

Диагностические методики в кардиологии

© М.В. Вишнякова (мл.), 2017

УДК 616.133-007.272-07(091)

М.В. Вишнякова (мл.)

ОЦЕНКА ОККЛЮЗИРУЮЩЕГО ПОРАЖЕНИЯ СОННЫХ АРТЕРИЙ: ИСТОРИЯ, ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт
им. М.Ф. Владимирского», ул. Щепкина, 61/2, Москва, 129110, Российская Федерация

Вишнякова Марина Валентиновна (мл.), канд. мед. наук, ст. науч. сотр., orcid.org/0000-0003-3838-636X

Ишемические нарушения мозгового кровообращения являются одной из самых важных проблем медицины. Примерно в половине случаев изменения происходят на фоне окклюдированного поражения сонных артерий. Существует несколько основных методов диагностики атеросклеротических изменений сосудов, каждый из которых обладает определенными преимуществами и недостатками. На протяжении нескольких столетий изучались взаимосвязи между окклюзией внутренней сонной артерии (а позже и стенозом артерии) и развитием неврологической картины инсульта головного мозга. В XX в. начали использовать ангиографию для диагностики поражений сонных артерий и выполнения первых реконструктивных операций. Во второй половине XX в. количество выполняемых вмешательств значительно возросло, что привело к созданию крупных рандомизированных исследований – NASCET (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial) и ECST (European Carotid Surgery Trial), которые определили тактику ведения пациентов на годы вперед. С развитием современных неинвазивных методов диагностики – ультразвукового исследования, компьютерной и магнитно-резонансной томографии – ангиография постепенно стала отходить на второй план в обследовании пациента перед операцией. На настоящий момент существует спектр диагностических методов для оценки состояния сонных артерий при их атеросклеротическом поражении. Из них только ультразвуковое исследование включено в протокол обязательного обследования перед операцией. По данным современной литературы, неинвазивные методы, такие как компьютерная и магнитно-резонансная ангиография, вносят весомый вклад в определение тактики ведения пациента и могут быть включены в обязательное предоперационное обследование.

Ключевые слова: окклюдированное поражение сонных артерий; история методов диагностики; ангиография; ультразвуковое исследование; компьютерная ангиография; магнитно-резонансная ангиография.

Для цитирования: Вишнякова М.В., мл. Оценка окклюдированного поражения сонных артерий: история, тенденции развития диагностических технологий. *Креативная кардиология*. 2017; 11 (3): 247–61. DOI: 10.24022/1997-3187-2017-11-3-247-261

Для корреспонденции: Вишнякова Марина Валентиновна, e-mail: cherridra@mail.ru

M.V. Vishnyakova (Jr.)

OCCLUSIVE CAROTID DISEASE ASSESSMENT: HISTORY AND NEW DIAGNOSTIC TECHNOLOGIES

Moscow Regional Research and Clinical Institute named after M.F. Vladimirov, ulitsa Shchepkina, 61/2,
Moscow, 129110, Russian Federation

Vishnyakova Marina Valentinovna (Jr.), Cand. Med. Sc., Senior Researcher, orcid.org/0000-0003-3838-636X

Ischemic stroke is still one of the most important problems in modern medicine. Approximately half of all cases are caused by carotid occlusive disease. There are several diagnostic methods for evaluation of atherosclerotic changes in vessels, each of them has advantages and disadvantages. The role of carotid arteries in cerebral circulation was studied during several centuries and finally the relationship between carotid occlusion (later – also stenosis) and neurological symptoms was proved. XX century was landmark for first angiograms with carotid assessment and performance of first surgical reconstruction of affected vessels. During second part of XX century a huge growth of carotid surgical reconstructions was observed. This situation led to formation of two big randomized studies NASCET (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial) and ECST (European Carotid Surgery Trial), and their results defined management strategy for years to come. Development of modern visualization methods – ultrasound examination, computed tomography and magnetic resonance, draw back the catheter angiography from the leading place in preoperative carotid evaluation. Nowadays a clinician has got a spectrum of diagnostic methods for assessment of atherosclerotic changes in carotid arteries. Only ultrasound examination is included in compulsory preoperative evaluation. Modern scientific studies show that noninvasive methods such as computed and magnetic resonance angiography are able to add much information in preoperative assessment.

Keywords: occlusive carotid disease; history of diagnostic techniques; angiography; ultrasound; computed angiography; magnetic resonance angiography.

For citation: Vishnyakova M.V., Jr. Occlusive carotid disease assessment: history and new diagnostic technologies. *Kreativnaya Kardiologiya (Creative Cardiology)*. 2017; 11 (3): 247–61 (in Russ.). DOI: 10.24022/1997-3187-2017-11-2-247-261

For correspondence: Vishnyakova Marina Valentinovna, e-mail: cherridra@mail.ru

Acknowledgements. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.

Received August 16, 2017

Accepted August 25, 2017

Нарушения мозгового кровообращения (НМК) по ишемическому типу остаются одной из наиболее актуальных проблем современной медицины. Около половины из них обусловлено окклюдующим атеросклеротическим поражением внутренней сонной артерии (ВСА) [1–5]. На настоящий момент для оценки окклюдующего поражения артерий возможно применение целого ряда современных и информативных методов диагностики, каждый из которых обладает определенными преимуществами и недостатками.

История

Первоначально значение сонных артерий в развитии неврологической дисфункции было отмечено древними греками. Термин «сонная» произошел из греческого языка (*karōtides*) и обозначает «оглушение, шок, очень глубокий сон», что было связано с тем, что компрессия артерии вызывала потерю сознания («глубокий сон») [6].

Попытки объяснения взаимосвязи между кровотоком по сонным артериям и раз-

витием нарушения мозгового кровообращения относятся к XVI и XVII вв. Первое значимое описание сонных артерий было сделано швейцарским терапевтом Johann Jakob Wepfer в 1658 г., который отметил гемисферное кровоснабжение головного мозга сонными артериями и впервые задокументировал связь между изменениями в артериях и симптомами церебральной ишемии. В 1664 г. Thomas Willis расширил результаты его работы и детально описал сосудистое кольцо основания головного мозга, снабдив научные данные детальными иллюстрациями [7]. В 1809 г. английский хирург Astley Cooper подтвердил возможность развития инсульта после перевязки сонной артерии [8].

В 1856 г. R. Virchow описал тромбоз сонной артерии с развитием ипсилатеральной слепоты [9], затем клиническая картина тромбоза ВСА была представлена в 1881 г. F. Penzoldt, а полностью синдром, включивший временный гемипарез, афазию, временную потерю сознания, был описан в 1905 г. Н. Chiari

в Праге. В 1914 г. Ramsey Hunt детально описал синдром, включавший контралатеральную гемиплегию и преходящую слепоту (*amaurosis fugax*), которые явились следствием окклюдующего поражения сонных артерий и «размягчения головного мозга» (инсульта) [7]. Он выдвинул предложение, что во всех случаях развития у пациента церебральных симптомов возможной сосудистой этиологии требуется тщательное изучение состояния сонных артерий.

Предположения о возможности восстановления кровотока по сонным артериям впервые были сделаны Т. Gluck в 1898 г., автор также первым при экспериментальных операциях на животных провел протезирование фрагмента общей сонной артерии венозным протезом [10]. В 1914 г. R. Matas описал компрессионный тест, с помощью которого оценивали эффективность коллатеральной циркуляции в сосудах головного мозга [7].

Тенденции развития диагностических технологий

Первые ангиографические исследования церебральных сосудов были выполнены в начале XX в. Egas Moniz, который продемонстрировал ангиограммы диагностического качества (рис. 1), полученные при помощи внутриартериальной инъекции бромида стронция и йодистого раствора натрия [11].

