

# ОЦЕНКА ЦЕРЕБРОВАСКУЛЯРНОГО РЕЗЕРВА

Т. М. Рипп<sup>1</sup>, Е. Г. Рипп<sup>2</sup>, В. Ф. Мордовин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт кардиологии Сибирского отделения РАМН, Томск

<sup>2</sup> ГОУ ВПО «Сибирский государственный медицинский университет»,  
Кафедра анестезиологии и реаниматологии ФПК и ППС, Томск

## Cerebrovascular Reserve Estimation

T. M. Ripp<sup>1</sup>, E. G. Ripp<sup>2</sup>, V. F. Mordovin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cardiology Research Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Medical Sciences, Tomsk

<sup>2</sup> Department of Anesthesiology and Reanimatology, Faculty for Advanced Training  
and Occupational Retraining, Siberian State Medical University, Tomsk

Исследование цереброваскулярного резерва методом ультразвуковой транскраниальной доплерографии с помощью оригинального устройства и предъявлением физиологических нагрузочных тестов может использоваться в кардиологии, неврологии, нейрохирургии и нейрореаниматологии для оценки сосудистой недостаточности головного мозга, риска развития инсульта, эффективности терапии, определения объема операции и предоперационной подготовки. *Ключевые слова:* цереброваскулярный резерв, транскраниальная доплерография (ТКДГ), нагрузочные пробы.

Estimation of the cerebrovascular reserve by transcranial ultrasound Doppler study on an original device and by physiological load tests may be used in cardiology, neurology, neurosurgery, and neuroreanimatology to evaluate cerebrovascular insufficiency and therapeutic effectiveness, to assess the risk for stroke, and to estimate the scope of surgery and preoperative preparation. *Key words:* cerebrovascular reserve, transcranial Doppler study, load tests.

Ауторегуляция кровоснабжения головного мозга направлена на поддержание постоянства мозгового кровотока (МК) на строго определенном уровне, достаточном для обеспечения физиологических функций, и реализуется комплексно взаимодействующими регуляторными механизмами миогенной, нейрогенной, эндотелиальной и метаболической природы. Все регуляторные реакции унифицированы в сосудодвигательный (констрикторный и дилататорный) эффект и изменение скоростных показателей. Срыв ауторегуляции приводит к резкому уменьшению или повышению МК, следствием чего являются разные типы нарушений МК, приводящие к одному — органическому поражению головного мозга.

Известные способы оценки ауторегуляции мозгового кровотока осуществляются методами радионуклидной диагностики, однофотонной эмиссионной компьютерной томографии, позитронно-эмиссионной томографии, магнитно-резонансной томографии, ультразвуковыми методами (транскраниальной доплерографии и транскраниального дуплексного сканирования), методом инфракрасной спектроскопии с проведением функциональных нагрузочных тестов.

Для осуществления большинства способов оценки ауторегуляции мозгового кровотока необходимо наличие технически сложного, громоздкого и дорогостоящего оборудования, соответствующих реактивов или фармакологических препаратов, поэтому данные методы недостаточно оперативны и доступны. Ангиографические исследования инвазивны, подвергают пациентов и исследователя лучевой нагрузке и не дают возможности оценки функционального состояния сосудистого русла [1].

Метод транскраниальной доплерографии (ТКДГ) обеспечивает быструю и неинвазивную регистрацию показателей линейной скорости кровотока (ЛСК) в базальных артериях мозга. В связи с тем, что при постоянном просвете артерии ЛСК пропорциональна объемному кровотоку, она может использоваться в качестве индикатора потока в исследуемом сосудистом бассейне [2]. Для получения информации о состоянии ауторегуляции мозгового кровотока применяются ТКДГ-методики с предъявлением разнообразных нагрузочных тестов [3]. Способность и возможность мозговых сосудов изменять свой диаметр и величину кровотока в ответ на функциональные нагрузочные стимулы (цереброваскулярный резерв), является интегративным показателем функционального состояния системы мозгового кровообращения и нарушается при патологии любого церебрального сосудистого бассейна.

Адрес для корреспонденции (Correspondence to):

Рипп Евгений Германович  
E-mail: rripp@mail.ru

Однако, данные способы оценки ауторегуляции мозгового кровотока являются недостаточно точными и объективными, так как используют в качестве функциональных нагрузочных тестов воздействия химической природы, несвойственные для системы регуляции мозгового кровообращения (ацетазоламид, нитроглицерин, нимодипин, кетансерин, курантил) или слишком полифункциональные воздействия (проба с гипервентиляцией и т. д.).

