

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-386>

Количественная ультразвуковая оценка каротидного атеросклероза в стратификации риска ишемического инсульта

И.Н. Умнов^{1, 2*}, Д.А. Чугаев¹

¹ ООО “Европейский институт здоровья семьи”; 196657 Санкт-Петербург, г. Колпино, Бульвар Трудящихся, д. 35, корп. 1, Российская Федерация

² СПб ГБУЗ “Городская больница №33”; 196653 Санкт-Петербург, Колпино, ул. Павловская, д. 16А, Российская Федерация

Цель исследования: оценка роли количественных ультразвуковых показателей атеросклеротической бляшки (АСБ) в качестве предикторов развития первичной комбинированной конечной точки у пациентов с каротидным атеросклерозом.

Материал и методы. Обследовано 675 пациентов с каротидным атеросклерозом, не имеющих на момент включения в исследование документированного эпизода транзиторной ишемической атаки или ишемического инсульта, 48,4% мужчины, средний возраст 66 [61; 72] лет. Всем были выполнены электрокардиография, эхокардиография, дуплексное сканирование сонных артерий с оценкой степени стеноза по NASCET и максимальной высоты бляшки с последующим анализом изображений АСБ в формате DICOM. В компьютерном приложении (собственная разработка) выполнены расчет общей площади АСБ и сегментация изображения по диапазонам серой шкалы (“кровь”, “липиды”, “мышечный и фиброзный компоненты”, “кальций”). Наблюдение проводилось в течение 5 лет. За первичную комбинированную конечную точку принято развитие ишемического события в бассейне сонной артерии на стороне поражения или хирургическое лечение каротидного стеноза. Полученные различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. За период наблюдения 85 (12%) пациентов достигли первичной комбинированной конечной точки. Это событие возникало в 3 и 10 раз чаще при наличии у пациентов АСБ I или II типов по Gray-Weale, чем при III и IV типах, соответственно. Независимыми предикторами в модели стратификации пятилетнего риска развития первичной комбинированной конечной точки стали степень стеноза по NASCET, максимальная высота бляшки и показатели сегментация изображения АСБ, за исключением “фиброзного компонента”. Пациенты были разделены на 3 группы: в группу высокого риска развития события (прогнозируемый общий пятилетний риск (ОР) составил 30% и более) вошло 136 (21%) человек, в группу низкого риска (менее 15% ОР) – 405 (64%) человек и в группу среднего (промежуточного) риска (от 15 до 30% ОР) – 99 (15%) человек. Медианные значения степени стеноза по NASCET и максимальной высоты АСБ составили для группы низкого риска 15 [4; 25]% и 2,5 [2,1; 3,1] мм, среднего риска – 24 [14; 27]% и 3,0 [2,5; 3,6] мм, для группы высокого риска – 50 [38; 69]% и 4,3 [3,8; 5,5] мм соответственно ($p < 0,0001$).

Заключение. Степень стеноза по NASCET, максимальная высота бляшки и результаты сегмен-

Умнов Иван Николаевич – заведующий отделением функциональной диагностики ООО “Европейский институт здоровья семьи”; врач ультразвуковой и функциональной диагностики СПб ГБУЗ “Городская больница №33”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-4247-3522>

Чугаев Дмитрий Андреевич – IT-специалист ООО “Европейский институт здоровья семьи”, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0009-0002-7159-0821>

Контактная информация*: Умнов Иван Николаевич – e-mail: uin.eizs@yandex.ru

тации серошкального изображения АСБ по диапазонам серой шкалы являются значимыми независимыми предикторами развития первичной комбинированной конечной точки у асимптомных пациентов с каротидным атеросклерозом.

Ключевые слова: атеросклеротическая бляшка; каротидный стеноз; количественный анализ; ультразвуковое исследование; ишемический инсульт; транзиторная ишемическая атака; стратификация риска

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Цитирование: Умнов И.Н., Чугаев Д.А. Количественная ультразвуковая оценка каротидного атеросклероза в стратификации риска ишемического инсульта. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2026; 32 (2): 23–34. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-386>

Поступила в редакцию: 20.03.2026.

Принята к печати: 14.05.2026.

Опубликована online: 18.05.2026.

ВВЕДЕНИЕ

Ишемический инсульт (ИИ) остается одной из ведущих причин смертности и инвалидизации и занимает одно из первых мест среди неинфекционных заболеваний [1]. Высокая распространенность традиционных факторов риска (артериальная гипертензия, сахарный диабет, дислипидемия, курение и др.) в сочетании с длительным асимптомным течением атеросклероза обуславливает значительное бремя инсульта, особенно в странах с очень высоким кардиоваскулярным риском, к которым относится Российская Федерация [2]. Современная первичная профилактика сердечно-сосудистых осложнений основана на оценке суммарного риска по клинико-демографическим шкалам (SCORE2, SCORE2-OP) и последующей коррекции модифицируемых факторов риска. Однако их прогностическая точность в отношении атеротромботического ИИ у асимптомных пациентов с каротидным атеросклерозом ограничена, что стимулирует поиск дополнительных инструментальных модификаторов риска.

Особое значение имеет ультразвуковое исследование (УЗИ) каротидных артерий, позволяющее оценивать не только степень стеноза, но и морфологию атеросклеротических бляшек (АСБ). К ультразвуковым признакам, ассоциированным с повышенным риском инсульта у асимптомных пациентов, относятся прогрессирование стеноза, наличие спонтанных эмболических сигналов при транскраниальной доплерографии, снижение цереброваскулярной реактивности, крупные гипоэхогенные и неод-

нородные бляшки, выраженная околопросветная гипоэхогенная зона [3]. Однако стратификация, основанная исключительно на степени стеноза, рассматривается как недостаточная; ряд морфологических характеристик бляшек выступает независимыми предикторами ИИ независимо от степени сужения просвета [4]. В 2024 г. была предложена система стратификации риска ИИ Carotid Plaque-RADS [5]. В ее основу положен принцип гистопатологии каротидной АСБ, который является неизменным, а инструментальные методы (УЗИ, магнитно-резонансная, компьютерная томографии и пр.) могут изменяться и развиваться, их заключения основаны на анализе литературы и достоверности имеющихся данных.