Затем в течение нескольких лет на примере различных исследований была показана связь между окклюзией сонной артерии и развитием характерной клинической картины ишемического инсульта [11]. Эти данные привели к заключению, что при наличии клинических симптомов окклюзии ВСА ангиографическое исследование должно быть проведено в обязательном порядке.

После серии исследований, сопоставляющих варианты окклюдующего поражения сонных артерий и развитие клинической симптоматики, в 1940-х годах пришло понимание, что симптомы церебральной

ишемии могут быть вызваны не только окклюзией, но и стенозом ВСА [7]. Учеными Carl Fisher и Ramsey Hurt было сделано заключение о том, что изъязвленная бляшка на уровне бифуркации общей сонной артерии (ОСА) может вызывать церебральную эмболию [12].

Вторая половина XX в. была отмечена стремительным развитием реконструктивной хирургии по поводу окклюдующего поражения сонных артерий, что привело к эволюции диагностических возможностей в данной области [13].

По мере развития методов операций на сонных артериях значительно увеличивалось количество ежегодно выполняемых оперативных вмешательств [13]. Поэтому появилась необходимость разработки критериев оценки целесообразности проведения операции на основании клинического состояния пациента и диагностических данных.

В конце XX в. были опубликованы результаты двух крупных научных исследований, посвященных определению целесообразности проведения реконструкций сонных артерий у симптомных пациентов. Оценка степени сужения ВСА в этих исследованиях проводилась по данным ангиографии.

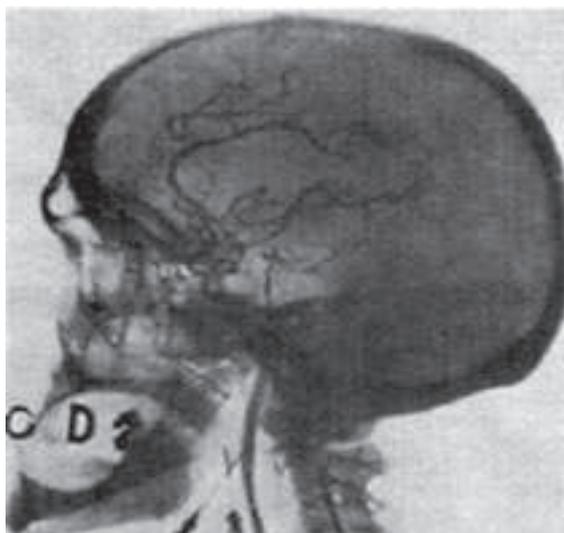


Рис. 1. Одна из первых ангиограмм сосудов головного мозга, выполненных Е. Moniz [11]

Исследование NASCET (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial) было выполнено в 1991 г. и на настоящий момент считается международным стандартом для оценки стеноза ВСА. При определении стеноза измеряли диаметр просвета ВСА в месте максимального сужения, далее – диаметр просвета ВСА в вышележащих отделах, там, где контуры просвета становились параллельными друг другу (рис. 2). После чего полученные значения подставляли в формулу для расчета степени сужения [14].

$$\text{Процент стеноза} = \frac{A - B}{A} \times 100\%,$$

где А – просвет ВСА выше уровня сужения; В – диаметр просвета ВСА на уровне сужения.

В 1996 г. было проведено исследование ECST (European Carotid Surgery Trial), в котором также взяли за основу оценку эффективности оперативного лечения пациентов с симптомной картиной заболевания [15]. Также использовалась ангиография, в ходе которой измеряли диаметр просвета артерии в месте максимального стеноза, а затем брали для расчета гипотетический диаметр сонной артерии на уровне луковицы (см. рис. 2).

$$\text{Процент стеноза} = \frac{C - B}{C} \times 100\%,$$

где В – диаметр просвета ВСА на уровне сужения; С – гипотетический диаметр луковицы ВСА.

Исследователи разделили выявленные стенозы на легкие (менее 50%), умеренные (50–69%) и выраженные (70–99%). У пациентов с умеренными и выраженными сужениями результаты хирургического лечения были лучше, тогда как у пациентов с легкими степенями сужения они были эквивалентны результатам при медикаментозной терапии.

Использование различных параметров измерения для определения степени стеноза ВСА с включением их в одну и ту же

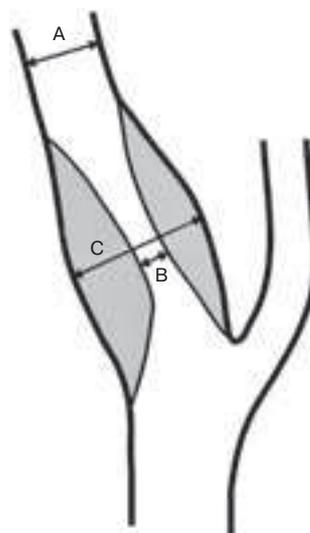


Рис. 2. Схема определения степени стеноза ВСА по NASCET (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial) и по ECST (European Carotid Surgery Trial): А – просвет ВСА выше уровня сужения; В – диаметр просвета ВСА на уровне сужения; С – гипотетический диаметр луковицы ВСА [16]

формулу привело к различным значениям степени сужения артерий, при которых было проведено оперативное лечение. С учетом различных вариантов расчета степени сужения артерии стеноз около 85–90% по ECST соответствует 70–99% стенозу по NASCET. Различия между полученными данными снижались по мере усугубления степени поражения сосуда. Поэтому при оценке результатов ECST также было отмечено снижение рисков ишемических инсультов после оперативного лечения у пациентов с выраженными сужениями ВСА (70–99%) [14, 15].

На протяжении многих лет ангиография оставалась ведущим методом – «золотым стандартом» в диагностике окклюзирующего поражения брахиоцефальных артерий, так как могла продемонстрировать изменения в сосудах на всем протяжении, обладала высокой разрешающей способностью, а также позволяла при необходимости выполнять функциональные исследования.

По мере развития современных неинвазивных технологий визуализации, катетер-

ная ангиография постепенно отошла на второй план в диагностике атеросклеротических изменений брахиоцефальных артерий (БЦА). Во многом это связано с риском развития неврологических событий после проведения диагностической ангиографии: риск развития острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) по ишемическому типу составляет 1%, риск транзиторных ишемических атак (ТИА) – 4% [2, 17, 18].

Ультразвуковое исследование

Истоки возникновения данного метода диагностики относятся к XVIII в., когда итальянский ученый Lazzaro Spallanzani впервые обратил внимание на способность летучих мышей ориентироваться на слух, а не на зрение [19]. В 1938 г. гарвардские студенты Donald Griffin и Robert Galambos установили, что летучие мыши издают высокочастотные звуки, а затем воспринимают эхо, возникшее при их отражении от поверхностей на различном расстоянии. Для описания этого понятия был использован термин «эхолокация» [20]. Австрийский ученый Christian Doppler в 1842 г. описал физическое явление, в основе которого лежало изменение частоты передаваемых световых волн при наличии движения между источником волны и наблюдателем [21]. Данные изменения позже получили название «эффекта доплера». Затем открытие пьезоэлектричества Jacques и Pierre Curie во второй половине XIX в. позволило генерировать и получать волны давления при помощи определенных кристаллов. После трагического крушения «Титаника» в 1912 г. канадский инженер Reginald Fessenden предложил применить технологию излучения и получения отраженных волн для обнаружения подводных препятствий. Ученый использовал азбуку Морзе, которая распространялась под водой в виде высокочастотных звуков (рис. 3) [22]. Идея затем получила широкое развитие, особенно для поиска судов под водой во время Второй мировой войны.



