

УДК 616.831-005.1-079.4-08
DOI: 10.36979/1694-500X-2026-26-1-106-113

ДИАГНОСТИКА СУБАРАХНОИДАЛЬНОГО КРОВОИЗЛИЯНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ МОЗГОВОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ ПРИ ТРАНСКРАНИАЛЬНОМ ДОППЛЕРОВСКОМ ИССЛЕДОВАНИИ

К.Б. Ырысов, Н.А. Кермакунова, Н.У. Гайпов, Н. Маматоморова, М.Б. Ырысова

Аннотация. Спазм крупных внутричерепных артерий после субарахноидального кровоизлияния, его связь с неврологическим состоянием, прогнозом и влиянием на обследование и лечение вызывает споры. В данном исследовании изучалась эффективность транскраниальной ультразвуковой доплерографии для определения церебрального вазоспазма после субарахноидального кровоизлияния. Были обследованы контрольная группа из 21 пациента, вторая группа из 20 пациентов, страдающих субарахноидальным кровоизлиянием или аневризмой, и группа из 26 человек с другими внутричерепными патологиями. Допплеровская скорость кровотока значительно выше при наличии вазоспазма. Если она превышала 100 см/с, у пациентов выявлялся вазоспазм в 80 % случаев. Если доплеровская скорость кровотока была ниже 100, то спазм наблюдался менее чем у 10 % пациентов. Не было обнаружено увеличения скорости доплеровского кровотока после краниотомии у пациентов, не страдающих субарахноидальным кровоизлиянием. У пациентов с субарахноидальным кровоизлиянием наблюдалась тенденция к увеличению скорости доплеровского кровотока, особенно у пациентов с неврологическим дефицитом. В итоге было обнаружено, что доплеровская скорость кровотока и начальный индекс наклона по клиренсу ксенона не коррелируют с клинической оценкой. Было обнаружено, что коэффициент «начальный индекс наклона/доплеровская скорость кровотока» (который математически можно показать, как связанный с диаметром сосуда) хорошо коррелирует с клинической оценкой. В этой группе, в основном в послеоперационном периоде, абсолютные уровни или скорость изменения доплеровской скорости кровотока не могли быть связаны с возникновением или существованием неврологического дефицита.

Ключевые слова: транскраниальная ультразвуковая доплерография; церебральный вазоспазм; субарахноидальное кровоизлияние; скорость кровотока; начальный индекс наклона.

ТРАНСКРАНИАЛДЫК ДОППЛЕР ИЗИЛДӨӨСҮ АРКЫЛУУ МЭЭ КАН АЙЛАНУУСУНУН ЫЛДАМДЫГЫН АНЫКТОО ЖОЛУ МЕНЕН СУБАРАХНОИДАЛДЫК КАН КУЮЛУУСУН ДИАГНОСТИКАЛОО