Одним из способов совершенствования ультразвукового метода оценки каротидного атеросклероза являются разработка и внедрение количественных критериев, например медианных методов оценки серошкального изображения [6]. Однако работы, посвященные этой тематике, выполнены на ограниченных выборках пациентов, не разработаны единые критерии оценки и методики выполнения УЗИ, что не позволяет сделать выводы о ее более высокой ценности в плане оценки эмболоопасности каротидных АСБ в сравнении с другими инструментальными методами [7].

Цель исследования: оценить роль количественных ультразвуковых показателей АСБ в качестве предикторов развития первичной комбинированной конечной точки у пациентов с каротидным атеросклерозом.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Обследовано 675 человек (48,4% мужчины, средний возраст 66 [61; 72] лет), проходивших амбулаторное обследование и лечение в двух клиниках ООО “Европейский институт здоровья семьи” в период с 2018 по 2023 г. В исследование включались пациенты по следующим критериям:

- наличие АСБ в каротидном синусе толщиной $\geq 1,5$ мм;
- отсутствие на момент включения в исследование документированного эпизода транзиторной ишемической атаки (ТИА) или ИИ в ипсилатеральном каротидном бассейне;
- отсутствие на электрокардиограмме или в анамнезе эпизодов фибрилляции предсердий;
- отсутствие окклюзии внутренней сонной артерии (ВСА);
- по результатам эхокардиографии – отсутствие у пациентов на момент включения в исследование АСБ дуги аорты, механических и биологических протезов клапанов, кондуитов, признаков инфекционного эндокардита, тромбов в левом желудочке, кардиомиопатии, открытого овального окна, после состояния после операции Fontan по поводу врожденного порока сердца;
- отсутствие у пациента документально подтвержденного системного васкулита или фибромускулярной дисплазии;
- отсутствие у пациента злокачественного новообразования;
- низкое качество визуализации сонных артерий (выраженный кальциноз с акустической тенью) или неоптимальный эходоступ (высокое расположение каротидной бифуркации, выраженная угловая деформации ВСА, антропометрические особенности пациента – “толстая и короткая шея”).

Наблюдение составило 5 лет или до достижения пациентами первичной комбинированной конечной точки – ИИ или ТИА в бассейне стенозированной сонной артерии, стентирование или каротидная эндартерэктомия. Лица, достигшие первичной комбинированной конечной точки, составили основную группу, остальные вошли в группу сравнения. Критерии исключения (выбывания) из исследования:

- смерть пациента, за исключением, если причиной смерти стал перенесенный ИИ в ипсилатеральном каротидном бассейне;

- в период наблюдения причиной ИИ будет указана кардиоэмболия;
- переезд пациента на новое место жительства.

В исследование исходно было включено 695 пациентов. В процессе наблюдения 20 человек выбыли из исследования: из них 8 пациентов умерли, 10 пациентов перенесли кардиоэмболический ИИ, 2 пациента переехали на новое место жительства.

Период проспективного наблюдения составил 4 [2; 6] года. Таким образом, основная группа ($n = 85$, 12%) – это пациенты, достигшие первичной комбинированной конечной точки, группа сравнения ($n = 590$, 88%) – это пациенты, которые остались асимптомными, были сформированы естественным путем. Возраст пациентов основной группы колебался от 40 до 78 лет и составил в среднем 64 [58; 68] года: из них средний возраст мужчин – 63 [52; 66] года, женщин – 67 [64; 71] лет. Возраст пациентов группы контроля находился в диапазоне от 30 до 90 лет и составил в среднем 67 [61; 73] лет. Хирургическому вмешательству подверглись 18 (21%) пациентов.

Исследование выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования №12 одобрен локальным этическим комитетом 18.03.2023. Все пациенты подписали информированное добровольное согласие на участие в исследовании.

Стандартная электрокардиография в 12 отведениях и эхокардиография проведены всем обследованным. Состояние миокарда, клапанного аппарата, аорты и функций сердца изучали с использованием ультразвуковых сканнеров экспертного класса Logiq E9 и среднего класса Logiq F8 (General Electric, США). В первом случае использовался матричный мультисекторный датчик M5S-D с диапазоном частот 1,7–4,6 МГц, во втором – мультисекторный датчик 3Sc-RS с диапазоном частот 1–4 МГц. Эхокардиографическое исследование выполнялось в соответствии с клиническими рекомендациями врачами-специалистами с опытом исследования более 10 лет [8]. Дуплексное сканирование брахиоцефальных артерий выполнялось на ультразвуковых сканерах экспертного класса Logiq E9 и среднего класса Logiq F8 (General Electric, США) врачами-специали-