Поэтому, для получения достоверной информации о цереброваскулярной реактивности, целесообразно в качестве стимула химической природы, воздействующего на метаболический механизм ауторегуляции, использовать физиологический раздражитель, а именно, углекислый газ или кислород, являющиеся естественными информационными переносчиками в сосудистой системе [4].

Цель исследования — оптимизация способа оценки цереброваскулярного резерва и определение пороговых значений мозгового кровотока, обеспечивающих нормальное состояние ауторегуляции МК в разных возрастных группах здоровых добровольцев.

## Материал и методы

В одномоментное простое сравнительное исследование были включены 40 здоровых добровольцев, проходивших обследование в клиниках ГУ НИИ кардиологии СО РАМН, Томск. Критериями включения в исследование были отсутствие неврологической патологии, сердечно-сосудистых заболеваний и выраженных нарушений функции внешнего дыхания по данным клинко-инструментального обследования, а также информированное согласие испытуемых на участие в исследовании.

Оценка цереброваскулярного резерва заключалась в исследовании методом ТКДГ кровотока и диаметра средней мозговой артерии (СМА) в покое, на фоне гиперкапнического (фаза вазодилатации) и гипероксического (фаза гипероксической церебральной вазоконстрикции) нагрузочных тестов (патенты РФ №2351281 от 10.04.2009 «Способ оценки цереброваскулярной реактивности» и №2351282 от 10.04.2009 «Способ оценки ауторегуляции мозгового кровотока» Т. М. Рипп с соавт.) при помощи аппарата ультразвуковой диагностики HDI 5000 SonoCT (Philips-ATL, Германия-США). Учитывая целостность, анатомическую и функциональную взаимосвязанность составляющих системы мозгового кровообращения, при оценке изменений параметров кровотока по средней мозговой артерии в ответ на нагрузочный тест, мы рассматривали реакцию не изолированной артерии, а двух одноименных. Детерминированность сосудистой реакции достигалась путем использования оригинального устройства (патент на полезную модель РФ №53881 от 10.06.2006 «Устройство для оценки цереброваскулярного резерва», Е. Г. Рипп с соавт.). На заключительной стадии исследования рассчитывали коэффициенты и индексы.

Обработку полученных данных проводили в соответствии с правилами вариационной статистики, используя программы «Statistica version 6,0» (StatSoft Inc. 2001) и «Microsoft Excel 7,0» (MS Office 2007). Результаты представлены как М (среднее значение)  $\pm$  SD (стандартное отклонение). С целью проверки однородности изучаемых показателей проводили анализ распределения полученных величин по отношению к нормальному ожидаемому распределению с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Статистическую значимость различий для количественных переменных определяли с помощью парного и непарного критерия *t*-Стьюдента.

## Результаты и обсуждение

Все испытуемые были разделены на 3 возрастные группы: 1-я группа — 20–30 лет ( $24,15 \pm 1,68$ ,  $n=13$ ), 2-я группа — от 31 до 40 лет ( $35,30 \pm 2,75$ ,  $n=11$ ) и 3-я группа — старше 41 года ( $47,75 \pm 3,84$ ,  $n=16$ ).

По аналогии с другими современными исследованиями нами были выделены 3 фазы изменения скорости мозгового кровотока: начальная — стабильная фаза перед началом тестирования, средняя — отрицательная или положительная фаза в течение гипероксии или гиперкапнии, и восстановительная фаза — с момента прекращения ингаляции газов до восстановления исходных показателей МК [5]. Таким образом, исследование цереброваскулярного резерва состояло из трех последовательных этапов.

**1 этап.** До начала исследования у каждого испытуемого, находящегося в положении лежа на спине, измеряли исходный уровень артериального давления (АД<sub>0</sub>), что необходимо для учета влияния колебаний АД на мозговой кровоток при проведении нагрузочных проб. В 1-й группе исходный уровень систолического артериального давления (САД) составил  $126,7 \pm 10,4$  мм рт. ст., во 2-й —  $119,5 \pm 5,0$  и в 3-й —  $120,4 \pm 8,2$  мм рт. ст.