Рис. 3. R. Fessenden и аппарат для поиска подводных препятствий [22]

Самые ранние описания применения ультразвука в медицинской практике отмечали невысокое качество изображений, что послужило стимулом для совершенствования технологии, и в 1952 г. было открыто получение двумерных изображений при ультразвуковом исследовании (УЗИ) – В-режим.

Ультразвуковая доплерография (УЗДГ) была предложена для оценки состояния сосудов в 1970 г. японским физиком Shigeo Satomura [20], который продемонстрировал, что доплеровские сигналы могут быть получены от биения сердца и движения его клапанов, затем ученый распространил полученные данные на изучение состояния периферических сосудов. На настоящий момент УЗДГ широко применяется для скрининга у пациентов с подозрением на стенозирующий процесс в сонных артериях и для подробной оценки состояния перед предстоящим оперативным вмешательством [2, 16, 17, 23–25].

Ультразвуковая доплерография является неинвазивным методом диагностики и дает точную информацию о степени стеноза сонных артерий и морфологии бляшки. Комплексная ультразвуковая диагностика

при подозрении на наличие окклюдизирующего поражения БЦА включает: ультразвуковое дуплексное сканирование БЦА на всех уровнях, доступных обследованию; проведение функциональных и ротационных проб для выявления патологии позвоночных и подключичных артерий, внутренних яремных вен; оценку кровотока по надблоковым артериям, оценку скоростей и индексов периферического сопротивления при помощи транскраниальной доплерографии в интракраниальных артериях и венах [2, 17, 24, 25].

Вычисление степени стеноза в основном базируется на определении пиковой систолической и конечной диастолической скоростей на уровне сонной артерии. Считается, что пиковая систолическая скорость кровотока, равная 125 см/с или более, идентична ангиографическому значению степени стеноза 50%. К дополнительным критериям, соответствующим подобной степени поражения, относятся: показатель отношения пиковых систолических скоростей в ВСА к ОСА (2–4), а также значения конечной диастолической скорости в ВСА (40–100 см/с). Для стеноза ВСА более 70% по данным ангиографии характерны: пиковая систолическая скорость, равная 230 см/с или более; отношение пиковой систолической скорости в ВСА к ОСА более 4, конечная диастолическая скорость в ВСА более 100 см/с [2, 17, 24, 25].

Для сужений 50–69% показатели чувствительности, специфичности и точности ультразвуковых исследований составляют около 93, 68 и 85% соответственно. Повышение скорости кровотока более 230 см/с свидетельствует о наличии у пациента сужения более 70% с чувствительностью 99%, специфичностью 86% и общей точностью 95% [2, 17, 23–25].

Оценка степени сужения по данным УЗИ непосредственно с изменением диаметров суженных сосудов также возможна с применением методов NASCET и ECST.

С учетом расхождения в определении степеней стенозов при использовании раз-

личных вариантов обсчета в зарубежных рекомендациях были предложены критерии оценки сужения, представляющие соотношение между измеряемыми показателями в ВСА и ОСА [16].

Использование В-режима при УЗИ позволяет оценить структуру атеросклеротической бляшки. Наиболее употребляемой является классификация Gray-Weale's (Gray-Weale's scale) в модификации G. Geroulakos et al. (1993 г.). В данной классификации на основании экзогенности и однородности выделяют пять типов [2, 26]:

I – однородная эхонегативная («мягкая» гомогенная) бляшка;

II – преимущественно эхонегативная бляшка, содержание гипоэхогенных зон более 50%, содержание эхогенных зон менее 25% (гетерогенная гипоэхогенная);

III – преимущественно эхопозитивная бляшка с содержанием гиперэхогенных зон более 50%, содержание гипоэхогенных зон менее 25% (гетерогенная гиперэхогенная);

IV – однородная эхопозитивная («плотная» гомогенная) бляшка;

V – неклассифицируемая бляшка вследствие выраженного кальциноза, формирующего акустическую тень.

При визуализации стенозов ВСА ультразвуковой метод имеет ряд известных ограничений и недостатков. Известно, что пиковые скоростные показатели будут выше у женщин по сравнению с мужчинами, а также при оценке состояния сонных артерий в случаях односторонней окклюзии. Высокая бифуркация ОСА, выраженная извитость артерий, протяженный кальциноз бляшек, избыточная масса тела пациента отрицательно влияют на точность изменений. Также отмечаются трудности в дифференциации субокклюзии ВСА и ее полной окклюзии [2, 17].

Компьютерная томографическая ангиография

Начало развития компьютерной томографии было положено Allan MacLeod Cormack и Godfrey Newbold Hounsfield.



Рис. 4. Первый компьютерный томограф, созданный G. Hounsfield [27]

В 1950-х годах А.М. Cormack теоретически обосновал возможность реконструкции изображений из рентгеновских проекций, а в 1967 г., независимо от него, G.N. Hounsfield начал исследования в данной области и создал первый компьютерный томограф (рис. 4) [27].

С момента выполнения первой компьютерной томографии головного мозга в 1971 г. до введения в практику спирального сканирования с контрастированием прошло около 20 лет. Первые работы, освещающие возможности компьютерной томографической ангиографии (КТА), были опубликованы в 1992 г. [28]. Первоначальное применение КТА было в значительной мере ограничено из-за использования одноканальных аппаратов, и поэтому исследования проводились только на определенных ограниченных сосудистых территориях. С 1998 г. отмечается быстрое совершенствование технологий компьютерной томографии: увеличение количества детекторов, появление возможности использования двух источников излучения, разработка программ для специального анализа сосудов. Эти факторы определили широкое распространение КТА с возможностью ее применения практически во всех сферах диагностики сосудистой патологии [29].

Компьютерная томографическая ангиография отличается высоким пространственным разрешением, быстрым временем сканирования, меньшей стоимостью по сравнению с контрастной МР-ангиографией (МРА), дает возможность визуализации одновременно костных, мягкотканых структур и сосудов на всех уровнях сканирования. При проведении КТА брахиоцефальных артерий необходимо исследование сосудов на всем протяжении с захватом экстра- и интракраниальных отделов для оценки окклюзирующего поражения на разных уровнях, выявления сопутствующих аномалий развития и заболеваний.

В оценке степени стеноза при КТА используются изображения в различных плоскостях (аксиальной, фронтальной и сагитальной) и специальные программы для детального анализа артерий (рис. 5).

Используется построение трехмерных реконструкций, в том числе для отображения расположения окклюзирующего поражения сонных артерий по отношению к прилежащим костным структурам (рис. 6).

При диагностике стенозов сонных артерий для КТА были получены высокие цифры чувствительности и специфичности (90 и 95% соответственно). Чувствительность и специфичность метода в диагностике окклюзий достигает 97 и 99% соответственно [31, 32].

При оценке структуры атеросклеротической бляшки визуализация кальцинированных фрагментов на КТА отличается высокой точностью, однако в определении мягких компонентов бляшки (липидного ядра, фиброзного компонента) отмечается расхождение с данными гистологического исследования около 72,6% [33].

При определении состояния поверхности атеросклеротической бляшки в ВСА, в частности ее изъязвления, показатели чувствительности и специфичности, встречающиеся в литературе, варьируют от 66 и 61% до 93,75 и 98,59% соответственно [34–40].