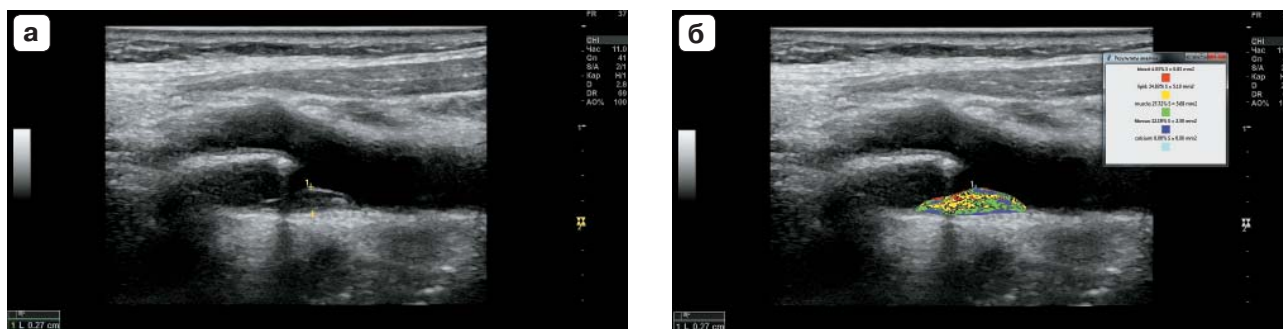


Рис. 1. Ультразвуковое исследование сонных артерий в В-режиме. Атеросклеротическая бляшка в каротидном синусе (а), результаты сегментации по диапазонам серой шкалы этой бляшки каротидного синуса в собственном разработанном компьютерном приложении (б).

Fig. 1. B-mode ultrasound of the carotid arteries. Atherosclerotic plaque in the carotid sinus (a), results of segmentation by gray scale ranges of this carotid sinus plaque using an own developed computer software (b).

стами с опытом исследований более 10 лет. В первом случае использовались мультислотные линейные датчики 9L-D с диапазоном частот 3–9 МГц и 11L-D с диапазоном частот 4–10 МГц, во втором – мультислотный линейный датчик L2-12-RS с диапазоном частот 4–13 МГц. При УЗИ определялись максимальная высота бляшки каротидного синуса в мм [9] и степень стеноза по NASCET (планиметрически) в процентах [4]. В случае стеноза по NASCET 40% и более дополнительно выполнялась доплерографическая оценка стеноза по гемодинамике в соответствии с мультипараметрическими ультразвуковыми критериями DEGUM [10]. Полученные данные сохранялись в виде графических изображений и переносились на внешний носитель в формате DICOM для последующего анализа серошкального изображения на стороннем софте.

Было разработано собственное программное обеспечение, написанное в среде Python. За основу была взята методика перевода изображения в черно-белое в диапазон от 0 до 255 и нормирование, как это выполнялось в Photoshop Adobe, нормировалось – за “0” принимался просвет сосуда. Сегментацию изображения по заданным диапазонам серой шкалы выполняли по аналогии с программным обеспечением Image-Pro Plus, Media Cybernetics (США). Диапазон шкалы серого от 0 до 4 соответствовал компоненту “кровь” (или “blood”), 8–26 – “липиды” (“lipid”), 41–76 – “мышечный компонент” (“muscle”), 112–196 – “фиброзная ткань” (“fibrous”) и 211–255 “кальций” (“calcium”) [6, 11]. В приложении после

трассировки контуров АСБ в продольной плоскости автоматически выполнялся расчет общей площади АСБ в мм² на основе метаданных DICOM-файла. На рис. 1 представлены результаты сегментации изображения в В-режиме АСБ каротидного синуса по диапазонам шкалы серого от 0 до 255. Само изображение бляшки картируется по цветам (каждому цвету присваивается соответствующая кодировка). Результаты сегментации представлены в виде отдельного “всплывающего окна” с обозначением анализируемых компонентов и их содержания в процентах и в единицах площади в мм².

Оценка ультразвуковой структуры АСБ проводилась по классификации Gray-Weale [12]. Так как разработанный нами софт позволяет сегментировать изображение на компоненты и выделять аэхогенную (“blood”) и гипоэхогенную (“lipid”) составляющие, было принято решение сделать данную шкалу более объективной и классифицировать по этим типам АСБ наших пациентов. Были взяты изображения типов АСБ из оригинальной статьи [12], загружены в графическом формате JPG, нормированы по методике, описанной выше, и сегментированы по диапазонам серого от 0 до 256. Были вычислены критические значения содержания в процентах суммарно компонентов “кровь” и “липиды” для каждого из представленных типов АСБ: тип I – 63%, тип II – 30%, тип III – 17%, тип IV – 2%. На основании этих значений были разработаны условия отнесения бляшки для каждого пациента к тому или иному типу по следующему алгоритму: тип I – 60%

и более, тип II – 30–59%, тип III – 17–29%, тип IV – 16% и менее.

Показатели, зарегистрированные у обследованного контингента, были адаптированы для математической обработки и изучались с использованием различных методов статистического анализа. Для оценки нормальности распределения полученных значений были использованы критерий Пирсона χ^2 и критерий Колмогорова–Смирнова. Для сравнения групп применялись непараметрические тесты. Для оценки выживаемости – вероятности того, что первичная комбинированная конечная точка не наступит, в зависимости от типа АСБ по Gray-Weale, использовался анализ выживаемости Каплана–Майера. Для стратификации цереброваскулярного риска на основе ультразвуковых количественных диагностических критериев выполнялся регрессионный ковариантный анализ Кокса (Cox regression) методом обратного исключения (backward), в который в качестве времени выживания вносились время наблюдения, первичная комбинированная конечная точка, предсказательные переменные – независимые показатели (количественные ультразвуковые диагностические критерии). Значимость полученной модели проверялась с помощью χ^2 тестов на отношение между временем и всеми ковариантами, включенными в модель. Предсказательная ценность модели проверялась с помощью индекса конкордантности (Harrell's C-index). По таблице базовой функции совокупного (кумулятивного) риска определен средний для всех диагностических показателей кумулятивный риск (КР) для времени наблюдения 5 лет. Зная популяционный риск (ПР) возникновения ИИ или ТИА для данной популяции (данной совокупной выборки пациентов) – 13%. По формуле найден общий риск (ОР):

$$ОР = КР + ПР,$$

где ОР – общий риск, %; КР – кумулятивный риск, %; ПР – популяционный риск, %.