С целью обеспечения постоянной концентрации подаваемой газовой смеси в дыхательной системе испытуемого и, как следствие, плавного нарастания РаО<sub>2</sub> или РаСО<sub>2</sub>, при проведении исследования мы стремились к тому, чтобы пациент поддерживал привычный ритм и глубину дыхания. Для этого в течение 2-х минут с помощью волнометра, измеряли исходные показатели внешнего дыхания — частоту дыхания (ЧД), дыхательный объем (ДО) и минутную вентиляцию легких (МВЛ). Полученные параметры вентиляции каждого испытуемого использовали как целевые при проведении тестов. В 1-й группе ЧД составляла  $17,7 \pm 2,1$  дыхательных движений в 1 минуту, ДО —  $430,7 \pm 107,1$  мл, МВЛ —  $7654,7 \pm 1070,7$  мл, во 2-й группе —  $15,1 \pm 4,2$  в 1 мин,  $445,0 \pm 96,6$  мл,  $6719,5 \pm 868,1$  мл и в 3-й —  $13,4 \pm 2,4$  в 1 мин,  $394,1 \pm 74,9$  мл и  $5297,1 \pm 410,1$  мл, соответственно.

Транскраниальную доплерографию средней мозговой артерии проводили через темпоральное окно и оценивали качественные показатели (характер доплеровского сигнала, форму доплерограммы, распределение частот по доплерограмме, направление кровотока) и исходные количественные характеристики мозгового кровотока: максимальную (пиковую) систолическую скорость кровотока ( $V_{mx_0}$ ), конечную диастолическую скорость ( $V_{ed_0}$ ) и среднюю скорость кровотока ( $TAM_0$ ). В 1-й группе  $V_{mx_0} = 90,26 \pm 13,06$  см/с,  $V_{ed_0} = 40,94 \pm 5,97$  см/с,  $TAM_0 = 61,95 \pm 7,39$  см/с, во 2-й группе —  $V_{mx_0} = 82,02 \pm 17,97$  см/с,  $V_{ed_0} = 39,61 \pm 7,55$  см/с,  $TAM_0 = 53,88 \pm 11,24$  см/с и в 3-й —  $V_{mx_0} = 75,86 \pm 10,34$  см/с,  $V_{ed_0} = 37,66 \pm 7,30$  см/с,  $TAM_0 = 48,21 \pm 7,38$  см/с. Диаметр СМА (DA) оценивали по доплеровскому слепку. В 1-й группе  $DA_0 = 0,39 \pm 0,02$  см, во 2-й группе —  $DA_0 = 0,41 \pm 0,05$  см, и в 3-й —  $DA_0 = 0,37 \pm 0,04$  см.

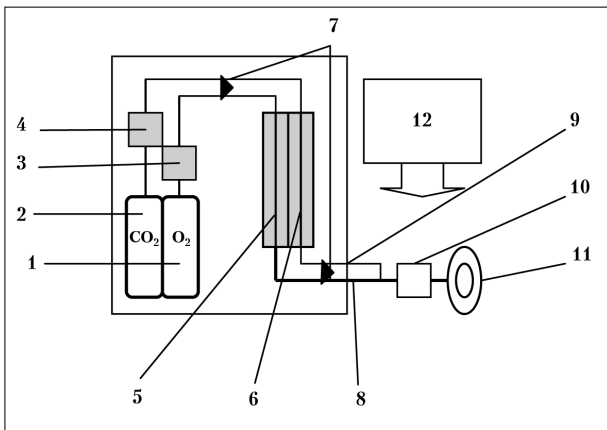


Рис. 1. Схема устройства для оценки цереброваскулярного резерва.

1 — баллон с кислородом (2 л); 2 — баллон с двуокисью углерода (CO<sub>2</sub>) (2 л); 3 — двухкамерный редуктор для O<sub>2</sub> (ГОСТ 5313-59); 4 — двухкамерный редуктор для CO<sub>2</sub> (ГОСТ 5313-59); 5 — блок ротаметрических дозиметров — два дозиметра для кислорода с пределами измерений от 0 до 2 л/мин и от 2 до 10 л/мин; 6 — дозиметр для двуокиси углерода (CO<sub>2</sub>) с пределами измерения от 0 до 2 л/мин; 7 — направляющие клапаны; 8 — дыхательный шланг диаметра 22 мм для O<sub>2</sub>; 9 — дыхательный шланг диаметра 8 мм для CO<sub>2</sub>; 10 — непереворачиваемый клапан; 11 — лицевая маска с надувным обтуратором; 12 — регистрирующее устройство — аппарат ультразвуковой диагностики — HDI 5000 SonoCT (Philips-ATL, Германия-США).