К.Б. Ырысов, Н.А. Кермакунова, Н.У. Гайпов, Н. Маматоморова, М.Б. Ырысова

Аннотация. Субарахноидальдык кан куюлуудан соңку баш-сөөк ичиндеги чоң артериялардын спазмы, анын неврологиялык абал менен болгон байланышы, прогноз жана текшерүү жана дарылоого болгон таасири дагы деле талкууларды жаратып келет. Бул изилдөөдө субарахноидальдык кан куюлуудан кийинки церебралдык вазоспазмды транскраниалдык ультраүндүү доплерографиянын эффективдүүлүгү талданган. Контролдук тайпада 21 бейтап, экинчи тайпада субарахноидальдык кан куюлуудан жабыркаган же аневризмасы бар 20 бейтап, жана 26 бейтаптан турган баш-сөөк ичиндеги патологиялары бар тайпа изилдөөгө алынган. Допплердик кан айлануу ылдамдыгы вазоспазм учурунда бир кыйла жогору болгон. Эгер ал 100 см/с деңгээлинен ашса, бейтаптарда вазоспазм 80 % аныкталган. Ал эми доплердик кан айлануу ылдамдыгы 100 деңгээлинен төмөн болсо, вазоспазм 10 % бейтаптарда гана байкалган. Субарахноидальдык кан куюлуусу жок краниотоимияга кабылган бейтаптарда доплердик кан айлануу ылдамдыгы жогорулаган эмес. Субарахноидальдык кан куюлуусу бар бейтаптарда, өзгөчө неврологиялык дефицити бар болсо, доплердик кан айлануу ылдамдыгынын жогорулоо тенденциясы байкалган. Айкындалгандай, доплердик кан айлануу ылдамдыгы жана ксенон клиренси боюнча баштапкы жантаюу индекси клиникалык баалоо менен корреляция болбоосу такталды. Баштапкы жантаюу индекси менен доплердик кан айлануу ылдамдыгынын коэффициенти (математикалык жол аркылуу кан тамыр диаметри менен байланыш катары көрсөтсө мүмкүн болгон) клиникалык баалоо менен жакшы корреляция болгон. Бул тайпада, негизинен операциядан соңку мөөнөттө, доплердик кан айлануу ылдамдыгынын абсолюттук деңгээлдери же доплердик кан айлануу ылдамдыгынын өзгөрүүлөрү неврологиялык дефициттин пайда болуусу же болуусу менен байланышта болгон эмес.

Түйүндүү сөздөр: транскраниалдык ультраүндүү доплерография; церебралдык вазоспазм; субарахноидалдык кан куюлуу; кан айлануу ылдамдыгы; баштапкы жантаюу индекси.

DIAGNOSIS OF SUBARACHNOID HEMORRHAGE BY DETERMINING THE VELOCITY OF CEREBRAL CIRCULATION DURING TRANSCRANIAL DOPPLER EXAMINATION

K.B. Yrysov, N.A. Kermakunova, N.U. Gaipov, N. Mamatomorova, M.B. Yrysova

Abstract. Spasm of the large intracranial arteries after subarachnoid hemorrhage, its relationship to the neurological condition, prognosis, and impact on examination and treatment is controversial. This study investigated the effectiveness of transcranial ultrasound Dopplerography for determining cerebral vasospasm after subarachnoid hemorrhage. A control group of 21 patients, a second group of 20 patients suffering from subarachnoid hemorrhage or aneurysm, and a group of 26 people with other intracranial pathologies were examined. The Doppler blood flow velocity was significantly higher in the presence of vasospasm. If it exceeded 100 cm/s, patients showed vasospasm in 80% of cases. If the Doppler blood flow rate was below 100, then spasm was observed in less than 10% of patients. There was no increase in the Doppler blood flow rate after craniotomy in patients who did not suffer from subarachnoid hemorrhage. In patients with subarachnoid hemorrhage, there was a tendency to increase the rate of Doppler blood flow, especially in patients with neurological deficits. It was found that the Doppler blood flow velocity and the initial slope index did not correlate with the clinical assessment. It was found that the coefficient (which can be mathematically shown to be related to the diameter of the vessel) correlates well with the clinical assessment. In this group, mainly in the postoperative period, the absolute levels or rate of change in the Doppler blood flow velocity could not be associated with the occurrence or existence of a neurological deficit.

Keywords: transcranial ultrasound dopplerography; cerebral vasospasm; subarachnoid hemorrhage; blood flow velocity; initial slopet index.

Введение. С тех пор как рентгенологически идентифицируемый спазм крупных внутричерепных артерий после субарахноидального кровоизлияния (САК) был впервые описан Эккером и Рименшнейдером в 1915 г., его связь с неврологическим состоянием, прогнозом и влиянием на обследование и лечение вызывает споры [1]. Однако теперь остается мало сомнений в том, что наличие вазоспазма влияет на степень и исход кровотечения. Также было продемонстрировано, что вазоспазм может возникнуть в течение 24 часов после кровотечения и продолжаться от 1-й до 4-х недель.