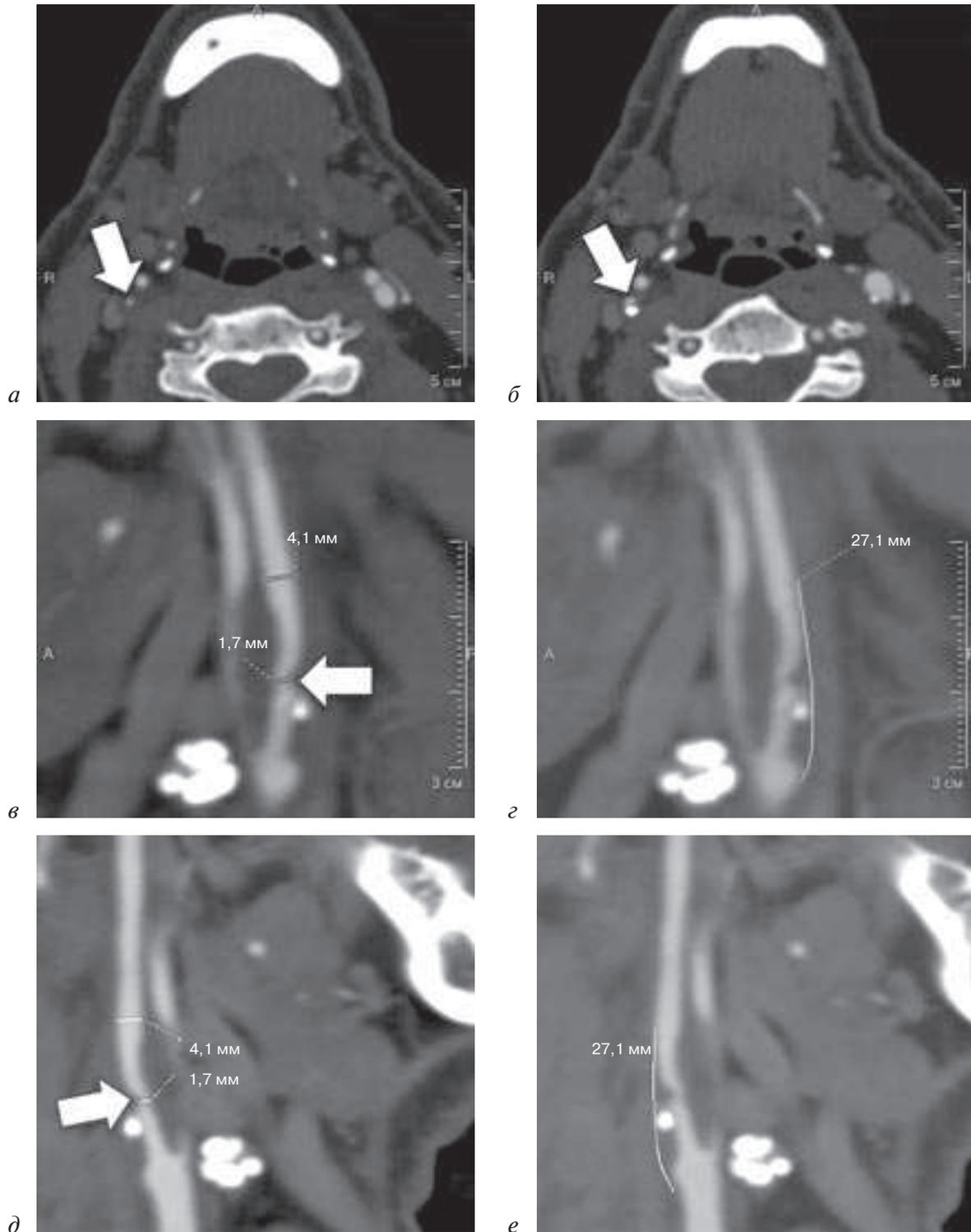


Рис. 5. Компьютерная томографическая ангиография. Выраженное сужение ВСА (указано стрелками) за счет комбинированной бляшки:
a, б – анализ состояния ВСА на аксиальных изображениях; *в, г* – построение мультипланарной реконструкции по ходу длинной оси ВСА для выведения атеросклеротической бляшки; *д, е* – использование программы для углубленного анализа сосудистого русла [30]

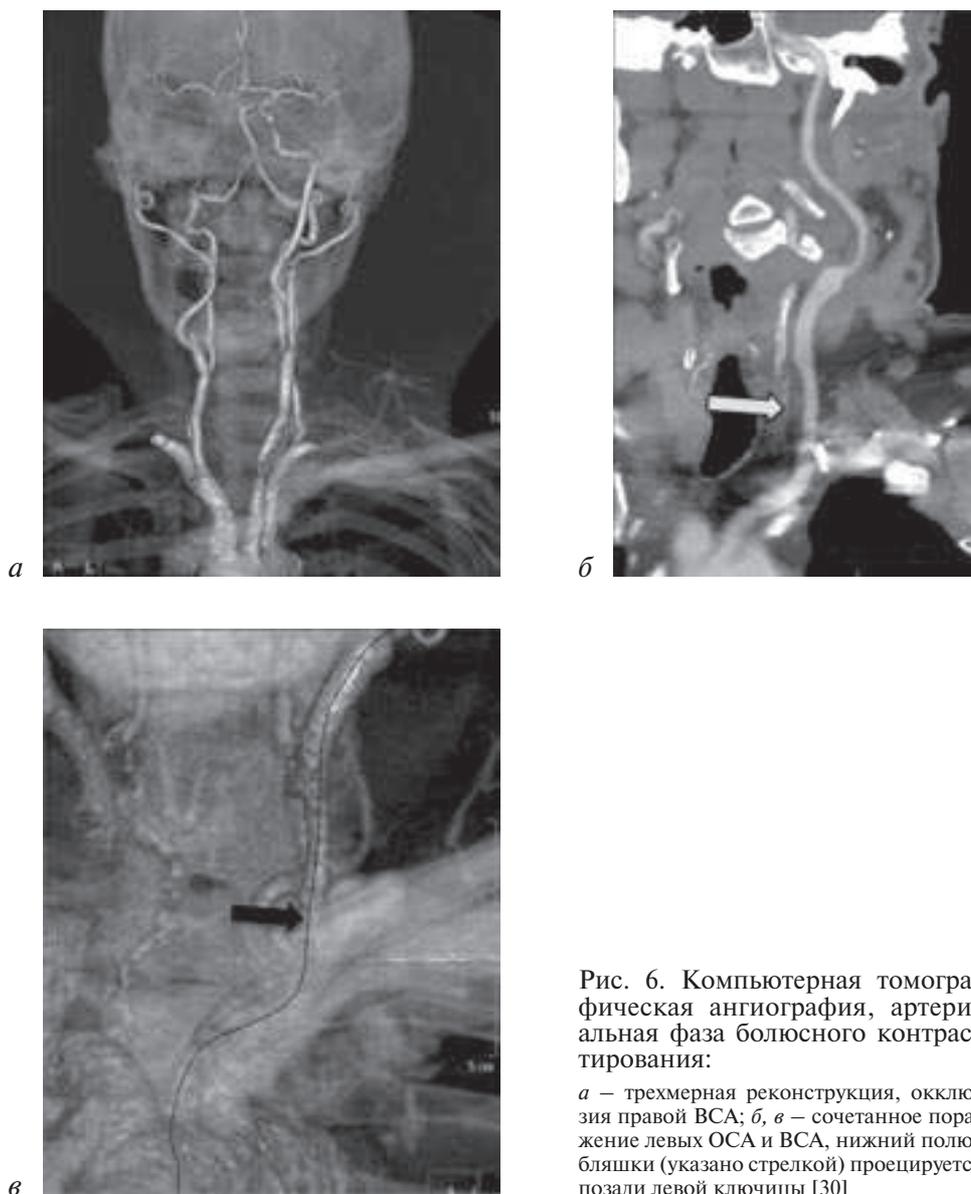


Рис. 6. Компьютерная томографическая ангиография, артериальная фаза болюсного контрастирования:

а – трехмерная реконструкция, окклюзия правой ВСА; *б, в* – сочетанное поражение левых ОСА и ВСА, нижний полюс бляшки (указано стрелкой) проецируется позади левой ключицы [30]

Данные о возможности КТА в определении строения бляшки, выявлении ее липидного ядра противоречивы во многом из-за артефактов от кальциноза в структуре бляшки, а также из-за суммации плотности от различных компонентов бляшки на получаемых изображениях [38–41]. К недостаткам КТА относятся и необходимость внутривенного введения йодсодержащего контрастного препарата, и наличие лучевой нагрузки для пациента.