Для полученных значений регрессионной функции выполнялся ROC-анализ, где в качестве независимой величины выступали значения функции для каждого наблюдения, за зависимую была принята группа пациентов (основная или группа сравнения). Получены чувствительность и специ-

фичность модели, а также порог отсечения с их оптимальными значениями. Для самой сильной модели, порогу отсечения регрессионной функции присвоено расчетное значение ОР, и все пациенты, имеющие это значение и выше, отнесены в группу с высоким риском (риск 3) развития первичной комбинированной конечной точки. Для пациентов с низким риском (риск 1) принято двукратное снижение ОР. Пациенты со средним риском (риск 2) заняли промежуточное положение между двумя этими группами. Статистический анализ полученных данных выполнялся с помощью статистического программного пакета MedCalc for Windows (версия 22.023). Полученные различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основные показатели, изученные в ходе исследования, их распределение, а также сравнение между группами, достигшими и не достигшими первичной комбинированной конечной точки, представлены в табл. 1.

Такие количественные показатели, как максимальная высота бляшки, общая площадь АСБ и степень стеноза по NASCET, значимо различались между основной и группой сравнения. У пациентов, достигших первичной комбинированной конечной точки, превалировал II тип АСБ по классификации Gray-Weale, в то время как в группе сравнения доминировал IV тип. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена составил 0,385 ($p < 0,0001$). Получена значимая умеренная взаимосвязь между группой и значением типа АСБ – чем выше группа (в данном случае группа сравнения – 2), тем выше тип бляшки по Gray-Weale и наоборот.

Из-за недостаточного количества наблюдений (I тип АСБ, $n = 8$) данная группа была объединена со II типом для обеспечения статистической мощности анализа Каплана–Майера. Анализ времени до наступления события (рис. 2) показал значимые различия между типами АСБ ($p < 0,0001$). Наибольшая площадь под кривой выявлена для IV типа (4,901), наименьшая – для I и II типов (4,101), III тип (4,621) занял промежуточное положение.

Таблица 1. Инструментальная характеристика пациентов**Table 1.** Instrumental characteristics of patients

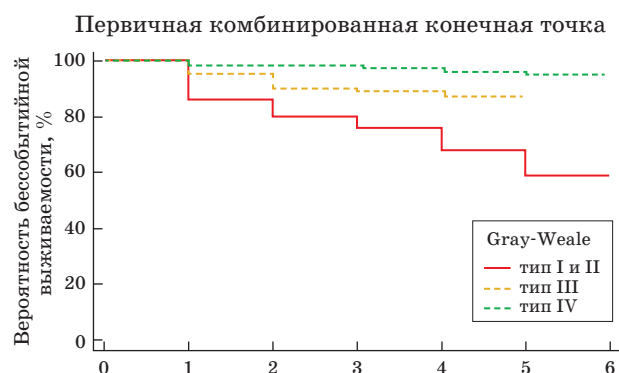
Показатель	Все пациенты	ПККТ (+) (n = 85)	ПККТ (-) (n = 590)	p
МВБ, мм	2,9 [2,3; 3,7]	4,7 [3,9; 5,9]	2,8 [2,2; 3,3]	0,0001
ОПБ, мм ²	21,3 [14,1; 33,6]	59 [41,9; 82,3]	19,4 [13,2; 29]	0,0001
Степень стеноза КС по NASCET, %	20 [10; 40]	54 [42; 70]	18 [8; 30]	0,0001
Тип по Gray-Weale:				
I	8 (1)	4 (5)	4 (1)	–
II	112 (17)	45 (53)	67 (11)	–
III	140 (21)	21 (25)	119 (20)	–
IV	415 (61)	15 (17)	400 (68)	–

Примечание. Данные представлены в виде абсолютного числа (%), Ме [Q1; Q3]. ПККТ – первичная комбинированная конечная точка; МВБ – максимальная высота бляшки; ОПБ – общая площадь бляшки; КС – каротидный синус.

Таблица 2. Отношения рисков достижения первичной комбинированной конечной точки в зависимости от типа АСБ по Gray-Weale**Table 2.** Odds ratios for achieving the primary composite endpoint by atherosclerotic plaque type according to Gray-Weale

Тип АСБ	ПККТ (+)	ПККТ (-)	ОР (95% ДИ)	p
I и II	49 (41)	71 (59)	9,92 (6,13; 16,07)	0,0001
III	21 (15)	119 (85)	3,37 (2,09; 5,41)	0,0001
IV	15 (4)	400 (96)	0,29 (0,18; 0,49)	0,0001

Примечание. Данные представлены в виде абсолютного числа (%). ПККТ – первичная комбинированная конечная точка; ДИ – доверительный интервал; ОР – отношение рисков.

**Рис. 2.** Результаты анализа Каплана–Майера в зависимости от типа атеросклеротической бляшки по Gray-Weale.**Fig. 2.** Results of the Kaplan-Meier analysis depending on the atherosclerotic plaque type according to Gray-Weale.

По данным табл. 2, типы АСБ I–II (Gray-Weale) ассоциированы с 3-кратным увеличением риска достижения первичной комбинированной конечной точки по сравнению с III типом и почти 10-кратным – по сравнению с IV типом, являющимся практически безопасным.