Также верно, что неврологическое состояние пациента может ухудшиться из-за спазма сосудов. Перед хирургом по-прежнему стоит проблема выяснения причины любого такого ухудшения и отличия спазма сосудов от повторного кровотечения, гидроцефалии, отека после ретракции головного мозга во время операции или инфекции. Хотя была надежда, что с развитием неинвазивных методов измерения мозгового кровотока диагностика вазоспазма упростится, эти методы остаются нечувствительными

и в лучшем случае плохо различимыми. Церебральная ангиография остается “золотым стандартом” для выявления спазма сосудов.

Благодаря модификации ультразвуковой доплерографии с помощью Aaslid, позволяющей транскраниально измерять скорость мозгового кровотока, была обоснована возможность использования такого метода для демонстрации наличия спазма сосудов [2].

Цель исследования – изучить взаимосвязь между скоростью мозгового кровообращения, видом сосудистой сети головного мозга на ангиограмме, мозговым кровотоком и клиническим состоянием пациентов и прогрессом в попытке определить его эффективность для подтверждения или опровержения наличия вазоспазма.

Клинический материал и методы. Были обследованы три группы пациентов. Для определения нормальных показателей была обследована группа пациентов без внутричерепной патологии. Пациенты с субарахноидальным кровоизлиянием или аневризмой составили вторую группу (субарахноидальное кровоизлияние из-за выявленной артериовенозной мальформации

было исключено, поскольку кровотока внутри мальформации вызывал ложные значения скорости кровотока). В третью группу вошли пациенты, перенесшие трепанацию черепа по поводу различных патологий, с которыми можно было сравнить группу субарахноидальных кровоизлияний. Это было сделано с целью оценить влияние трепанации черепа при несосудистой патологии на скорость мозгового кровотока. Распределение пациентов по возрасту и полу представлено в таблице 1.

Не было выявлено существенных различий в среднем возрасте пациентов в каждой из групп. По три пациента в каждой контрольной группе и группе с субарахноидальным кровоизлиянием страдали артериальной гипертензией. Ни один из пациентов в группе “Другие патологии” не страдал артериальной гипертензией. Нами перечислены патологические состояния, которые входили в группу “Другие патологии” (рисунок 1).

На рисунке 2 представлена информация о группе субарахноидальных кровоизлияний.

Пациенты с субарахноидальным кровоизлиянием были госпитализированы в сроки от 1-го до 21-го дня после кровоизлияния.

У 10 из них была I степень по Ханту и Гессу, у четырех – II степень, у одного – III степень и у пяти – IV степень. У трех пациентов на определенном этапе заболевания наблюдалась артериальная гипертензия (диастолическое АД превышало 90 мм рт. ст. или систолическое АД превышало 160 мм рт. ст.).

Всем пациентам измеряли скорость кровотока в передних отделах кровеносных сосудов методом доплерографии, описанным Aaslid [2], с использованием транскраниального доплерографа ЕМЕ TC2-64 (со стандартным датчиком частотой 2 МГц). Измерения доплеровской скорости кровотока (ДСК) с использованием, усредненной по времени средней доплеровской скорости кровотока, проводились в обычном режиме для передней мозговой артерии, внутренней сонной артерии и средней мозговой артерии головного мозга. Для подтверждения исследованного сосуда был использован метод, описанный

Таблица 1 – Распределение пациентов по группам и основным параметрам

Группа/Параметр	Количество (абс. ч.)	Муж/жен	Возраст (лет)
Контрольная группа	21	9/12	53,1 ± 18,9
Субарахноидальное кровоизлияние	20	6/14	45,3 ± 10,5
Другие патологии	26	14/12	49,6 ± 32,1