Магнитно-резонансная ангиография

История возникновения технологии магнитно-резонансной томографии (МРТ) относится к фундаментальным исследованиям Isidor Isaac Rabi, который в 1938 г. пропустил пучок молекул через магнитное поле и продемонстрировал, что они могут создать волны с определенной частотой [42]. Дальнейшие работы в этом направлении позволили разграничить жидкие и солевые компоненты тканей, а в 1971 г.

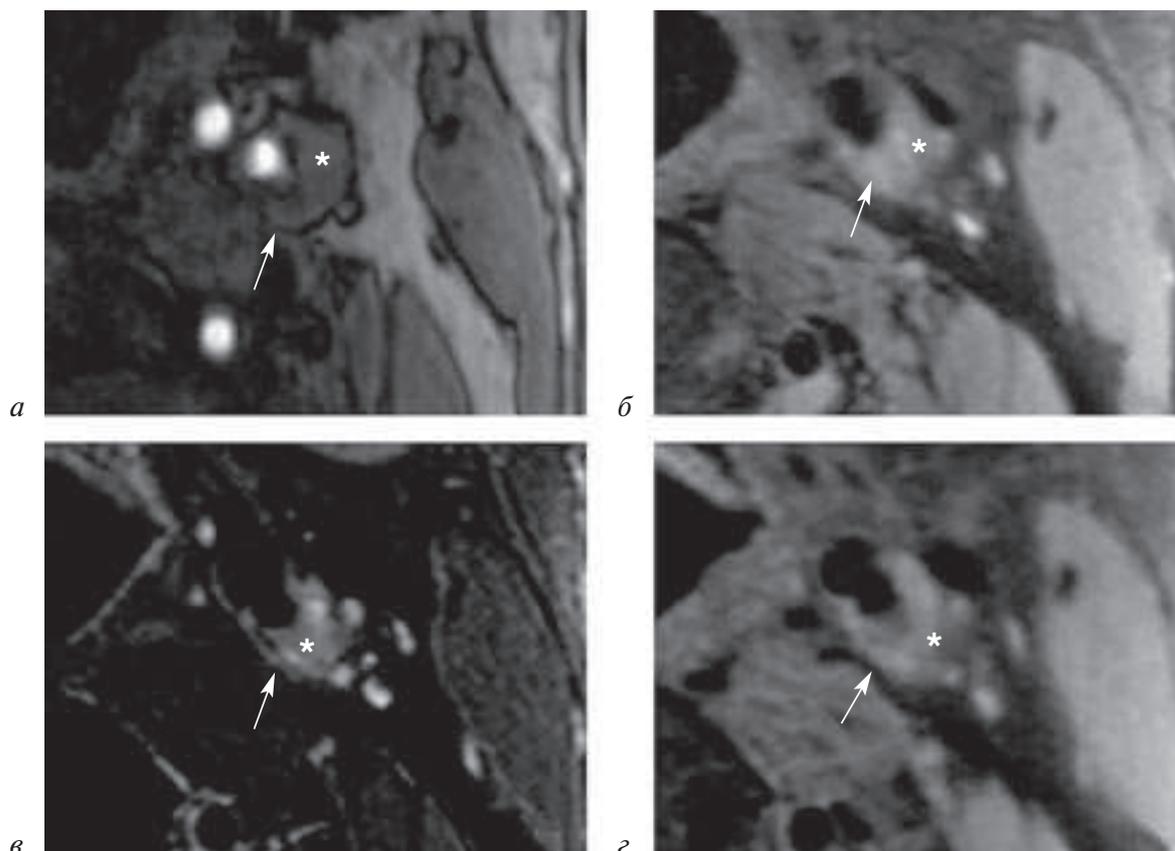


Рис. 7. Поперечные срезы через левую ВСА и наружную сонную артерию:
а – 3D ToF-изображение (Time-of-Flight); *б* – протонно-взвешенное (proton density (PD)) изображение; *в* – T2-взвешенное изображение; *г* – T1-взвешенное изображение. Визуализируется овальной формы липидное ядро (указано стрелкой), окруженное тромботическими массами (*) [45]

было предположено, что время релаксации при магнитном резонансе позволит дифференцировать опухолевую ткань от неповрежденной [42]. Через 30 лет после возникновения научного направления, связанного с магнитным резонансом, Paul Lauterbur показал, что с помощью ядерной МРТ возможно получение изображения [42], и, наконец, в 1977 г. были продемонстрированы первые магнитно-резонансные изображения человека. Первое описание магнитно-резонансной ангиографии было опубликовано в 1985 г. и представляло контрастное исследование на основе последовательности спин-эхо с кардиосинхронизацией [42]. С момента первых исследований МРТ и в частности МРА получили стремительное развитие, и на

настоящее время МРА представлена быстрыми как бесконтрастными, так и контрастными исследованиями.

При применении бесконтрастной методики для оценки состояния экстракраниальных отделов брахиоцефальных артерий возможно возникновение разнообразных артефактов, что приводит к ухудшению качества изображения. Для времяпролетной бесконтрастной МРА чувствительность и специфичность в диагностике 70–99% сужений составляет 88 и 84% соответственно. В диапазоне сужений 50–69% при МРА отмечаются трудности в диагностике умеренного и выраженного стеноза. Тяжелые поражения сонной артерии могут приводить к потере сигнала, что не позволяет четко различить наличие или отсутствие

окклюзии, а также определить протяженность измененного участка [43–45].

Контрастная МРА отличается большими возможностями в оценке окклюдированного поражения сонных артерий; чувствительность и специфичность метода при различных вариантах поражения сосуда составляет 82,3 и 86,0% соответственно [43–47].

При оценке изъязвления атеросклеротической бляшки в сонной артерии контрастная МРА обладает преимуществами по сравнению с бесконтрастной методикой, для которой характерна большая частота ложно-негативных результатов [45].

При помощи T1-, T2-взвешенных последовательностей, протон-взвешенных последовательностей с высоким разрешением на МРТ можно охарактеризовать структуру бляшки, выявить липидное ядро, некротический центр бляшки и фиброзную капсулу с высокими значениями чувствительности и специфичности (рис. 7) [37, 38, 45, 48].

Также существует возможность дифференцировать интактную тонкую или толстую покрышку капсулы и признаки ее разрыва или изъязвления. С использованием специальных последовательностей появилась возможность визуализировать кальцинаты, признаки тромбоза и кровоизлияния [37, 45, 48, 49].

К недостаткам метода относятся ограниченность применения у тяжелых и неконтактных пациентов, наличие ряда противопоказаний к проведению исследования.