У одного испытуемого 3-й группы исследование было прекращено на данном этапе вследствие непроницаемости для ультразвука темпорального окна.

Для проведения нагрузочных тестов использовали оригинальное устройство, обеспечивающее герметичность дыхательного контура, низкое сопротивление дыхательной системы, минимальный объем «мертвого» пространства, точное дозирование и стабильную концентрацию подаваемой газовой смеси. Принципиальная схема устройства для оценки цереброваскулярного резерва представлена на рис. 1.

**2 А этап.** Для оценки гипероксической вазоконстрикции с помощью ротаметрических дозиметров прибора устанавливали газоток O<sub>2</sub> (л/мин) в соответствии с результатами измерения МВЛ. Парциальное содержание кислорода (FiO<sub>2</sub>) — 100%. Методом пульсоксиметрии контролировали насыщение крови кислородом (SpO<sub>2</sub> — 99–100%). Фиксировали направленность, амплитуду и время изменения показателей кровотока и размеров доплеровского спектра СМА в течение 2-х минут ингаляции 100% O<sub>2</sub> и после прекращения подачи кислорода до возврата показателей МК к исходным значениям.

Скоростные показатели кровотока СМА в 1-й группе через 2 минуты ингаляции 100% O<sub>2</sub> составляли: Vmx<sub>2</sub> = 75,37±12,26 см/с, Ved<sub>2</sub> = 34,04±4,03 см/с, TAM<sub>2</sub> = 52,06±7,63 см/с, во 2-й группе — Vmx<sub>2</sub> = 67,88±13,88 см/с, Ved<sub>2</sub> = 31,75±6,12 см/с, TAM<sub>2</sub> = 44,05±7,20 см/с, в 3-й группе — Vmx<sub>2</sub> = 62,57±9,41 см/с, Ved<sub>2</sub> = 31,02±7,32 см/с, TAM<sub>2</sub> = 38,89±7,59 см/с и достоверно отличались от исходных данных (p<0,05). Диаметр СМА (DA<sub>2</sub>) на 2-й минуте ингаляции 100% O<sub>2</sub> в 1-й группе был 0,34±0,02

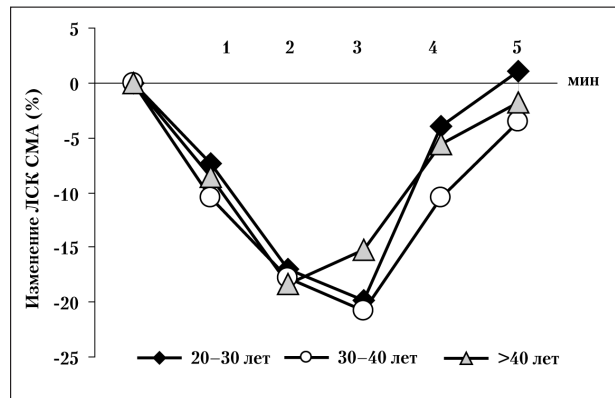


Рис. 2. Динамика изменения ЛСК СМА при проведении функционального гипероксического нагрузочного теста.

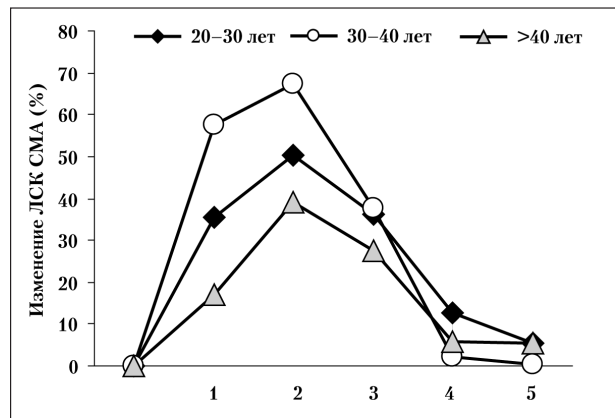


Рис. 3. Динамика изменения ЛСК СМА при проведении функционального гиперкапнического нагрузочного теста.