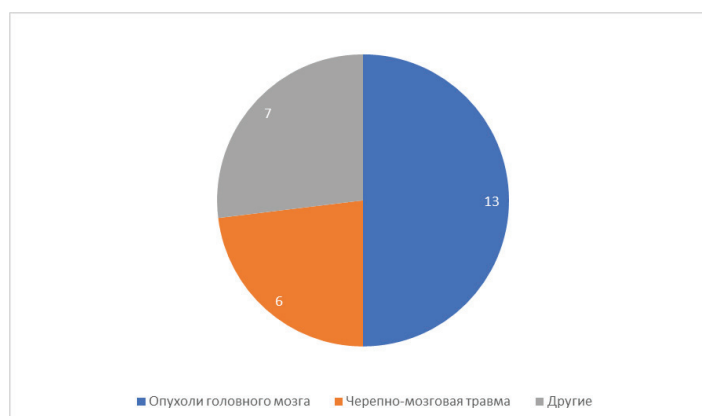


Рисунок 1 – Распределение пациентов группы другой патологии

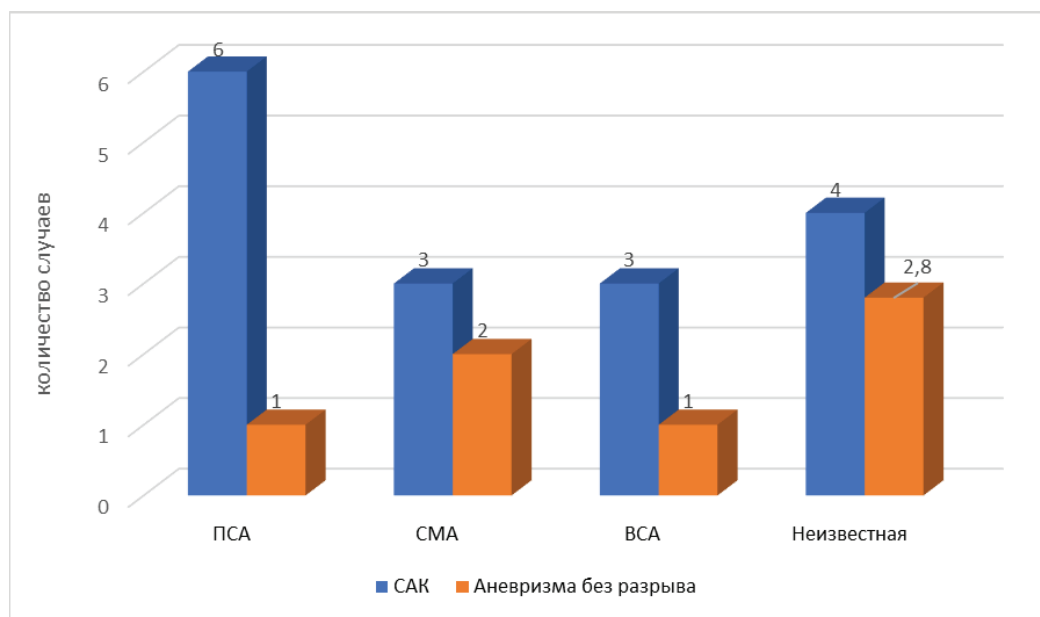


Рисунок 2 – Распределение пациентов группы субарахноидального кровоизлияния

Aaslid [2]. Вкратце, при установке глубины зондирования на 50 или 55 мм сосуд обнаруживался путем изменения угла наклона зонда, начиная чуть выше скуловой кости. Как только сосуд был обнаружен, его исследовали по периферии (уменьшая заданную глубину) до тех пор, пока наличие притока крови к зонду и от него на расстоянии около 30 мм не подтвердило, что это средний мозг. Затем этот сосуд исследовался медиально до тех пор, пока не было обнаружено разветвление внутренней сонной артерии, опять же по расположению входящего и выходящего потока. Хорошо известно, что ошибки в оценке доплеровской скорости кровотока увеличиваются с увеличением угла падения соединяющего пучка.

В этом исследовании регистрировался внутренний поток в сонной артерии на уровне бифуркации. Абсолютные значения скорости движения во внутренней сонной артерии, без сомнения, ненадежны, но сравнение изо дня в день и от внутренней сонной артерии к внутренней сонной артерии может оказаться более полезным, поскольку угол погружения вряд ли сильно изменится. Затем можно было бы провести

медиальное измерение ветви A1, увеличив глубину выборки.

