



<sup>1</sup> Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе

<sup>2</sup> Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

# Ультразвуковая доплерография при острой церебральной ишемии

И.А. Вознюк<sup>1,2</sup>, А.Ю. Полушин<sup>1</sup>, А.С. Белясник<sup>2</sup>, С.Ш. Забиров<sup>2</sup>,  
Е.М. Морозова<sup>2</sup>

Адрес для переписки: Игорь Алексеевич Вознюк, strokevma@mail.ru

*Современный порядок оказания помощи пациентам с острыми нарушениями мозгового кровообращения требует раннего определения причин острой цереброваскулярной катастрофы, а также проведения динамической оценки патогенетических процессов. Ультразвуковая оценка кровотока в мозговых артериях – наиболее мобильный метод скрининга и динамического наблюдения недостаточности кровоснабжения мозга. При острой церебральной ишемии прогностическим маркером и целью мониторинга выступают универсальные и воспроизводимые характеристики: направление потока, вид спектра, величина скорости мозгового кровотока и ауторегуляторный резерв. В остром периоде компенсация кровотока в магистральных артериях головы происходит лавинообразно и подразделяется на этапы снижения и повышения уровня качественных и количественных параметров в соответствии с законами гемодинамики и патоморфологии. При грубом окклюзионно-стенотическом поражении прецеребральных артерий дополнительно отслеживается скорость потока в компенсирующем (донорском) артериальном сегменте церебрального русла. Удлинение периода нестабильности скоростных параметров – маркер неблагоприятного прогноза или развития повторного инсульта, что требует уточнения этиологического и/или патогенетического фактора. Предложены динамические параметры и таргетные точки для мониторинга мозгового кровотока у пациентов в острой стадии ишемии с учетом бассейна, тяжести и подтипа инсульта.*

**Ключевые слова:** острое нарушение мозгового кровообращения, ультразвуковая диагностика, инсульт, stenotическое поражение, ауторегуляция, церебральная ишемия, линейная скорость, кровотока

## Введение

Комплексная диагностика сосудистых заболеваний головного мозга базируется на совместном

использовании методов лучевой и ультразвуковой диагностики. При этом ведущее место занимает ультразвуковая оценка кровотока

в мозговых артериях как наиболее мобильный метод скрининга, динамического наблюдения и мониторинга состояния пациентов с острой недостаточностью мозгового кровоснабжения.

Абсолютная или относительная недостаточность кровообращения повреждает вещество головного мозга. Значимость повреждающего действия ишемии определяется степенью и длительностью снижения мозгового кровотока до критического порога, а также степенью функциональной активности в период перфузионной недостаточности. Оптимально, если снижение перфузии носит кратковременный характер (спазм, рыхлый тромб, коллапс, гемодинамическое несоответствие и др.) или возникает на фоне окклюзии магистральной артерии мозга, при котором быстро начинает работать плотная коллатеральная сеть (компенсаторная гиперемия). В этих случаях мозговой кровоток полностью или частично возвращается в ишемизированную область и степень ишемических изменений не достигает критического уровня. Кроме непосредственного острого перфузионного дефицита на фоне тромбоза значительную роль в повреждении вещества мозга играет реперфузионная травма при частичной или полной реваскуляризации закупоренного сегмента артериального русла головного мозга (тромблизис, тромбэктомия, спонтанная реканализация и др.).



При всем разнообразии патогенетических вариантов повреждения церебрального сосудистого русла имеется несколько диагностически важных параметров доплеровского сигнала, изменения которых универсальны и воспроизводимы, – направление потока по отношению к источнику ультразвукового излучения, вид спектра, величина максимальной систолической и минимальной диастолической скорости.

### Параметры количественной оценки мозгового кровотока

Самый постоянный параметр количественной оценки мозгового кровотока – направленность потоков, так как мозговое кровообращение возможно только в пределах анатомического расположения мозговых артериальных образований, имеющих эфферентное по отношению к сердцу распределение потоков. В случае очевидной проблемы при закупорке или грубом стенозировании направления потоков изменяются в соответствии с возможностями коллатеральной системы, а предпочтение в оценке доплерограмм, как правило, отдается качественным характеристикам спектра: форме, распределению частот, направлению и звуковым феноменам. Главные признаки патологии – искажение спектрального профиля (турбулентность, заполнение спектрального окна, деформация систоло-диастолического комплекса) или наличие «патологических переток».