Для расчета цереброваскулярного риска на основе ультразвуковых количественных диагностических критериев выполнялся регрессионный ковариантный анализ, с помощью которого было разработано 3 модели, прогнозирующие развитие события в течение последующих 5 лет. В первую модель вошли такие количественные показатели, как общая площадь и максимальная высота АСБ, степень стеноза по NASCET, во вторую – площади всех компонентов сегментированного изображения по заданным диапазонам серой шкалы, в третью (комплексную) – все показатели предыдущих двух моделей. Наибольшей предсказательной

Таблица 3. Статистические показатели прогностической комплексной модели на основе всех количественных показателей**Table 3.** Statistical parameters of the comprehensive prognostic model based on all quantitative parameters

	χ^2	214	
	df	6	
	p	<0,0001	
Индекс конкордантности (Harrell's C-index)		0,665	
Harrell's C-index (95% ДИ)		(0,633; 0,697)	
Показатель	Коэффициент регрессии	Отношение рисков (95% ДИ)	p
Максимальная высота бляшки	0,386	1,46 (1,18; 1,81)	0,0005
Степень стеноза по NASCET	0,03086	1,03 (1,02; 1,04)	<0,0001
“Кровь”	0,03255	1,03 (1,01; 1,06)	0,0037
“Липиды”	0,06633	1,07 (1,03; 1,10)	0,0006
“Мышечный компонент”	-0,05606	0,93 (0,89; 0,97)	0,0007
“Кальций”	0,03607	0,84 (0,78; 0,92)	0,0002

ценностью обладала комплексная модель, включавшая такие предикторы, как максимальная высота бляшки, степень стеноза по NASCET и показатели сегментации серошального изображения АСБ. В табл. 3 представлены основные ее характеристики,

включая коэффициенты регрессии. На этапе включения в анализ такие показатели, как общая площадь АСБ, а также “фиброзный компонент”, были исключены, как не достигающие заданного уровня достоверности.

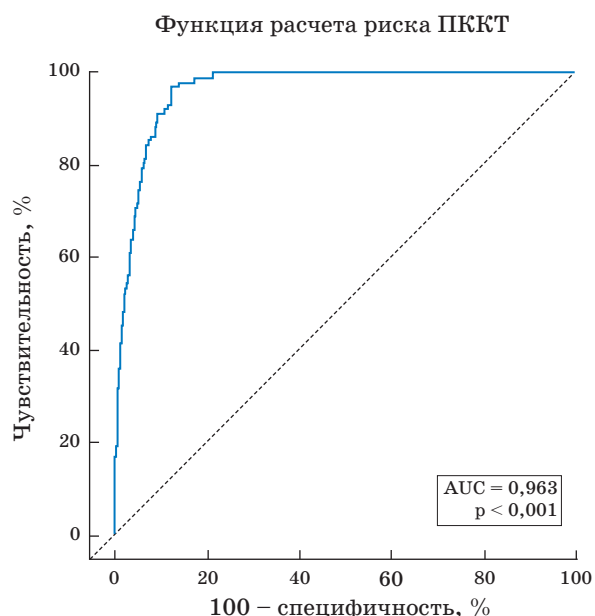
**Рис. 3.** Оценка эффективности комплексной прогностической модели оценки риска развития первичной комбинированной конечной точки.

Fig. 3. Evaluation of the effectiveness of the comprehensive prognostic model for assessing the risk of developing the primary composite endpoint (PCPE).

Полученная регрессионная модель обладала умеренными значениями индекса конкордантности, значимым уровнем отношений рисков (ДИ не содержит 1), высоким уровнем достоверности коэффициентов регрессии ($p = 0,0037$) и всей модели ($p < 0,0001$). Прогнозируемый общий (суммарный) пятилетний риск развития события у асимптомного пациента составил 31% (округлили до 30%). Точкой отсечений считали значение функции 2,7739. Соответственно все пациенты, имеющие данное значение и выше, были отнесены в группу высокого риска возникновения первичной комбинированной конечной точки в течение 5 лет с точностью 93%, чувствительностью 95% и специфичностью 90% (рис. 3). Пациенты, имевшие двукратное снижение риска (менее 15%) и, следовательно, значение функции меньше 1,387, были отнесены в группу низкого риска. Промежуточные значения функции больше или равно 1,387 и меньше 2,7739 соответствовали группе пациентов среднего риска.

На рис. 4 представлено распределение асимптомных (в исходной точке наблюдения) пациентов по группам риска. Самую большую группу составили пациенты низ-

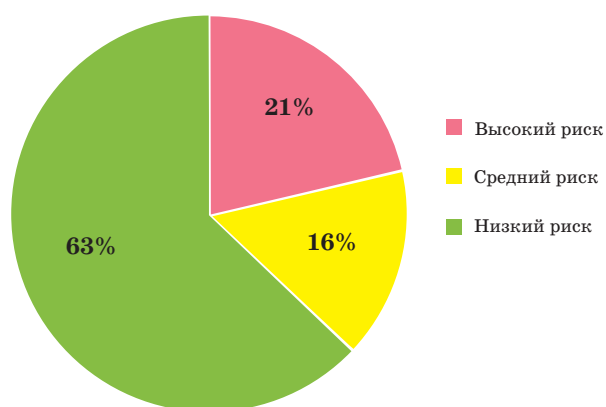


Рис. 4. Распределение пациентов по группам риска.

Fig. 4. Distribution of patients by risk group.

кого риска – 405 (64%) человек, пациенты высокого риска – 136 (21%) и, наконец, пациенты среднего риска – 99 (15%).

На рис. 5 представлены медианы степени каротидного стеноза (по NASCET) в трех группах риска: низкий – 15% [4; 25], средний – 24% [14; 37], высокий – 50% [38; 69]. Выявлены высокозначимые межгрупповые различия (критерий Краскела–Уоллиса $H = 282$, $p < 0,0001$), подтвержденные post-hoc-анализом Данна.