Все группы обследовались перед операцией. Группы, страдающие субарахноидальным кровоизлиянием и “другой патологией”, также обследовались после операции, обычно дважды в день, чтобы определить динамику доплеровской скорости кровотока после операции. У пациентов с субарахноидальным кровоизлиянием также измеряли регионарный мозговой кровоток (РМК) с помощью церебрографа, используя метод очистки Xe133. Мозговой кровоток обычно оценивали при поступлении и три-пять раз после операции (через 6 часов после операции, через 1 и 3 дня после операции и при проведении других исследований в зависимости от клинического состояния). Был изучен исходный индекс наклона (ИИН), поскольку этот параметр считался наиболее значимым при патологическом состоянии.

Пациенты с субарахноидальным кровоизлиянием получали стандартное клиническое лечение. Субарахноидальное кровоизлияние было подтверждено с помощью компьютерной томографии или люмбальной пункции.

Клиническое состояние пациентов оценивалось количественно в соответствии со схемой классификации, предложенной Хантом и Хессом [3]. Шести пациентам с III степенью тяжести и выше была проведена ангиография вскоре после поступления. Все пациенты получали противосудорожное средство дексаметазон и соблюдали постельный режим. Операция была проведена независимо от времени, прошедшего с момента кровотечения, когда у пациента была диагностирована I или II степень тяжести. Такая политика, как правило, приводила к относительно раннему началу работы.

Результаты. Авторам не составило труда оценить скорость доплеровского кровотока у большинства пациентов. Допплеровская скорость кровотока при поступлении показана на рисунке 3. При должной практике несложное исследование можно было провести за 15–20 минут. Можно было обследовать всех пациентов, кроме самых агрессивных. В некоторых случаях разговор пациента вызывал помехи, а в некоторых послеоперационных случаях большая часть головной повязки или боль от раны вызывали незначительные трудности, но только в двух случаях препятствовали проведению исследования.

Нормальные значения. Результаты также были проанализированы в зависимости от частоты возникновения доплеровской скорости кровотока выше 100 см/с. В контрольной группе скорость доплеровского потока превысила 100 см/с в одном из 42 (2,38 %) исследованных полушарий.

В группе “Другие патологии” из 322 (2,8 %) обследований в девяти полушариях скорость доплеровского кровотока превышала 100 см/с (Хи-квадрат = 12). В группе субарахноидальных кровоизлияний у 102 из 364 пациентов скорость доплеровского кровотока превышала 100 см/с (Хи-квадрат): по сравнению с контрольной группой = 13,07; $p < 0,001$; по сравнению с группой “другие патологии” Хи-квадрат = 85,0; $p < 0,001$).

Допплеровская скорость кровотока и ангиография. Была предпринята попытка сравнить доплеровскую скорость кровотока, полученную непосредственно перед ангиограммой, с диаметрами сосудов, показанными на ангиограмме. Ангиограммы были классифицированы в зависимости от наличия или отсутствия спазма (независимым наблюдателем, не осведомленным о клиническом состоянии пациента