Количественная оценка кровотока в артериях головного мозга основывается как на непосредственно измеряемых параметрах доплерограммы (амплитуде, распределении частот, импульсных вариациях), так и на различных рассчитываемых индексах.

Наиболее востребованный измеряемый доплеровский параметр – скорость потока:

- систолическая скорость максимальная ( $V_{sist}$ );
- диастолическая скорость конечная ( $V_{diast}$ );

- средняя скорость за сердечный цикл ( $MenV$ );
- средняя скорость в систолу ( $V_{ms}$ ).

Скорость потока – контрольная величина для артериальных сосудов с определенными, близкими к постоянным характеристиками (диаметр, глубина залегания). Исходно предполагается, что при отсутствии аномалий строения и заболеваний сосудов, формирующих церебральную артериальную систему, абсолютные значения параметров кровотока в покое постоянны для конкретного человека, а их отклонения при функциональных нагрузках (гипоксии, физической нагрузке и др.) соответствуют диапазону резерва ауторегуляции.

На основе обозначенных параметров, характеризующих спектральные кривые, разработаны расчетные коэффициенты, позволяющие количественно описать нормальные и патологические черты полученного сигнала. Наиболее часто для клинической оценки параметров кровотока используются:

- индекс циркуляторного сопротивления (RI);
- индекс пульсативности (PI);
- систоло-диастолическое отношение (ISD);
- индекс спектрального расширения (SBI);
- коэффициент асимметрии (КА);
- индекс подъема пульсовой волны (ИППВ).

Доказана тесная взаимосвязь между нарастанием степени стенозирования артерии и риском развития инсульта, при этом достоверное возрастание линейной скорости кровотока становится основным диагностическим аргументом при выполнении слепой ультразвуковой диагностики. Мировой опыт изучения скоростных параметров артериального кровотока головного мозга позволяет считать возможными нормативные значения этих параметров для всех сегментов цереброваскулярной системы, а отклонения измеряемых параметров от средних статистических значений в популяции рассматривать как коли-

чественный признак актуальной патологии. Так, возрастание количественного показателя скорости кровотока в диагностике сужения просвета артерии в диапазоне от 20 до 70% имеет главенствующее значение, так как явные искажения картины спектра в этом диапазоне еще отсутствуют.

Абсолютные значения скорости кровотока играют важную роль при оценке резерва коллатерального кровообращения или расчетах трансмиссионного пульсационного индекса (отношение скоростей в экстра- и интракраниальных сегментах артерий каротидного бассейна) при церебральном вазоспазме. Кроме того, все суждения о количественных значениях тонической составляющей лоцируемого сосуда, состоянии резистивного сегмента церебрального артериального бассейна и реактивных изменениях в период функционального напряжения также являются производными анализа параметров скорости.

### Цели продленного доплеровского мониторинга

В остром периоде ишемического инсульта компенсация кровотока в магистральных артериях головы происходит лавинообразно и подразделяется на более-менее четкие этапы снижения и повышения уровня качественных и количественных параметров в соответствии с законами гемодинамики и патологической анатомии (формирование кисты). При этом выявить достоверную корреляцию между тяжестью инсульта и средней невзвешенной скоростью, RI, PI, ISD, SBI, ИППВ (без учета возрастных характеристик) не удастся. Это позволяет отказаться от мониторинга этих параметров в динамике у пациентов при ориентировании на степень неврологического дефицита [1–4].

Общий исход инсульта зависит от выраженности гипоперфузии (снижения линейной скорости) в дебюте заболевания в сосудах экстракраниального уровня. Кроме того, для ориентировочного про-