На рис. 6 представлены данные о распределении максимальной высоты каротидной бляшки в зависимости от стратификации

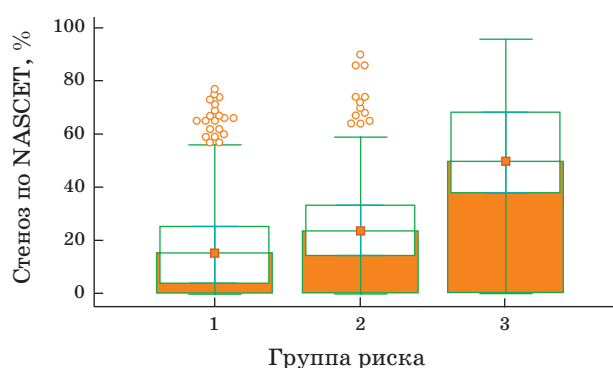


Рис. 5. Распределение значений медиан степени каротидного стеноза по NASCET между группами риска возникновения первичной комбинированной конечной точки.

Fig. 5. Distribution of median carotid stenosis grades according to NASCET across risk groups for developing the primary composite endpoint.

пациентов по риску развития первичной комбинированной конечной точки. Анализ показал закономерное увеличение медианы максимальной высоты бляшки при возрастании риска: низкий риск: 2,5 [2,1; 3,1] мм; средний риск: 3,0 [2,5; 3,6] мм; высокий риск: 4,3 [3,8; 5,5] мм. Применение критерия Краскела–Уоллиса выявило высокозначимые межгрупповые различия ($H = 288$; $p < 0,0001$). Последующий post-hoc-анализ с использованием критерия Данна подтвердил статистическую значимость различий между всеми парами групп, что свидетельствует об увеличении геометрических параметров бляшки, ассоциированном с ростом риска.

ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании средний срок отслеживания пациентов, образовавших основную группу, от начала наблюдения до момента возникновения ИИ или ТИА составил 2 года. В исследованиях, близких к нашему по дизайну, приводятся аналогичные значения [7, 13].

Публикаций, посвященных качественной классификации типов каротидной АСБ по Gray-Weale и связи ее с нестабильностью АСБ, немного. И сведения, изложенные в них, крайне противоречивы. В части источников описывают пользу этой классификации и ее высокую значимость в плане

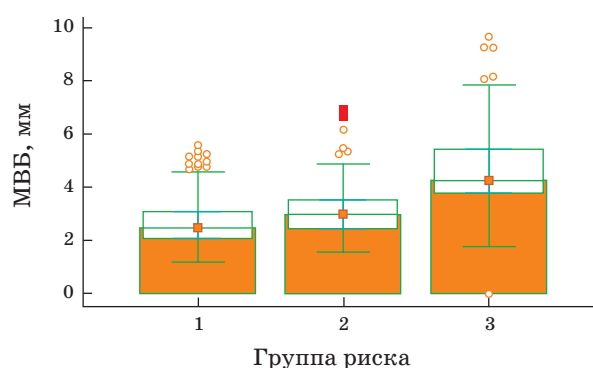


Рис. 6. Распределение значений медиан максимальной высоты бляшки между группами риска возникновения первичной комбинированной конечной точки.

Fig. 6. Distribution of median maximum plaque height (MPH) across risk groups for developing the primary composite endpoint.

предсказательной способности эмболоопасности АСБ [12]. В других, напротив, не отмечают значимой достоверности между отдельными типами АСБ по Gray-Weale и высоким риском ИИ [14]. Понимая, что основным ее недостатком является то, что она качественная и, соответственно, субъективная, обладающая низкой межоператорской воспроизводимостью, мы переработали в своем исследовании в количественную оценку и определили тип АСБ для каждого пациента в автоматическом режиме, взяв за основу процент содержания гипо-анэхогенного компонента в каждом типе. По анализу литературных источников был обнаружен подход, близкий к нашему в исследовании А. Nicolaidis и соавт. [13]. Аналогично была взята за основу сегментация изображения в стороннем софте, и АСБ классифицировались на 4 типа в зависимости от содержания ан-гипоанэхогенного компонента (grey scale median (GSM) <25). Пропорции составили несколько другое отношение по типам АСБ, но частично перекрывались с нашими градациями: I тип соответствовал компоненту “GSM < 25” >85%, II тип – 50–85%, III – 15–50%, IV – <15%.

В нашем исследовании мы получили статистически значимое различие между типами АСБ в основной группе и группе контроля. Превалирующим типом АСБ в группе пациентов, достигших первичной комбинированной конечной точки, стали типы I и II (Gray-Weale) (более гипохогенный), в свою очередь, доминирующим в группе сравнения – тип IV (гиперэхогенный). Обнаружена значимая взаимосвязь средней силы между типами АСБ и группами, подтверждающая следующую тенденцию: чем бляшка более гипохогенная, тем более эмболоопасная и, наоборот, более гиперэхогенная АСБ – более стабильная. Сходные результаты были получены О.А. Погореловой и соавт. при исследовании медианы серошкального изображения бляшки [15]. По данным проведенного нами анализа выживаемости было определено, что IV тип АСБ практически не приводит к возникновению ишемического ИИ или ТИА, напротив, обнаружение I или II типа АСБ повышает риск возникновения ИИ или ТИА почти в 3 раза, чем III тип, и почти в 10 раз, чем тип IV. Сходные результаты были получены в ходе CREST-2 [16].