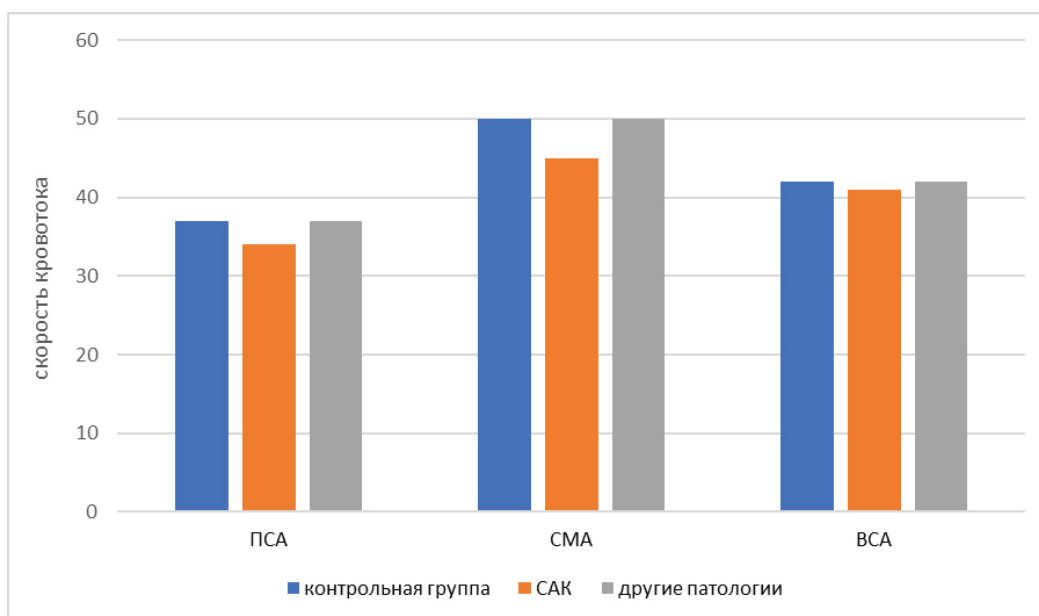


Рисунок 3 – Распределение пациентов по группам и доплеровской скорости мозгового кровотока

или результатах доплерографии). Было отмечено наличие или отсутствие спазма, а также его локализация, тяжесть и протяженность. Эти результаты были сопоставлены с наличием результатов с высокой доплеровской скоростью потока (скорость доплеровского потока превышала 100 см/с для любой части показаний соответствующего полушария).

Было обнаружено, что у большей части сосудов, демонстрирующих ангиографический спазм, доплеровская скорость кровотока превышала 100 см/с (спазм отсутствовал, у 1/24 из них доплеровская скорость кровотока превышала 100 см/с. Спазм присутствует у 4/6, доплеровская скорость кровотока превышает 100; Хи-квадрат = 9*37; $p < 0,01$). Средняя максимальная доплеровская скорость кровотока в средних мозговых артериях, при которой был выявлен спазм, была значительно выше, чем в неспастических сосудах среднего мозга (спазм присутствует, средняя максимальная доплеровская скорость кровотока = $93*33 \pm 31$; спазма нет = $520 \pm 21*17$; $t = 2-94$, $p < 0,05$).

Было обнаружено, что после трепанации черепа у пациентов с “другой патологией” скорость доплеровского кровотока не увеличилась. Аналогичным образом, доля показателей, превышающих 100 см/с, оставалась на уровне 2,5 %.

Нами представлена динамика скорости доплеровского потока во времени как для группы пациентов с “другой патологией”, так и для группы пациентов с субарахноидальным кровоизлиянием. Есть тенденция к увеличению скорости доплеровского кровотока в группе пациентов с субарахноидальным кровоизлиянием после трепанации черепа, особенно в группе пациентов, у которых развился новый дефицит. Большой разброс данных не позволяет продемонстрировать статистическую значимость в этой небольшой группе пациентов.

Корреляция с клиническим состоянием изучена по зависимости скорости доплеровского кровотока от клинической оценки по данным Ханта и Хесса [3]. Для расчета среднего значения используется самая высокая доплеровская скорость кровотока в каждом исследовании. Казалось бы логичным, что именно самая высокая

скорость кровотока (представляющая наиболее спазмированную артерию) определяет клинический статус. Существенной взаимосвязи не выявлено, хотя очевидна тенденция к увеличению скорости доплеровского кровотока при III степени тяжести. Аналогично, в данных, хотя и показана тенденция к снижению начального индекса наклона (НИН) с ухудшением клинической картины, существенной разницы между одной степенью и следующей нет.