Неврология

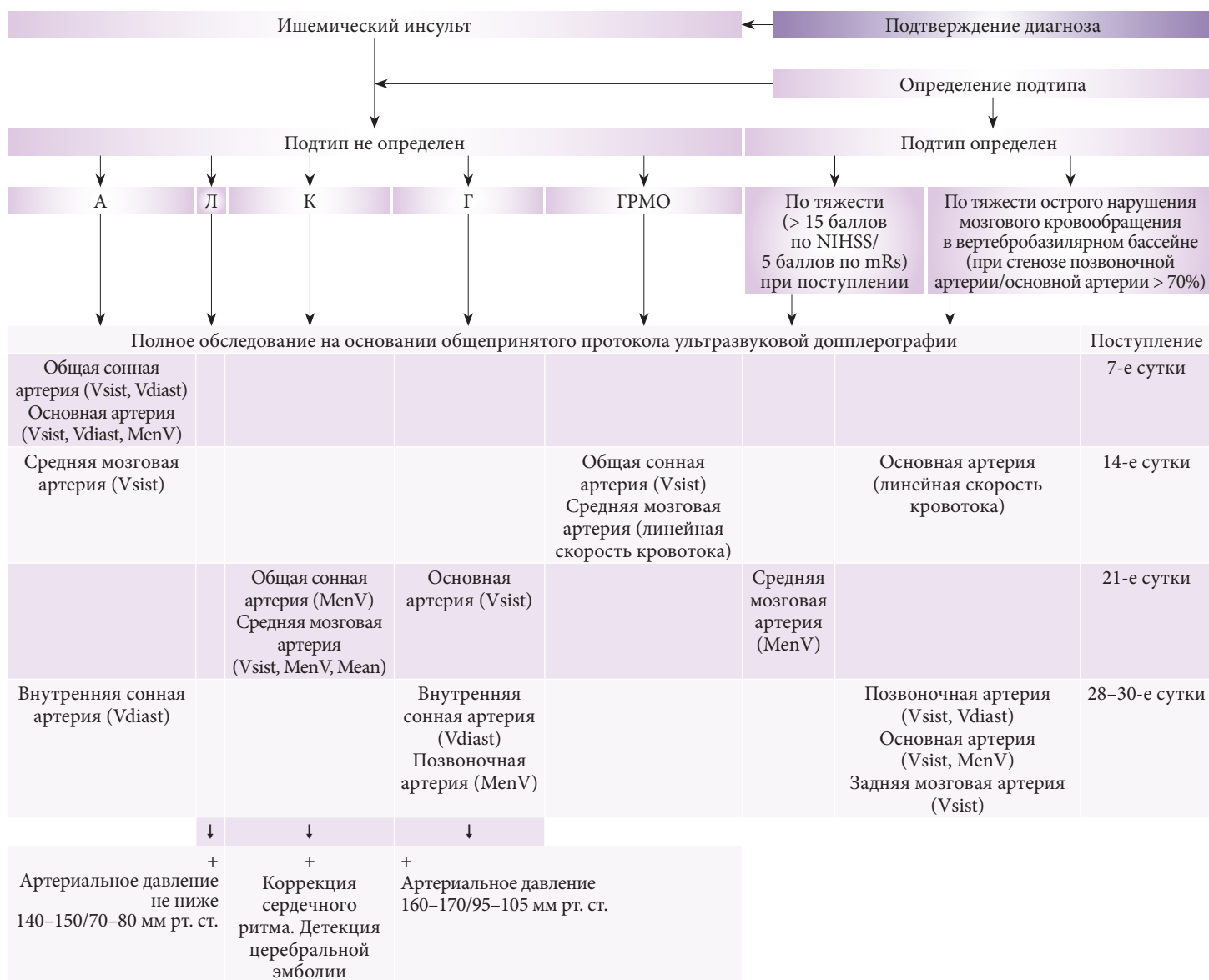


гнозирования исхода ишемического инсульта по шкале тяжести инсульта Национального института здоровья США (National Institutes of Health Stroke Scale – NIHSS) и модифицированной шкале Рэнкин (modified Rankin Scale – mRs) за целевую точку мониторингирования можно брать линейные скорости по средней (Vsist, Vdiast) и передней (Vsist, Vdiast, MenV) мозговым артериям. Известно также, что значимой корреляции между параметрами кровотока по задним мозговым артериям и базилярной

(основной) артерии и выраженностью неврологического дефицита не существует [5].

Особого внимания заслуживает категория пациентов старше 60 лет. С возрастом меняются эластико-тонические свойства сосудов, наблюдается тенденция замедления линейных скоростей кровотока, что снижает возможность адекватной ауторегуляции. Следовательно, к данной категории пациентов более применим анализ ультразвуковых индексов, характеризующих функциональ-

ное состояние кровотока (RI, PI, ISD). Если при анализе динамики данных параметров у лиц до 60 лет отмечаются высокие показатели PI и ISD в средней мозговой артерии, то у лиц старше 60 лет – permanently высокие показатели RI на экстракраниальном уровне (общая сонная артерия, внутренняя сонная артерия, позвоночные артерии) и в средней мозговой артерии. Однако при анализе ISD показатели обычно выше нормативных значений у всех пациентов, что не дает оснований выбирать



Примечание. А – атеротромботический; Л – лакунарный; К – кардиоэмболический; Г – гемодинамический; ГРМО – гемореологический.