см, во 2-й группе — DA<sub>2</sub> = 0,36±0,04 см, и в 3-й — DA<sub>2</sub> = 0,31±0,04 см.

К 5-й минуте проведения гипероксического нагрузочного теста (через 3 минуты после прекращения подачи 100% O<sub>2</sub>) практически все показатели МК вернулись к исходным значениям. В 1-й группе Vmx<sub>5</sub> = 86,16±11,72 см/с, Ved<sub>5</sub> = 37,81±5,70 см/с, TAM<sub>5</sub> = 50,77±10,56 см/с, во 2-й группе Vmx<sub>5</sub> = 74,17±16,29 см/с, Ved<sub>5</sub> = 30,19±5,82 см/с, TAM<sub>5</sub> = 46,78±9,98 см/с и в 3-й группе Vmx<sub>5</sub> = 71,56±10,32 см/с, Ved<sub>5</sub> = 34,33±7,49 см/с, TAM<sub>5</sub> = 45,71±8,27 см/с. Диаметр СМА (DA<sub>5</sub>) на 5-й минуте теста в 1-й группе был 0,36±0,02 см, во 2-й группе — DA<sub>5</sub> = 0,39±0,05 см, и в 3-й — DA<sub>5</sub> = 0,36±0,04 см. Динамика изменения ЛСК СМА при проведении функционального гипероксического нагрузочного теста, выраженная в процентах от исходной скорости кровотока, представлена на графике (рис. 2).

Следует отметить, что уровень артериального давления во всех возрастных группах и контрольных точках не имел достоверных различий, следовательно, не оказывал влияния на редукцию мозгового кровотока. В 1-й группе САД<sub>0</sub> = 126,77±10,43, САД<sub>2</sub> = 122,85±7,26, САД<sub>5</sub> = 124,00±7,77; во 2-й группе САД<sub>0</sub> = 119,5±5,02, САД<sub>2</sub> = 116,80±9,68, САД<sub>5</sub> = 115,30±7,57; и в 3-й группе

Показатели ЛСК и диаметра СМА при проведении гиперкапнического нагрузочного теста

Показатель	Значения показателей в группах, лет		
	20–30	31–40	>40
Vmx <sub>0</sub> (см/с)	82,99±12,66	68,02±14,74	68,13±10,78
Vmx <sub>2</sub> (см/с)	121,81±15,03*	104,52±13,84*	95,41±16,88
Vmx <sub>5</sub> (см/с)	93,80±15,45	69,71±15,4	71,30±10,31
Ved <sub>0</sub> (см/с)	38,19±5,26	31,46±5,39	31,44±4,23
Ved <sub>2</sub> (см/с)	61,39±8,09*	52,44±9,33*	48,82±10,55*
Ved <sub>5</sub> (см/с)	39,95±5,88	32,36±6,85	32,70±6,15
TAM <sub>0</sub> (см/с)	54,67±9,91	43,39±8,61	44,31±9,20
TAM <sub>2</sub> (см/с)	87,44±13,26*	72,67±11,46*	60,42±8,21*
TAM <sub>5</sub> (см/с)	62,66±10,83	47,65±10,13	44,07±9,7
DA <sub>0</sub> (см)	0,39±0,02	0,41±0,05	0,37±0,04
DA <sub>2</sub> (см)	0,48±0,02*	0,49±0,04	0,47±0,04*
DA <sub>5</sub> (см)	0,45±0,03	0,41±0,05	0,40±0,04

**Примечание.** Vmx – максимальная (пиковая) систолическая скорость кровотока; Ved – конечная диастолическая скорость; TAM – усредненная по времени средняя скорость кровотока; DA – диаметр СМА. 0, 2, 5 – контрольные точки (время исследования в мин). \* –  $p < 0,05$ . Здесь и в табл. 2, 3: данные представлены как  $M \pm SD$ .

САД<sub>0</sub> = 120,46±8,20, САД<sub>2</sub> = 117,40±8,81, САД<sub>5</sub> = 117,28±11,22 мм рт. ст. ( $p > 0,05$ ).