Однако при использовании комбинации доплеровской скорости потока и НИН была найдена лучшая взаимосвязь. Соотношение радиусов (НИН/ДСК) значительно снижается от I степени к II, а затем от II к III и от III к IV ($p < 0,01$ для каждого).

Ааслид и его коллеги сообщили об особенностях доплеровской скорости кровотока, которые, по их мнению, могут свидетельствовать о неврологическом дефиците [1]. Их группа обнаружила, что скорость доплеровского кровотока более 200 см/с связана с тенденцией к ишемии, что скорость кровотока между 120 и 140 см/с никогда не приводила к инфаркту мозга, и что быстрое повышение скорости доплеровского кровотока до уровней выше 200 см/с было особенно плохим предзнаменованием.

В настоящем исследовании у восьми из 20 пациентов в ходе их болезни развился новый дефицит, который, как показала компьютерная томография, не был вызван гидроцефалией или повторным кровотечением. Двое пациентов проснулись после операции с новым дефицитом, у пятерых он развился через 2–5 дней после операции, а у одного – до операции. В четырех случаях дефицит сохранялся. Только в трех из восьми случаев скорость доплеровского потока превышала 200 см/с, и ни в одном случае она не повышалась до появления симптомов. В одном из этих случаев симптомы оказались проходящими. Кроме того, у трех из 12 пациентов, у которых не возникло новых неврологических осложнений, скорость доплеровского потока быстро возросла (в течение 12 часов) до значений, превышающих 200 см/с.

Обсуждение. Авторы подтвердили легкость, с которой можно регулировать скорость кровотока в базальных сосудах переднего отдела

кровообращения. Установлена корреляция увеличения скорости кровотока с ангиографическим проявлением вазоспазма, так что у пациентов, у которых скорость кровотока перед ангиографией превышает 100 см/с, с высокой вероятностью будет наблюдаться ангиографический спазм. Если скорость кровотока превышает 100 см/с, вероятность того, что ангиограмма выявит спазм сосудов, составляет 80 %. Если скорость кровотока меньше 100, вероятность возникновения спазма сосудов составляет менее 10 %. Примечательно, что никакой корреляции быть не может. В этом небольшом числе случаев можно было установить связь между ДСК и тяжестью вазоспазма [4].

Также вероятно, что ранний период после проведения ангиографии совпадает с ранним периодом, который, как известно, характеризуется относительно низкой частотой возникновения спазма.

Вкратце показано, что транскраниальная доплерография является неинвазивным методом прогнозирования наличия ангиографического вазоспазма. Ааслид и его коллеги [2] указали на теоретические проблемы, связанные с неправильным угловым расположением зонда.

В недавно опубликованном исследовании Ааслид и его коллеги [2] сообщили об особенностях ДСК, которые, по их мнению, могут свидетельствовать о неврологическом дефиците. Хотя это лишь небольшое число пациентов, авторы считают, что результаты говорят о том, что у послеоперационных пациентов абсолютное значение ДСК теряет свою диагностическую ценность при ишемическом неврологическом дефиците. У любого человека высокий (200 см/с) или быстрый рост ДСК не обязательно имеет тревожное значение, равно как и низкий показатель ДСК дает значительную уверенность.

Настоящее исследование демонстрирует, что при нормальном ходе событий трепанация черепа сама по себе не увеличивает ДСК. Она действительно имеет тенденцию к увеличению после трепанации черепа по поводу САК, что, возможно, свидетельствует о повышенной возбудимости сосудов головного мозга после кровоизлияния [5–7]. Более высокие значения ДСК,

как правило, наблюдаются у пациентов с неврологическим дефицитом, но широкий разброс значений ДСК затрудняет статистическую интерпретацию.

Отсутствие корреляции между ДСК и клинической степенью заслуживает комментариев. Авторы предполагают, что нормальной реакцией мозга на ишемию, вызванную спазмом сосудов, является поддержание мозгового кровотока на нормальном уровне или вблизи него, и что это достигается за счет увеличения скорости кровотока [8–10]. Таким образом, возникает ситуация, когда, хотя мозговой кровоток и, следовательно, клиническое состояние в норме, ДСК повышена. Также очевидно, что для определения клинического состояния требуется нечто большее, чем просто кровоток [11].