Рис. 1. Протокол продленного ультразвукового мониторинга мозгового кровотока в остром периоде ишемического инсульта



Рис. 2. Протокол диагностических мероприятий при выявлении отклонений скоростных параметров от референсных значений

данный параметр в качестве цели длительного ультразвукового мониторинга. Тем не менее при проведении системного тромболитического лечения важность этого параметра трудно переоценить.

Для лиц старше 60 лет характерно снижение линейной скорости кровотока в позвоночных артериях к концу острого периода ишемического инсульта. Хотя это снижение происходит в пределах референсных значений, во многих случаях обнаруживаются гипоперфузия (больше 50%) и инсульт в вертебробазиллярном бассейне, что подразумевает необходимость мониторинга кровотока именно в этой зоне. Это также может считаться основанием для того, чтобы именно исход третьей недели был взят в качестве контрольной точки мониторинга при острых нарушениях мозгового кровообращения у данной возрастной категории больных.

Особенности перестройки мозгового кровообращения в острой стадии ишемического инсульта, выявленные с помощью ультразвуковой диагностики, в свое время позволили предложить протокол мониторинга мозгового кровотока, учитывающий прежде всего его подтип [1, 4]. В нем нашел отражение спектр динамических параметров и целевых точек, которые целесообразно использовать для мониторинга мозгового кровотока у пациентов с острой церебральной ишемией с учетом бассейна, тяжести, исхода и подтипов инсульта, принимая во внимание гетерогенность его природы (рис. 1). В данном случае можно говорить скорее о функциональных сегментарных изменениях, чем об атеросклеротических проявлениях. В этой связи

ультраульцевая доплерография сосудов головы и шеи может быть более информативным диагностическим методом, чем дуплексное сканирование, при верификации динамических нарушений кровотока. Однако выполнение ультразвукового исследования может дать более четкую картину в динамике гемодинамического подтипа ишемического инсульта, в особенности при диагностированной дегенеративной дилатационной артериопатии.

В случае выявления отклонений скоростных параметров от референсных значений как при стандартной ультразвуковой доплерографии в динамике, так и при продленном мониторинге с помощью ультразвуковой доплерографии предлагается прибегать к протоколу диагностических мероприятий, представленному на рис. 2 [6, 7].

### Заключение

Обращаясь к абсолютным значениям, следует учитывать некоторые особенности распределения скоростных параметров по мозговым артериям, обусловленные совокупностью физиологических и инструментальных причин. Эти особенности проявляются физиологической иерархией значений линейной скорости кровотока в церебральных и прецеребральных артериях. На экстракраниальном уровне: внутренняя сонная артерия > наружная сонная артерия > позвоночная артерия. На интракраниальном уровне: средняя мозговая артерия > передняя мозговая артерия > внутренняя сонная артерия > задняя мозговая артерия > основная артерия > позвоночная артерия.

Между артериями большого анатомического бассейна головного мозга преобладание скорости в средней мозговой артерии над скоростью в передней мозговой артерии и задних мозговых артериях укладывается в 20%-ный диапазон. Поток по основной артерии принципиально всегда выше, чем в лучшей из позвоночных артерий. Нормативное значение коэффициента асимметрии между одноименными артериями каротидного бассейна не должно превышать 20%, по позвоночным артериям допустимо 30%-ное различие скоростных показателей. С учетом анатомических особенностей (формирования правых артериальных отделов из брахиоцефального ствола) меньшие значения чаще регистрируются в правых позвоночных артериях и внутренней сонной артерии.

На фоне положительной неврологической динамики к концу четвертой недели заболевания у большей части пациентов наблюдается как общее, так и региональное снижение скоростных показателей, что связано с преодолением отека, уменьшением объема мозговой ткани в пораженном бассейне, восстановлением соответствия перфузионных возможностей метаболическим и функциональным потребностям сохранившихся областей головного мозга. Удлинение периода нестабильности скоростных параметров или значительные колебания абсолютных значений могут служить маркером неблагоприятного прогноза углубления процесса ишемии (прогрессирующее течение) или развития повторного инсульта, что, несомненно, служит основанием для





уточнения этиологического и/или патогенетического фактора, поиска ошибок в выборе лечебной тактики.