**2 Б этап.** Исследование вазодилатации и способности мозговых сосудов к увеличению кровотока проводили с помощью гиперкапнического нагрузочного теста, аналогично описанному выше. Ротаметрическим дозиметром устанавливали газоток CO<sub>2</sub> (л/мин) в соответствии с результатами измерения МВЛ. Парциальное содержание двуокиси углерода (PCO<sub>2</sub>) – 4%. Фиксировали изменения показателей мозгового кровотока и диаметра СМА в течение 2-х минут ингаляции двуокиси углерода и возврата показателей МК к исходным значениям после прекращения подачи CO<sub>2</sub>.

Показатели ЛСК и диаметра СМА представлены в табл. 1.

При проведении гиперкапнического нагрузочного теста изменения АД в исследуемых группах были более выражены, чем при ингаляции 100% O<sub>2</sub>, однако не достигали статистически достоверных различий. В 1-й группе САД<sub>0</sub> = 121,69±7,62, САД<sub>2</sub> = 127,77±8,71, САД<sub>5</sub> = 123,46±8,93; во 2-й группе САД<sub>0</sub> = 113,20±7,00, САД<sub>2</sub> = 122,50±9,51, САД<sub>5</sub> = 117,10±8,25; и в 3-й группе САД<sub>0</sub> = 115,94±9,97, САД<sub>2</sub> = 127,46±12,11, САД<sub>5</sub> = 117,90±8,70 мм рт. ст. ( $p > 0,05$ ).

Динамика изменения ЛСК СМА при проведении функционального гиперкапнического нагрузочного теста, выраженная в процентах от исходной скорости кровотока, представлена в табл. 1.

Анализируя полученные тренды, можно утверждать, что в случае однонаправленной положительной реакции после ингаляции кислорода происходит постепенное снижение скорости кровотока и уменьшение размеров слепка средней мозговой артерии с двух сторон, с достижением минимума на 2–3-й минутах и последующим восстановлением к 4–5-й мин. Противоположная и отличная по силе реакция наблюдалась после ингаляции 4% смеси воздуха с CO<sub>2</sub>: увеличение скорости кровотока и размеров слепка начиналось с 1-й минуты исследования и достигало максимума на 2-й минуте. У большинства испытуемых данная реакция сохранялась

до 3-х минут с постепенным спадом и восстановлением исходного уровня МК к 5–6-й минуте исследования.

В течение всего исследования у всех испытуемых производили непрерывную запись электрокардиограммы, мониторировали артериальное давление и частоту дыхания. Общее время исследования составляло 20–25 минут.

**3 этап.** По результатам нагрузочных проб мы оценивали реактивность и ауторегуляцию мозгового кровотока, рассчитывая коэффициенты и индексы. К настоящему моменту существует несколько способов количественного отражения церебрального резерва, в основе которых лежит оценка динамики параметров мозгового кровотока с обязательным учетом исходных значений МК и его изменений (абсолютных или относительных) после воздействия нагрузочных тестов [6–8].

Как правило, предлагаемые коэффициенты отличаются названиями. Путаница в терминологии значительно затрудняет оценку научных данных и не позволяет ориентироваться с помощью какой из многочисленных функциональных проб был оценен ЦВР. Поэтому мы из всего предлагаемого разнообразия коэффициентов выбрали параметры и расчетные показатели, наиболее точно и лаконично отражающие изменения кровотока ГМ. Новым в разработанном нами методе является использование универсальных (для гиперкапнического и гипероксического состояний) способов расчета коэффициентов. С нашей точки зрения, это очень удобно – использовать единую систему расчета для двух противоположных реакций сосудов, в полной мере отражающих резерв и ауторегуляторный процесс.

1. Коэффициент изменения скорости кровотока (КИС).  $КИС = V_2 / V_0$ , где  $V_0$  – исходная ЛСК в СМА (см/с),  $V_2$  – ЛСК через 2 минуты ингаляции газов (см/с);

2. Индекс изменения скорости кровотока (ИИС).  $ИИС = (V_2 - V_0) / T$ , где  $V_0$  – исходная ЛСК в СМА (см/с),  $V_2$  – ЛСК через 2 минуты ингаляции (см/с),  $T$  – время ингаляции (с);

Мы ввели в комплексную оценку ЦВР не только учет изменений скоростных показателей кровотока,