Заключение

Таким образом, в современной медицине существует целый ряд диагностических методов, каждый из которых обладает рядом достоинств и недостатков. На настоящий момент только УЗИ включено в обязательный протокол обследования пациентов перед планированием реконструктивных операций по поводу окклюдированного

поражения сонных артерий [2, 17]. КТА и МРА применяются только в отдельных сложных диагностических случаях. Обзор современной литературы показывает, что оба метода (КТА и МРА) высоко информативны в оценке окклюдированного атеросклеротического поражения сонных артерий, поэтому вопрос о целесообразности их включения в стандартный алгоритм обследования пациента перед оперативным вмешательством актуален и требует объективного научного обоснования.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Стаховская Л.В., Котова С.В. (ред.) Инсульт: Руководство для врачей. М.: Медицинское информационное агентство; 2013.
2. Национальные рекомендации по ведению пациентов с заболеваниями брахиоцефальных артерий. М.; 2013.
3. Верещагин Н.В. Роль поражений экстракраниальных отделов магистральных артерий головы в патогенезе нарушений мозгового кровообращения. В кн.: Сосудистые заболевания нервной системы. Смоленск; 1980: 23–6.
4. Суслина З.А., Варакин Ю.Я. Эпидемиологические аспекты изучения инсульта. Время подводить итоги. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2007; 2: 22–8.
5. Суслина З.А., Пирадов М.А. Инсульт: диагностика, лечение, профилактика. 2-е изд. М.: МЕДпресс-информ; 2009.
6. Robicsek F, Roush T.S., Cook J.W., Reames M.K. From Hippocrates to Palmaz-Schatz, the history of carotid surgery. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2004; 27: 389–97.
7. Matas R. Testing the efficiency of the collateral circulation as a preliminary to the occlusion of the great surgical arteries. *JAMA*. 1914; 63: 1441–7.
8. Cooper A. Account of the first successful operation performed on the common carotid artery for aneurysm in the year 1808, with post-mortem examination in 1821. *Guy's Hosp. Rep.* 1836; 1: 53–9.
9. Virchow R. Thrombose and Embolie: Gefassen Zundung und septische Infektion in gesammelte Abhandlungen zur wissenschaftlichen Medicin. Frankfurt: A.M. Meidinger; 1856.
10. Gluck T. Die moderne Chirurgie des Circulations Apparates. *Berl. Klin.* 1898; 129: 1–29.

11. Moniz E. L'encephalographie arterielle; son importance dans la localization des tumeurs cerebrales. *Rev. Neurol.* 1927; 2: 72–90.
12. Fisher C., Adams R. Observations on brain embolism with special reference to the mechanism of hemorrhagic infarction [abstr.]. *J. Neuropathol. Exp. Neurol.* 1951; 10: 92–3.
13. Ашер А., Покровский А.В. Сосудистая хирургия по Хаймовичу. Т. 1. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний; 2012.
14. North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade stenosis. *N. Engl. J. Med.* 1991; 325: 445–53.
15. Randomised trial of endarterectomy for recently symptomatic carotid stenosis: final results of the MRC European Carotid Surgery Trial (ECST). *Lancet.* 1998; 351 (9113): 1379–87.
16. Oates C.P., Naylor A.R., Hartshorne T., Charles S.M., Fail T., Humphries K. et al. Joint recommendations for reporting carotid ultrasound investigations in the United Kingdom. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2009; 37: 251–61.
17. Ricotta J.J., AbuRahma A., Ascher E., Eskandari M., Faries P., Brajesh K. Updated Society for Vascular Surgery guidelines for management of extracranial carotid disease. *J. Vasc. Surg.* 2011; 54 (3): 1–31.
18. Leonardi M., Cenni P., Simonetti L., Raffi L., Battaglia S. Retrospective study of complications arising during cerebral and spinal diagnostic angiography from 1998 to 2003. *Intervent. Neuroradiol.* 2005; 11: 213–21.
19. Kane D., Grassi W., Sturrock R., Balint P.V. A brief history of musculoskeletal ultrasound: 'from bats and ships to babies and hips'. *Rheumatology (Oxford).* 2004; 43 (7): 931–3.
20. Kaproth-Joslin K.A., Nicola R., Dogra V.S. The History of US: From bats and boats to the bedside and beyond: RSNA Centennial Article. *RadioGraphics.* 2015; 35 (3): 960–70.
21. Doppler C.A. Über das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels. *Abh. Königl. Böhm. Ges. Wiss.* 1843; 2: 465–82.
22. Submarine signaling: some recent discoveries for the safeguarding of ocean navigation. *Sci. Am. Suppl.* 1915; 80 (2071): 168–70.
23. Jauch E.C., Saver J.L., Adams H.P., Bruno A., Connors J.J., Demaerschalk B.M. et al. Guidelines for the early management of patient with acute ischemic stroke. *Stroke.* 2013; 44: 870–947.
24. Standard method for ultrasound evaluation of carotid artery lesions Terminology and Diagnostic Criteria Committee, Japan Society of Ultrasonics in Medicine. *Jpn. J. Med. Ultrasonics.* 2009; 36: 501–18.
25. AbuRahma A.F., Srivastava M., Stone P.A., Mousa A.Y., Jain A., Dean L.S. et al. Critical appraisal of the carotid duplex consensus criteria in the diagnosis of carotid artery stenosis. *J. Vasc. Surg.* 2011; 53: 53–60.
26. Geroulakos G., Ramaswami G., Lambropoulos N. et al. Characterization of symptomatic and asymptomatic carotid plaques using high-resolution real-time ultrasonography. *Br. J. Surg.* 1993; 80: 1274–7.
27. Cierniak R. X-ray computed tomography in biomedical engineering & history of computered tomography. London: Springer-Verlag; 2011: 7–19.
28. Napel S., Marks M.P., Rubin G.D., Dake M.D., McDonnell C.H., Song S.M., Enzmann D.R., Jeffrey R.B., Jr. CT angiography with spiral CT and maximum intensity projection. *Radiology.* 1992; 185 (2): 607–10.
29. Rubin G.D., Leipsic J., Schoepf J.U., Fleischmann D., Napel S. CT angiography after 20 years: a transformation in cardiovascular disease characterization continues to advance. *Radiology.* 2014; 271 (3): 633–52.
30. Вишнякова М.В., Вишнякова М.В. (мл.), Ларьков Р.Н., Денисова Л.Б., Подрез Д.В. Компьютерная томографическая ангиография в оценке окклюзирующего поражения брахиоцефальных артерий: Учебное пособие. М.; 2017.
31. Gladstone D.J., Kapral M.K., Fang J., Laupacis A., Tu J.V. Management and outcomes of transient ischemic attacks in Ontario. *CMAJ.* 2004; 170: 1099–104.
32. Koelemay M.J., Nederkoorn P.J., Reitsma J.B., Majoie C.B. Systematic review of computed tomographic angiography for assessment of carotid artery disease. *Stroke.* 2004; 35: 2306–12.
33. Wintermark M., Jawadi S.S., Rapp J.H., Tihan T., Tong E., Glidden D.V. et al. High-resolution CT imaging of carotid artery atherosclerotic plaques. *Am. J. Neuroradiol.* 2008; 29 (5): 875–82.
34. Saba L., Caddeo G., Sanfilippo R., Montisci R., Mallarini G. CT and Ultrasound in the Study of Ulcerated Carotid Plaque compared with surgical results: potentialities and advantages of multidetector row CT angiography. *Am. J. Neuroradiol.* 2007; 28 (6) 1061–6.
35. Четкин А.О., Друина Л.Д., Евдокименко А.Н., Гулевская Т.С., Скрылев С.И., Танащян М.М. Новые подходы к оценке признаков нестабильности атеросклеротической бляшки в сонных артериях. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии.* 2017; 11 (1): 47–54.
36. Мамедов Ф.Р., Арутюнов Н.В., Усачев Д.Ю., Лукшин В.А., Мельникова-Пицхелаури Т.В., Фадеева Л.М. и др. Современные методы нейровизуализации при стенозирующей и окклюзирующей патологии сонных артерий. *Лучевая диагностика и терапия.* 2012; 3 (3): 109–16.
37. Rafailidis V., Chrysogonidis I., Tegos T., Kouskouras K., Charitanti-Kouridou A. Imaging of the ulcerated carotid atherosclerotic plaque:

- a review of the literature. *Insights Imaging*. 2017; 8 (2): 213–25.
38. De Weert T.T., Ouhlous M., Meijering E., Zonder van P.E., Hendriks J.M., van Sambeek M.R. et al. In vivo characterization and quantification of atherosclerotic carotid plaque components with multidetector computed tomography and histopathological correlation. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 2006; 26: 2366–72.
39. Eesa M., Hill M.D., Al-Khathaami A., Al-Zawahmah M., Sharma P., Menon B.K. et al. Role of CT angiographic plaque morphologic characteristics in addition to stenosis in predicting the symptomatic side in carotid artery disease. *Am. J. Neuroradiol.* 2010; 31: 1254–60.
40. U-King-Im J.M., Fox A.J., Aviv R.I., Howard P., Yeung R., Moody A.R. et al. Characterization of carotid plaque hemorrhage. A CT angiography and MR intraplaque hemorrhage study. *Stroke*. 2010; 41: 1623–9.
41. Wintermark M., Jawadi S.S., Rapp J.H., Tihan T., Tong E., Glidden D.V. et al. High-resolution CT imaging of carotid artery atherosclerotic plaques. *Am. J. Neuroradiol.* 2008; 29: 875–82.
42. Edelman R.R. The history of MR imaging as seen through the pages of radiology. *Radiology*. 2014; 273: S181–200.
43. Fellner C., Lang W., Janka R., Wutke R., Bautz W., Fellner F.A. Magnetic resonance angiography of the carotid arteries using three different techniques: accuracy compared with intraarterial X-ray angiography and endarterectomy specimens. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2005; 21 (4): 424–31.
44. Clevert D.A., Johnson T., Michaely H., Jung E.M., Flach P.M., Strautz T.I. et al. High-grade stenoses of the internal carotid artery: comparison of high-resolution contrast enhanced 3D MRA, duplex sonography and power Doppler imaging. *Eur. J. Radiol.* 2006; 60 (3): 379–86.
45. Стразденъ Е.Ю., Шария М.А., Тарарак Э.М., Устюжанин Д.В., Радюхина Н.В. Оценка структуры атеросклеротической бляшки методом магнитно-резонансной томографии с целью определения ее стабильности. *Региональное кровообращение и микроциркуляция*. 2013; 12 (1): 31–5.
46. Cai J., Wu D., Mo Y., Wang A., Hu S., Ren L. Comparison of extracranial artery stenosis and cerebral blood flow, assessed by quantitative magnetic resonance, using digital subtraction angiography as the reference standard. *Medicine*. 2016; 95 (46): e5370.
47. Tomasian A., Salamon N., Lohan D.G., Jalili M., Villablanca J.P., Finn J.P. Supraaortic arteries: contrast material dose reduction at 3.0-T high-spatial-resolution MR angiography—feasibility study. *Radiology*. 2008; 249 (3): 980–90.
48. Yuan C., Mitsumori L.M., Ferguson M.S., Polissar N.L., Echelard D., Ortiz G. et al. In vivo accuracy of multispectral magnetic resonance imaging for identifying lipid-rich necrotic cores and intraplaque hemorrhage in advanced human carotid plaques. *Circulation*. 2001; 104: 2051–6.
49. Бобрикова Е.Э., Щербань Н.В., Ханеев В.Б., Шелковникова Т.А., Буховец И.Л., Плотников М.П. и др. Оценка состояния атеросклеротических бляшек брахиоцефальных артерий средствами высокоразрешающей контрастированной МРТ: взаимосвязь с ишемическим повреждением головного мозга. *Медицинская визуализация*. 2013; 1: 26–32.

References

1. Stakhovskaya L.V., Kotova S.V. (Eds.) Stroke: A guideline for doctors. Moscow; 2013 (in Russ.).
2. National guidelines for management of patients with brachiocephalic artery disease. Moscow; 2013 (in Russ.).
3. Vereshchagin N.V. The role of extracranial divisions of the main arteries of the head in the pathogenesis of disorders of cerebral circulation. In: Vascular diseases of the nervous system. Smolensk; 1980; 23–6 (in Russ.).
4. Suslina Z.A., Varakin Yu.Ya. Epidemiological aspects of stroke observation. It's time to sum up. *Annaly Klinicheskoy i Eksperimental'noy Nevrologii (Annals of Clinical and Experimental Neurology)*. 2007; 2: 22–8 (in Russ.).
5. Suslina Z.A., Piradov M.A. Stroke: diagnosis, treatment, prevention. 2-e ed. Moscow: MEDpress-inform; 2009 (in Russ.).
6. Robicsek F., Roush T.S., Cook J.W., Reames M.K. From Hippocrates to Palmaz-Schatz, the history of carotid surgery. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2004; 27: 389–97.
7. Matas R. Testing the efficiency of the collateral circulation as a preliminary to the occlusion of the great surgical arteries. *JAMA*. 1914; 63: 1441–7.
8. Cooper A. Account of the first successful operation performed on the common carotid artery for aneurysm in the year 1808, with post-mortem examination in 1821. *Guy's Hosp. Rep.* 1836; 1: 53–9.
9. Virchow R. Thrombose und Embolie: Gefassen Zundung und septische Infektion in gesammelte Abhandlungen zur wissenschaftlichen Medicin. Frankfurt: A.M. Meidinger; 1856.
10. Gluck T. Die moderne Chirurgie des Circulations Apparates. *Berl. Klin.* 1898; 129: 1–29.
11. Moniz E. L'encephalographie arterielle; son importance dans la localization des tumeurs cerebrales. *Rev. Neurol.* 1927; 2: 72–90.
12. Fisher C., Adams R. Observations on brain embolism with special reference to the mechanism of hemorrhagic infarction [abstr.]. *J. Neuropathol. Exp. Neurol.* 1951; 10: 92–3.
13. Asher A., Pokrovskiy A.V. Vascular surgery according to Haimovich. Vol. 1. Moscow; 2012 (in Russ.).