У пациентов с инсультом средней и тяжелой степени, имеющих грубые региональные расстройства мозгового кровообращения на фоне стено-окклюзирующего поражения магистральных артерий головы, дополнительной целью для мониторинга может служить скорость потока в компенсирующем артериальном сегменте бассейна-донора. По динамике скоростных показателей

кровотока в таком сегменте можно судить о стабилизации ишемических расстройств или об угрозе ухудшения в симптомном сосудистом регионе.

При острой церебральной ишемии в качестве прогностического маркера и цели мониторинга может выступать скорость мозгового кровотока. Линейная скорость кровотока более информативна при динамическом наблюдении, она демонстрирует ауторегуляторный резерв и эффективность терапевтических усилий в течение острого периода.

Стратификация нормативных значений с выделением надпороговых отклонений скоростных параметров позволяет повысить чувствительность ультразвуковой оценки мозгового кровотока с наибольшей информативностью к концу острого периода ишемического инсульта. При сопоставлении пороговых значений с получаемыми показателями возможно выделение лиц с повышенным риском ухудшения или летального исхода, требующих коррекции терапии или расширения диагностической программы. \*

### Литература

1. Полушин А.Ю., Одинак М.М., Вознюк И.А., Янишевский С.Н. Продленный доплеровский мониторинг мозгового кровотока при разных подтипах ишемического инсульта // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2015. Т. 9. № 3. С. 26–33.
2. Никитин Ю.М., Труханов А.И. Ультразвуковая доплеровская диагностика в клинике. Иваново: МИК, 2004.
3. Семин Г.Ф., Иванов Ю.С., Ломян А.Б., Мкртчян М.С. Практикум по ультразвуковой доплерографии артерий головы и мозга. Ереван: ЕМИ, 2000.
4. Кузнецов А.Н., Вознюк И.А. Справочник по церебральной доплерографии / под ред. М.М. Одинака. М.: Спектрмед, 2004.
5. Полушин А.Ю. Мониторинг мозгового кровотока при разных подтипах ишемического инсульта: дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2013.
6. Вознюк И.А., Полушин А.Ю., Степанов Е.А. Количественная оценка ультразвуковых параметров мозгового кровотока (значение и норма) // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2013. Т. 12. № 4. С. 30–40.
7. Полушин А.Ю., Вознюк И.А. Скорость мозгового кровотока – прогностический маркер и цель мониторинга при острой церебральной ишемии // Medline.ru. 2014. Т. 15. № 1. С. 175–184.

### Ultrasound Doppler in Acute Cerebral Ischemia

I.A. Voznyuk<sup>1,2</sup>, A.Yu. Polushin<sup>1</sup>, A.S. Belyasnik<sup>2</sup>, S.Sh. Zabirov<sup>2</sup>, Ye.M. Morozova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Saint Petersburg Research Institute of Emergency Medicine named after I.I. Dzhanlidze

<sup>2</sup> Military Medical Academy named after S.M. Kirov, Saint Petersburg

Contact person: Igor Alekseyevich Voznyuk, strokevma@mail.ru

*The modern procedure of the medical care provision for patients with acute cerebrovascular accident requires early determination of the causes of the event, and as well the dynamic assessment of the pathogenic processes. The ultrasound assessment of the blood flow in the cerebral arteries is the most mobile method of screening and dynamic monitoring of insufficient blood supply to the brain. In acute cerebral ischemia the prognostic marker and monitoring target are the universal and reproducible characteristics such as: the direction of the flow, the shape of the spectrum, the velocity of the cerebral blood flow and the auto regulatory reserve. In the acute period the blood flow compensation in the major arteries of the head is an avalanche – like process and divided into the stages of decreasing and increasing of the level of qualitative and quantitative characteristics in accordance with the laws of hemodynamics and pathomorphology. In the case of gross occlusal-stenotic lesions of precerebral arteries the flow velocity in the compensating (donor) cerebral arterial bed segment is being tracked additionally.*

*The period of the high-speed parameter of instability lengthening – the marker of the poor prognosis or recurrent stroke, which requires the specification of the etiological and/or pathogenic factor. The dynamic parameters and target points are provided for monitoring the cerebral blood flow in the patients with the acute stage of ischemia taking in account the pool, the severity and subtype of the stroke.*

**Key words:** acute cerebrovascular disease, ultrasound diagnosis, stroke, stenotic lesion, autoregulation, cerebral ischemia, linear velocity, blood flow