Заключение. Также представляет интерес взаимосвязь между НИИ и ДСК. Гильсбах [12] среди прочих указал на взаимосвязь между расходом и скоростью, а именно, что $v = \text{расход}/(r_1 \cdot r_2)$ или $r_2 = \text{расход}/(r_1 \cdot v)$. Авторы показали, что эта взаимосвязь, используя НИИ в качестве термина потока, наилучшим образом соответствует клиническому состоянию пациентов.

Поступила: 15.10.2025;

рецензирована: 29.10.2025; принята: 31.10.2025.

Литература

1. Ecker A., Riemenschneider P.A. Arteriographic demonstration of spasm of the intracranial arteries with special reference to saccular arterial aneurysms // J Neurosurg. 1951; 8: 660–7.
2. Aaslid R., Huber P., Nomes H. Evaluation of cerebrovascular spasm with transcranial Doppler ultrasound // J Neurosurg. 1984; 60: 37–41.
3. Hunt W.E., Hess R.M. Surgical risk as related to time of intervention in the repair of intracranial aneurysm // J Neurosurg. 1968; 28: 14–19.
4. Ырысова М.Б. Распространенность факторов риска цереброваскулярных заболеваний по данным когортного исследования в г. Бишкеке Кыргызской Республики / М.Б. Ырысова, Р.И. Тойчибаева, А.К. Турусбекова, К.Б. Ырысов // Профилактическая медицина. 2025; 28 (3): 34–39. URL: <https://doi.org/10.17116/profmed20252803134>.
5. Ырысов К. Анализ трех хирургических методов лечения спонтанного супратенториального внутримозгового кровоизлияния /

- К. Ырысов, Н. Гайпов, Б. Ырысов // Евразийский журнал здравоохранения. 2025. № 1. С. 136–144.
6. O'Brien N.F., Lovett M.E., Chung M., Maa T. Non-invasive estimation of cerebral perfusion pressure using transcranial Doppler ultrasonography in children with severe traumatic brain injury // *Childs Nerv Syst.* 2020; 36 (9): 2063–2071. DOI:10.1007/s00381-020-04524-7.
7. Lovett M.E., Maa T., Moore-Clingenpeel M., O'Brien N.F. Transcranial Doppler ultrasound findings in children with moderate-to-severe traumatic brain injury following abusive head trauma // *Childs Nerv Syst.* 2020; 36 (5): 993–1000. DOI:10.1007/s00381-019-04431-6.
8. Ball J.D., Hills E., Altaf A. et al. Neurovascular coupling methods in healthy individuals using transcranial doppler ultrasonography: A systematic review and consensus agreement // *J Cereb Blood Flow Metab.* 2024; 44 (12): 1409–1429. DOI:10.1177/0271678X241270452
9. Cardim D., Robba C., Bohdanowicz M. et al. Non-invasive Monitoring of Intracranial Pressure Using Transcranial Doppler Ultrasonography: Is It Possible? // *Neurocrit Care.* 2016; 25 (3): 473–491. DOI:10.1007/s12028-016-0258-6.
10. Naqvi J., Yap K.H., Ahmad G., Ghosh J. Transcranial Doppler ultrasound: a review of the physical principles and major applications in critical care // *Int J Vasc Med.* 2013. DOI:10.1155/2013/629378.
11. Morris N.A., Manning N., Marshall R.S. et al. Transcranial Doppler Waveforms During Intra-aortic Balloon Pump Counterpulsation for Vasospasm Detection After Subarachnoid Hemorrhage // *Neurosurgery.* 2018; 83 (3): 416–421. DOI:10.1093/neuros/nyx405.
12. Gillsbach J.M. Intraoperative Doppler Sonography in Neurosurgery // Springer Verlag/Wein, 1983.