Была разработана комплексная регрессионная модель стратификации риска развития первичной комбинированной конечной точки, в которую вошли максимальная высота бляшки, степень стеноза по NASCET и количественные показатели серошкального изображения АСБ, за исключением “фиброзного компонента”. “Мышечный компонент” шкалы серого снижал вероятность наступления исхода и увеличивал выживаемость. Модель может использоваться для прогнозирования риска развития ИИ или ТИА у асимптомных пациентов с каротидным атеросклерозом. Кумулятивный риск пятилетней выживаемости для данной модели составил 18%, популяционный – 13%. Таким образом, нами за высокий риск были приняты пациенты с общим риском 30% и более, умеренный риск – от 15% включительно до 30% и низкий риск – менее 15%. По данным литературы [13], пятилетний цереброваскулярный риск был получен в подобной популяции, но рассчитывался методом Каплана–Майера, соответственно, непрерывные величины, значимо влияющие на исход (степень каротидного стеноза по ECST, GSM<25, общая площадь АСБ), переводились в ординарные в виде интервалов, а кумулятивный риск рассчитывался через разность отношений рисков между базовыми значениями и экстремумами.

Мы оценили “работоспособность” нашей стратификации по таким независимым предикторам, как степень стеноза каротидного синуса по NASCET и максимальная высота бляшки. Так, различие медиан каротидного стеноза по NASCET между группами оказалось высокозначимым. В группе высокого риска мы получили медиану стеноза 50 [38; 69]%, который в случае симптоматики пациента подлежит хирургическому лечению. Аналогично высокозначимое различие продемонстрировал такой показатель, как максимальная высота бляшки. Медиана этого показателя для группы среднего риска составила 3,0 [2,5; 3,6] мм. Согласно литературным данным, максимальная высота бляшки ≥ 3 мм является маркером асимптомных пациентов, отнесенных к среднему цереброваскулярному риску [5, 13].

К ограничениям исследования относятся одноцентровый дизайн, отсутствие внеш-

ней валидации модели и потенциальное влияние параметров ультразвукового облучения на исходные изображения, не анализировалась межоператорская воспроизводимость. Разработанная нами методика может использоваться только для АСБ каротидного синуса, для оценки АСБ другой локализации не применима. Необходимы многоцентровые исследования с внешней валидацией, межлабораторный анализ метода и сопоставление с данными других модальностей визуализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе количественных ультразвуковых критериев разработана прогностическая модель для стратификации пятилетнего риска развития первичной комбинированной конечной точки у асимптомных пациентов. Предпочтение было отдано комплексной модели, основанной на максимальной высоте бляшки, степени стеноза по NASCET и на количественных показателях сегментации серошкального изображения АСБ (“кровь”, “липиды”, “мышечный компонент” и “кальций”). Она продемонстрировала более высокие показатели, оценивающие силу модели, – индекс конкордантности, точность, чувствительность и специфичность. На основании этой модели асимптомные пациенты в данной популяции (в нашем исследовании) были разделены на 3 категории пятилетнего риска возникновения ИИ или ТИА в бассейне ипсилатеральной сонной артерии: низкий риск (риск 1) – общий риск менее 15%, средний риск (риск 2) – общий риск от 15 до 30% и высокий риск (риск 3) – общий риск 30% и более.

Участие авторов

Умнов И.Н. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Чугаев Д.А. – проведение исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных.

Authors' participation

Umnov I.N. – concept and design of the study, conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing.

Chugaev D.A. – conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [REFERENCES]

1. GBD 2021 Diseases and Injuries Collaborators. Global incidence, prevalence, years lived with disability (YLDs), disability-adjusted life-years (DALYs), and healthy life expectancy (HALE) for 371 diseases and injuries in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. *Lancet*. 2024; (published online April 17.) [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)00757-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)00757-8)
2. Visseren F., Mach F., Smulders Y. et al. 2021 Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice with representatives of the European Society of Cardiology and 12 medical societies. *Eur. Heart J.* 2021; 42 (34): 3227–3337. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab484>
3. Mazzolai L., Teixido-Tura G., Lanzi S. et al. 2024 ESC Guidelines for the management of peripheral arterial and aortic diseases: Developed by the task force on the management of peripheral arterial and aortic diseases of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur. Heart J.* 2024; 45 (36): 3538–3700. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehae179>
4. Naylor R., Rantner B., Ancetti S. et al. European society for vascular surgery (ESVS) 2023 Clinical practice Guidelines on the management of atherosclerotic carotid and vertebral artery disease. *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2023; 65 (1): 7–111. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2022.04.011>
5. Saba L., Cau R., Murgia A. et al. Carotid plaque-RADS: a novel stroke risk classification system. *JACC: Cardiovasc. Imaging.* 2024; 17 (1): 62–75. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2023.09.005>
6. Lai B., Hobson R., Hammed M. et al. Noninvasive identification of the unstable carotid plaque. *Ann. Vasc. Surg.* 2006; 20 (2): 167–174. <https://doi.org/10.1007/s10016-006-9000-8>
7. Kakkos S., Griffin M., Nicolaides A. et al. The size of juxtaluminal hypoechoic area ultrasound images of asymptomatic carotid plaques predicts the occurrence of stroke. *J. Vasc. Surg.* 2013; 57 (3): 609–618. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2012.09.045>
8. Lang R., Badano L., Mor-Avi V. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28 (1): 1–39. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2014.10.003>
9. Touboul P., Hennerici M., S. Meairs S. et al. Mannheim carotid intima-media thickness and plaque consensus (2004-2006-2011). An update on behalf of the advisory board of the 3rd, 4th and 5th watching the risk symposia, at the 13th, 15th and 20th European Stroke Conferences, Mannheim, Germany, 2004, Brussels, Belgium, 2006, and

