параметры Pi и Ri, указывающие на существенное, более чем на 30%, увеличение периферического сосудистого сопротивления.

Таким образом, можно констатировать, что с помощью ТКДГ удастся зарегистрировать выраженную внутричерепную гипертензию при ВЧД, превышающем 25 мм Нг.

Приведенные выше данные позволяют считать, что хотя доплерографическая методика и не позволяет определить величину ВЧД, она все же может быть использована для диагностики выраженной внутричерепной гипертензии и динамического наблюдения за тенденцией в изменениях данного показателя.

Остается нерешенным вопрос о достоверной регистрации внутричерепного давления. Использование таких инвазивных методов измерения ВЧД как применены вентрикулостомии, эпидуральных ботов, интрапаренхиматозных датчиков, фиброоптических систем и др.

Таблица 4. Сравнение данных о ВЧД, полученных с помощью инвазивных методик

Величина ВЧД мм Нг (M±σ)		Вид прибора		Разница мм Нг	R
		ИиНД 500/75	фирма «Codman»		
<15	n=6	12,17±1,47	12,17±1,47	0,00	0,910 (P=0,001)
15-25	n=17	19,47±2,97	19,47±2,84	0±0,46	0,986 (P=0,000)
>25	n=5	32,20±5,14	32,0±4,70	0,2±0,45	0,999 (P=0,000)
Весь массив	n=28	20,18±6,88	20,14±6,88	0,036±0,47	0,998 (P=0,000)

ограничивается только специализированными центрами и то по строгим показаниям. В реанимационных отделениях общего профиля из-за значительной инвазивности этих методик их использование нецелесообразно.

Между тем, именно в этих отделениях, нередко лишенных возможности применения специальные методы неврологического мониторинга, контроль уровня ВЧД крайне необходим, т.к. является единственным объективным методом мониторинга внутричерепной гипертензии.

Это побудило нас к поиску менее инвазивных методик регистрации ВЧД.

Решить данный вопрос удалось с помощью, апробированного нами малогабаритного прибора ИиНД 500/75, разработанного в фирме Тритон электроникс (Екатеринбург). Этот прибор представляет собой малогабаритный (помещается в кармане медицинского халата) высоко точный манометр.

#### Сравнительная оценка измерения ВЧД манометром ИиНД 500/75 «Тритон» и сенсором Godman

Для того, чтобы убедиться в корректности регистрации ВЧД этим прибором, мы провели специальное сравнительное исследование регистрации ВЧД данным прибором и субдуральным датчиком фирмы «Codman» у 28 больных с острой церебральной недостаточностью (табл. 4, рис. 3).

Результаты исследования, представленные в табл. 4 и на рис. 3, свидетельствуют о том, что независимо от уровня ВЧД, различия в показателях не превышали 0,2 мм рт. ст., а на всем массиве составляли 0,04 мм рт. ст. Незначительная разность результатов и минимальное по сравнению с самими значениями стандартное отклонение разностей указывает на полное совпадение данных. Высокое значение коэффициента корреляции говорит об их максимально тесной линейной связи. Таким образом, корректность использования метода СИМ для определения ВЧД была доказана. [4]

Поскольку, нами было получено почти полное совпадение результатов определения ВЧД манометром ИиНД и инвазивными методиками, то имеются все основания утверждать, что регистрируемые этим методом величины КСК несомненно корректны.

#### Литература

1. Белкин А.А. Патогенетическое понимание системы церебральной защиты при внутричерепной гипертензии и пути ее клинической реализации у больных с острой церебральной недостаточностью. Интенсивная терапия: 2005: 1.
2. Белкин А.А., Алашеев А.М., Иношкин С.Н. Транскраниальная доплерография в интенсивной терапии. Методическое пособие для врачей. Издание Клинического института Мозга СУНЦ РАМН, Екатеринбург: 2004.
3. Плам Ф., Познер Д. Диагностика ступора и комы. Москва: М: 1986: 148-155.
4. Крыжановский Г.Н. Патологические интеграции в центральной нервной системе. Мозг. Теоретические и клинические аспекты. Медицина: М: 2003: 52-67.
5. A Roope. Neurological and Neurosurgical Intensive Care. Lippincott Williams: 2004: 391.
6. Черешнев В.А., Гусев Е.Ю., Юрченко Л.Н. Системное воспаление как типовой патологический феномен- миф или реальность? Вестник РАН: 3: 2004: 18-23.
7. Aslid R, Lindengaard KF. Cerebral hemodynamics. In: Aaslid R (ed) Transcranial Doppler sonography. Springer, Vienna New York: 1986: 60-85.
8. Bleck TP. A look at the top 5 topics in Neurocritical Care: an expert interview. Medscape Critical care 5 (1).
9. Bone RC. Toward a theory regarding the pathogenesis of the systemic inflammatory response syndrome: what we do and do not know about cytokine regulation. Critical Care Medicine: 1996; 24: 1: 163-172.
10. Bone RC. Sir Isaac Newton, sepsis, SIRS, and CARS. Crit. Care Med. 1996; 24: 5: 1125-1128.
11. Bucci MN. Elevated intracranial pressure associated with hypermetabolism in isolated head trauma Acta Neurochir (Wien): 1988; 93: 133-136.
12. Hill AG. Initiators and propagators of the metabolic response to injury World J Surg: 2000; 24: 6: 624-629.
13. Marmarou A, Shulman K, LaMorgese J. Compartmental analysis of compliance and outflow resistance of the cerebrospinal fluid system. J Neurosurg. 1975 Nov. 43(5): 523-534.
14. Ott M., Schmidt J., Young B. Nutritional and metabolic variables correlate with amino acid forearm flux in patients with severe head injury. Crit Care Med: 1994; 22: 393.
15. Rixen D., Siegel J.H., Friedman H.P. «Sepsis/SIRS», physiologic classification, severity stratification, relation to cytokine elaboration and outcome prediction in posttrauma critical illness. Journal of Trauma: 1996; 41: 4: 581-598.