14. North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high-grade stenosis. *N. Engl. J. Med.* 1991; 325: 445–53.
15. Randomised trial of endarterectomy for recently symptomatic carotid stenosis: final results of the MRC European Carotid Surgery Trial (ECST). *Lancet.* 1998; 351 (9113): 1379–87.
16. Oates C.P., Naylor A.R., Hartshorne T., Charles S.M., Fail T., Humphries K. et al. Joint recommendations for reporting carotid ultrasound investigations in the United Kingdom. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2009; 37: 251–61.
17. Ricotta J.J., AbuRahma A., Ascher E., Eskandari M., Faries P., Brajesh K. Updated Society for Vascular Surgery guidelines for management of extracranial carotid disease. *J. Vasc. Surg.* 2011; 54 (3): 1–31.
18. Leonardi M., Cenni P., Simonetti L., Raffi L., Battaglia S. Retrospective study of complications arising during cerebral and spinal diagnostic angiography from 1998 to 2003. *Intervent. Neuroradiol.* 2005; 11: 213–21.
19. Kane D., Grassi W., Sturrock R., Balint P.V. A brief history of musculoskeletal ultrasound: 'from bats and ships to babies and hips'. *Rheumatology (Oxford).* 2004; 43 (7): 931–3.
20. Kaproth-Joslin K.A., Nicola R., Dogra V.S. The History of US: From bats and boats to the bedside and beyond: RSNA Centennial Article. *RadioGraphics.* 2015; 35 (3): 960–70.
21. Doppler C.A. Über das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels. *Abh. Königl. Böhm. Ges. Wiss.* 1843; 2: 465–82.
22. Submarine signaling: some recent discoveries for the safeguarding of ocean navigation. *Sci. Am. Suppl.* 1915; 80 (2071): 168–70.
23. Jauch E.C., Saver J.L., Adams H.P., Bruno A., Connors J.J., Demaerschalk B.M. et al. Guidelines for the early management of patient with acute ischemic stroke. *Stroke.* 2013; 44: 870–947.
24. Standard method for ultrasound evaluation of carotid artery lesions Terminology and Diagnostic Criteria Committee, Japan Society of Ultrasonics in Medicine. 2009. *Jpn. J. Med. Ultrasonics.* 2009; 36: 501–18.
25. AbuRahma A.F., Srivastava M., Stone P.A., Mousa A.Y., Jain A., Dean L.S. et al. Critical appraisal of the carotid duplex consensus criteria in the diagnosis of carotid artery stenosis. *J. Vasc. Surg.* 2011; 53: 53–60.
26. Geroulakos G., Ramaswami G., Lambropoulos N. et al. Characterization of symptomatic and asymptomatic carotid plaques using high-resolution realtime ultrasonography. *Br. J. Surg.* 1993; 80: 1274–7.
27. Cierniak R. X-ray computed tomography in biomedical engineering & history of computered tomography. London: Springer-Verlag; 2011: 7–19.
28. Napel S., Marks M.P., Rubin G.D., Dake M.D., McDonnell C.H., Song S.M., Enzmann D.R., Jeffrey R.B., Jr. CT angiography with spiral CT and maximum intensity projection. *Radiology.* 1992; 185 (2): 607–10.
29. Rubin G.D., Leipsic J., Schoepf J.U., Fleischmann D., Napel S. CT angiography after 20 years: a transformation in cardiovascular disease characterization continues to advance. *Radiology.* 2014; 271 (3): 633–52.
30. Vishnyakova M.V., Vishnyakova M.V., Jr., Lar'kov R.N., Denisova L.B., Podrez D.V. Computed angiography in assessment of occlusive lesions of brachiocephalic arteries: Tutorial. Moscow; 2017 (in Russ.).
31. Gladstone D.J., Kapral M.K., Fang J., Laupacis A., Tu J.V. Management and outcomes of transient ischemic attacks in Ontario. *CMAJ.* 2004; 170: 1099–104.
32. Koelemay M.J., Nederkoorn P.J., Reitsma J.B., Majoie C.B. Systematic review of computed tomographic angiography for assessment of carotid artery disease. *Stroke.* 2004; 35: 2306–12.
33. Wintermark M., Jawadi S.S., Rapp J.H., Tihan T., Tong E., Glidden D.V. et al. High-resolution CT imaging of carotid artery atherosclerotic plaques. *Am. J. Neuroradiol.* 2008; 29 (5): 875–82.
34. Saba L., Caddeo G., Sanfilippo R., Montisci R., Mallarini G. CT and Ultrasound in the Study of Ulcerated Carotid Plaque compared with surgical results: potentialities and advantages of multidetector row CT angiography. *Am. J. Neuroradiol.* 2007; 28 (6) 1061–6.
35. Chechetkin A.O., Druina L.D., Evdokimenko A.N., Gulevskaya T.S., Skrylev S.I., Tanashyan M.M. New approaches to assessing the signs of instability of atherosclerotic plaque in the carotid arteries. *Annaly Klinicheskoy i Eksperimental'noy Nevrologii (Annals of Clinical and Experimental Neurology).* 2017; 11 (1): 47–54 (in Russ.).
36. Mamedov F.R., Arutyunov N.V., Usachev D.Yu., Lukshin V.A., Mel'nikova-Pitskhelauri T.V., Fadeeva L.M. et al. Modern neuroimaging methods of stenotic and occlusive pathologies of carotid arteries. *Luchevaya Diagnostika i Terapiya (Radiation Diagnostics and Therapy).* 2012; 3 (3): 109–16 (in Russ.).
37. Rafailidis V., Chrysogonidis I., Tegos T., Kouskouras K., Charitanti-Kouridou A. Imaging of the ulcerated carotid atherosclerotic plaque: a review of the literature. *Insights Imaging.* 2017; 8 (2): 213–25.
38. De Weert T.T., Ouhlous M., Meijering E., Zondervan P.E., Hendriks J.M., van Sambeek M.R. et al. In vivo characterization and quantification of atherosclerotic carotid plaque components with multidetector computed tomography and

- histopathological correlation. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 2006; 26: 2366–72.
39. Eesa M., Hill M.D., Al-Khathaami A., Al-Zawahmah M., Sharma P., Menon B.K. et al. Role of CT angiographic plaque morphologic characteristics in addition to stenosis in predicting the symptomatic side in carotid artery disease. *Am. J. Neuroradiol.* 2010; 31: 1254–60.
 40. U-King-Im J.M., Fox A.J., Aviv R.I., Howard P., Yeung R., Moody A.R. et al. Characterization of carotid plaque hemorrhage. A CT angiography and MR intraplaque hemorrhage study. *Stroke.* 2010; 41: 1623–9.
 41. Wintermark M., Jawadi S.S., Rapp J.H., Tihan T., Tong E., Glidden D.V. et al. High-resolution CT imaging of carotid artery atherosclerotic plaques. *Am. J. Neuroradiol.* 2008; 29: 875–82.
 42. Edelman R.R. The history of MR imaging as seen through the pages of radiology. *Radiology.* 2014; 273: S181–200.
 43. Fellner C., Lang W., Janka R., Wutke R., Bautz W., Fellner F.A. Magnetic resonance angiography of the carotid arteries using three different techniques: accuracy compared with intraarterial X-ray angiography and endarterectomy specimens. *J. Magn. Reson. Imaging.* 2005; 21 (4): 424–31.
 44. Clevert D.A., Johnson T., Michaely H., Jung E.M., Flach P.M., Strautz T.I. et al. High-grade stenoses of the internal carotid artery: comparison of high-resolution contrast enhanced 3D MRA, duplex sonography and power Doppler imaging. *Eur. J. Radiol.* 2006; 60 (3): 379–86.
 45. Strazden' E.Yu., Shariya M.A., Tararak E.M., Ustyuzhanin D.V., Radyukhina N.V. Evaluation of the structure of atherosclerotic plaque by magnetic resonance imaging to determine its stability. *Regional'noe Krovoobrashchenie i Mikrotsirkulyatsiya (Regional Circulation and Microcirculation).* 2013; 12 (1): 31–5 (in Russ.).
 46. Cai J., Wu D., Mo Y., Wang A., Hu S., Ren L. Comparison of extracranial artery stenosis and cerebral blood flow, assessed by quantitative magnetic resonance, using digital subtraction angiography as the reference standard. *Medicine.* 2016; 95 (46): e5370.
 47. Tomasian A., Salamon N., Lohan D.G., Jalili M., Villablanca J.P., Finn J.P. Supraaortic arteries: contrast material dose reduction at 3.0-T high-spatial-resolution MR angiography—feasibility study. *Radiology.* 2008; 249 (3): 980–90.
 48. Yuan C., Mitsumori L.M., Ferguson M.S., Polissar N.L., Echelard D., Ortiz G. et al. In vivo accuracy of multispectral magnetic resonance imaging for identifying lipid-rich necrotic cores and intraplaque hemorrhage in advanced human carotid plaques. *Circulation.* 2001; 104: 2051–6.
 49. Bobrikova E.E., Shcherban' N.V., Khaneev V.B., Shelkovich T.A., Bukhovets I.L., Plotnikov M.P. et al. Assessment of the state of atherosclerotic plaques of brachiocephalic arteries by means of high-resolution contrasted MRI: correlation with ischemic brain damage. *Meditsinskaya Vizualizatsiya (Medical Imaging).* 2013; 1: 26–32 (in Russ.).

Поступила 16.08.2017
Принята к печати 25.08.2017