Таблица 2

**Коэффициенты и индексы кровотока и диаметра СМА  
при проведении функционального гипероксического нагрузочного теста**

Показатель	Все пациенты	Значения показателей в группах, лет		
		20–30	31–40	>40
Коэффициент изменения скорости кровотока (КИС <sub>O<sub>2</sub></sub> )	0,82±0,07	0,83±0,06	0,82±0,04	0,82±0,07
Индекс изменения скорости кровотока (ИИС <sub>O<sub>2</sub></sub> )	-0,12±0,05	-0,12±0,05	-0,12±0,06	-0,11±0,06
Коэффициент изменения диаметра СМА (КИД <sub>O<sub>2</sub></sub> )	0,84±0,06	0,87±0,05	0,85±0,08	0,80±0,06
Индекс изменения диаметра СМА (ИИД <sub>O<sub>2</sub></sub> )	-0,33±0,24	-0,26±0,20	-0,33±0,20	-0,39±0,28
Индекс постгипероксического восстановления ЛСК (ИВ <sub>O<sub>2</sub></sub> )	1,08±0,11	1,05±0,10	1,13±0,13	1,07±0,10
Нормализованный к АД ауторегуляторный ответ (НАО <sub>O<sub>2</sub></sub> )	1,11±0,29	1,12±0,28	1,33±0,30	0,95±0,26

Таблица 3

**Коэффициенты и индексы кровотока и диаметра СМА  
при проведении функционального гиперкапнического нагрузочного теста**

Показатель	Все пациенты	Значения показателей в группах, лет		
		20–30	31–40	>40
Коэффициент изменения скорости кровотока (КИСС <sub>O<sub>2</sub></sub> )	1,51±0,23	1,50±0,21	1,67±0,23	1,39±0,17
Индекс изменения скорости кровотока (ИИСС <sub>O<sub>2</sub></sub> )	0,28±0,13	0,32±0,11	0,30±0,15	0,23±0,10
Коэффициент изменения диаметра СМА (КИДС <sub>O<sub>2</sub></sub> )	1,27±0,12	1,26±0,10	1,24±0,08	1,31±0,12
Индекс изменения диаметра СМА (ИИДС <sub>O<sub>2</sub></sub> )	0,48±0,26	0,48±0,15	0,42±0,17	0,52±0,37
Индекс постгиперкапнического восстановления ЛСК (ИВС <sub>O<sub>2</sub></sub> )	0,95±0,12	0,92±0,17	0,98±0,08	0,96±0,09
Нормализованный к АД ауторегуляторный ответ (НАОС <sub>O<sub>2</sub></sub> )	5,26±1,44	4,19±1,30	7,12±1,63	4,85±1,35

что предлагалось ранее, но и оценку дилататорных и констрикторных возможностей мозговых сосудов по изменению размера слепка СМА, полагая, что относительное изменение его размеров, на фоне неменяющихся параметров настройки изображения, является устойчивым и надежным маркером динамики ауторегуляторного процесса.

3. Коэффициент изменения диаметра СМА (КИД).  $КИД = D_2 / D_0$ , где  $D_0$  – исходный диаметр СМА (см),  $D_2$  – диаметр через 2 минуты ингаляции (см);

4. Индекс изменения диаметра (ИИД),  $ИИД = (D_2 - D_0) / T$ , где  $D_0$  – исходный диаметр СМА (мм),  $D_2$  – диаметр через 2 минуты ингаляции (мм),  $T$  – время ингаляции (мин).

Кроме того, мы предлагаем коэффициенты, которые характеризуют сам процесс ауторегуляции – скорость развития реакции при ингаляции и в период восстановления, то есть, отражают не только резервные возможности мозговых сосудов к изменению МК, но и такие функциональные параметры как способность быстро или медленно развивать ответную реакцию или восстанавливаться после активного воздействия.

5. Индекс постгиперкапнического или постгипероксического восстановления ЛСК (ИВ).  $ИВ = V_0 / V_5$ , где  $V_0$  – исходная ЛСК в СМА (см/с),  $V_5$  – ЛСК через 5 минут от начала исследования (см/с).

И наконец, мы считаем целесообразным введение такого коэффициента, как нормализованный к АД ауторегуляторный ответ, что позволяет учитывать реакцию системного кровотока. Несмотря на то, что в нашем исследовании изменения АД во время проведения функциональных нагрузочных тестов не достигали достоверных различий, мы полагаем, что при обследовании

пациентов с дискредитированной сердечно-сосудистой системой, колебания АД, особенно во время гиперкапнического нагрузочного теста, будут значительно влиять на МК, что и потребует введения поправки.