- Hamburg, Germany, 2011. *Cerebrovasc. Dis.* 2012; 34: 290–296. <https://doi:10.1159/000343145>
10. Arning C., Widder B., von Reutern G. et al. Revision of DEGUM ultrasound criteria for grading internal carotid artery stenoses and transfer to NASCET measurement. *Ultraschall Med.* 2010; 31 (3): 251–257. <https://doi:10.1055/s-0029-1245336>
 11. Lai B., Hobson R., Pappas P. et al. Pixel distribution analysis of B-mode ultrasound scan images predicts histological features of atherosclerotic carotid plaques. *J. Vasc. Surg.* 2002; 35 (7): 1210–1217. <https://doi:10.1067/mva.2002.122888>
 12. Gray-Weale A., Graham J., Burnett J. et al. Carotid artery atheroma: comparison of preoperative B-mode ultrasound appearance with carotid endarterectomy specimen pathology. *J. Cardiovasc. Surg.* 1988; 29 (11): 115–123.
 13. Nicolaides A., Kakkos S., Kyriacou E. et al. Asymptomatic internal carotid artery stenosis and cerebrovascular risk stratification. *J. Vasc. Surg.* 2010; 52 (6): 1486–1496. <https://doi:10.1016/j.jvs.2010.07.021>
 14. Reiter M., Bucek R., Effenberger I., et al. Plaque echolucency is not associated with the risk of stroke in carotid stenting. *Stroke.* 2006; 37 (9): 2378–2380. <https://doi:10.1161/01.STR.0000237087.86583.c8>
 15. Погорелова О.А., Трипотень М.И., Хамчиева Л.Ш., Гучаева Д.А., Козлов С.Г., Шахнович Р.М., Балахонова Т.В. Эхогенность атеросклеротической бляшки сонной артерии и ее связь с развитием неблагоприятных сердечно-сосудистых событий. *Ультразвуковая и функциональная диагностика.* 2023; 4: 35–48. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2023-4-35-48>
 16. Kulcarni P., Lal B., Jreij G. et al. CRESTOMICS: Analyzing carotid plaques in the CREST-2 trial with a new additive classification model. *Preprint on arXiv.* 2026. <https://arxiv.org/abc/2603.04309>

Quantitative ultrasound assessment of carotid atherosclerosis in ischemic stroke risk stratification

I.N. Umnov^{1,2*}, D.A. Chugaev¹

¹ LLC “European Institute of Family Health”; 35, bld. 1, Trudyashchikhysya Boulevard, Kolpino, St. Petersburg 196657, Russian Federation

² City Hospital No. 33; 16A, Pavlovskaya str., Kolpino, St. Petersburg 196653, Russian Federation

Ivan N. Umnov – MD, Head of the Department of Functional Diagnostics, LLC “European Institute of Family Health”; physician of ultrasound and functional diagnostics, City Hospital No. 33, St. Petersburg. <https://orcid.org/0000-0002-4247-3522>

Dmitry A. Chugaev – IT specialist, LLC “European Institute of Family Health”, St. Petersburg. <https://orcid.org/0009-0002-7159-0821>

Correspondence* to Ivan N. Umnov – e-mail: uin.eizs@yandex.ru

Objective. To evaluate the role of quantitative ultrasound parameters of atherosclerotic plaque (ASP) as predictors of the development of the primary composite endpoint in patients with carotid atherosclerosis.

Materials and methods. A total of 675 patients with carotid atherosclerosis with no history of transient ischemic attack or ischemic stroke at the time of inclusion in the study were examined; 48.4% were men, with an average age of 66 [61; 72] years. All patients underwent electrocardiography, echocardiography, carotid arteries duplex ultrasound with assessment of the degree of stenosis according to NASCET and maximum wall thickness (MWT) of plaque with subsequent analysis of ASP images in DICOM format. A computer software (own development) was used to calculate the total area of the ASP and segment the image by grayscale ranges (“blood”, “lipids”, “muscle and fibrous components”, and “calcium”). The observation period was 5 years. The primary composite endpoint was the development of an ischemic event in the carotid territory on the affected side or surgical treatment of carotid stenosis. Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results. During the follow-up period, 85 patients (12%) achieved primary composite endpoint. This event occurred 3 and 10 times more frequently in patients with Gray-Weale ASP types I and II than in those with types III and IV, respectively. Independent predictors in the five-year risk stratification model for event development included the NASCET stenosis grade, MWT, and the plaque image segmentation parameters excluding the “fibrous component”. Patients were divided into three groups: a “high-risk” group for developing primary composite endpoint (the predicted overall five-year risk

(OR) was 30% or more) – 136 patients (21%), a “low-risk” group (less than 15% OR) – 405 patients (64%), and a “medium (intermediate) risk” group (from 15% to 30% OR) – 99 patients (15%). The median values of the degree of stenosis according to NASCET and the MWT were 15 [4; 25]% and 2.5 [2.1; 3.1] mm for the low-risk group, 24 [14; 27]% and 3.0 [2.5; 3.6] mm for the average risk group, and 50 [38; 69]% and 4.3 [3.8; 5.5] mm, respectively ($p < 0.0001$).

Conclusions. The degree of stenosis according to NASCET, MWT and the results of segmentation of the gray-scale image of the ASP by gray-scale ranges are significant independent predictors of the development of primary composite endpoint in asymptomatic patients with carotid atherosclerosis.

Keywords: atherosclerotic plaque; carotid stenosis; quantitative analysis; ultrasound; ischemic stroke; transient ischemic attack; risk stratification

Conflict of interests. The authors have no conflicts of interest to declare.

Financing. This study had no sponsorship.

Citation: Umnov I.N., Chugaev D.A. Quantitative ultrasound assessment of carotid atherosclerosis in ischemic stroke risk stratification. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2026; 32 (2): 23–34. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-386> (In Russian)

Received: 20.03.2026.

Accepted for publication: 14.05.2026.

Published online: 18.05.2026.