6. Нормализованный к АД ауторегуляторный ответ (НАО).  $НАО = (V_2 - V_0) / (V_0 \cdot (САД_2 - САД_0))$ , где  $V_0$  – исходная ЛСК в СМА (см/с),  $V_2$  – ЛСК через 2 минуты ингаляции (см/с),  $САД_0$  – исходное систолическое АД (мм рт. ст.),  $САД_2$  – систолическое АД через 2 минуты ингаляции (мм рт. ст.).

Коэффициенты и индексы, рассчитанные по изменению средней скорости кровотока (ТАМ) при проведении функциональных нагрузочных тестов и обеспечивающие нормальное состояние ауторегуляции мозгового кровотока (цереброваскулярный резерв) представлены в табл. 2 и 3.

На наш взгляд, предлагаемые критерии и методика оценки диапазона цереброваскулярного резерва могут использоваться в неврологии, нейрохирургии и нейрореаниматологии для: обследования пациентов с целью прогнозирования развития осложнений (энцефалопатия, ОНМК) и контроля эффективности терапии; диагностики церебрососудистой недостаточности, функциональных нарушений кровообращения головного мозга при различных формах энцефалопатий и выявления ангиоспазмов различного генеза и локализации; обоснования и изучения рациональных методов лечения нарушений функционального резерва ГМ как предшественников тяжелых органических поражений, ведущих к увеличению смертности больных с инсультом, черепно-мозговой травмой (ЧМТ) и т. д.; для оценки риска развития инсульта вследствие эпизодов интраоперационной ишемии мозга, определения объема операции и предоперационной подго-

товки в нейрохирургии и сосудистой хирургии (при операциях на сонных артериях).

### Заключение

Предлагаемые критерии оценки диапазона цереброваскулярного резерва являются пороговыми для определения периода применения и объема лечебно-профилактических мероприятий.

Предлагаемый метод оценки цереброваскулярного резерва имеет целый ряд неоспоримых преимуществ:

- имитирует реакции ГМ в физиологических условиях, при использовании эволюционно-привычных физиологических стимуляторов CO<sub>2</sub> и O<sub>2</sub>, раздражение быстро предъявляемо и снимаемо; легко дозируемо по интенсивности и продолжительности; не обладает кумулятивным влиянием;

### Литература

1. Лелюк В. Г., Лелюк С. Э. Цереброваскулярный резерв при атеросклеротическом поражении брахиоцефальных артерий. Этюды современной ультразвуковой диагностики. Выпуск 2. Киев: Укрмед; 2001. 31–41.
2. Kontos H. A. Validity of cerebral arterial blood flow calculations from velocity measurements. *Stroke* 1989; 20 (1): 1–3.
3. Шахнович А. Р., Шахнович В. А. Диагностика нарушений мозгового кровообращения (Транскраниальная доплерография) М.: Медицина; 1996. 129–191.
4. Лелюк С. Э., Лелюк В. Г. Современные представления о цереброваскулярном резерве при атеросклеротической патологии магистральных артерий головы (обзор литературы). *Ультразвуковая диагностика* 1997; 1: 45.
5. Chan S. T., Tam Y., Lai C. Y. et al. Transcranial Doppler study of cerebrovascular reactivity: Are migraineurs more sensitive to breath-hold challenge? *Brain Res.* 2009; 1291: 53–59.
6. Алашеев А. М., Ипюшкин С. Н. Транскраниальная доплерография в интенсивной терапии. В кн.: Белкин А. А. (ред.) Транскраниальная доплерография в интенсивной терапии. Екатеринбург; 2003. 60.
7. Mahajan R. P., Cavill G., Simpson E. J., Hope D. T. Transient hyperemic response: a quantitative assessment. 10th Int. Symp. on Cerebral Hemodynamics: Abstr. — Munich 1996. *Cerebrovasc. Dis.* 1996; 6: 3.
8. Гайдар Б. В., Свистов Д. В., Храпов К. Н. Полуколичественная оценка ауторегуляции кровоснабжения головного мозга в норме. *Журн. неврологии и психиатрии* 2000; 100 (6): 38–41.

Поступила 16.01.10