Халимова Ханифа Мухсиновна - д.м.н., профессор
Рашидова Нелуфар Сафаевна - д.м.н., профессор
Ташкентская медицинская академия (Ташкент, Узбекистан)
Ибрагимов Зуфар Ботир уғли - врач-невролог

НОВЫЕ ПОДХОДЫ В РАННЕЙ ДИАГНОСТИКЕ ЦЕРЕБРОВАСКУЛЯРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ И РАЗРАБОТКА ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Аннотация. *Цереброваскулярные заболевания — ведущая причина смертности и инвалидности. Ранняя диагностика позволяет своевременно начать лечение и снизить риск осложнений. В обзоре рассмотрены современные методы визуализации, биомаркеры, цифровые технологии и профилактические стратегии, повышающие эффективность выявления и предупреждения инсульта.*

Ключевые слова: *оптическая когерентная томография; диффузионно-тензорная МРТ; перфузионная компьютерная томография; биомаркеры; инсульт; профилактика; искусственный интеллект.*

Xalimova Xanifa Muxsinovna - t.f.d., professor
Rashidova Nelufar Safaevna - t.f.d., professor
Toshkent tibbiyot akademiyasi (Toshkent, O‘zbekiston)
Ibragimov Zufar Botir o‘g‘li - nevrolog shifokor

MIYA QON TOMIR KASALLIKLARINI ERTA TASHXISLASHDA VA PROFILAKTIKA CHORALARINI ISHLAB CHIQISHDA YANGI YONDASHUVLAR

Annotatsiya. *Miya qon tomir kasalliklari — o‘lim va nogironlikning yetakchi sabablaridan biridir. Erta tashxis qo‘yish davolashni o‘z vaqtida boshlash va asoratlar xavfini kamaytirishga imkon beradi. Ushbu sharhda zamonaviy vizualizatsiya usullari, biomarkerlar, raqamli texnologiyalar va insultni aniqlash hamda oldini olish samaradorligini oshiruvchi profilaktik strategiyalar ko‘rib chiqilgan.*

Kalit so‘zlar: *optik koherent tomografiya; diffuzion-tensor MRT; perfuzion kompyuter tomografiya; biomarkerlar; insult; profilaktika; sun’iy intellekt.*

Khalimova Khanifa Mukhsinovna - D.M.Sc., professor
Rashidova Nelufar Safaevna - D.M.Sc., professor
Tashkent Medical Academy (Tashkent, Uzbekistan)
Ibragimov Zufar Botir ugli - neurologist

NEW APPROACHES IN EARLY DIAGNOSIS OF CEREBROVASCULAR DISEASES AND DEVELOPMENT OF PREVENTIVE STRATEGIES

Abstract. *Cerebrovascular diseases are a leading cause of mortality and disability. Early diagnosis enables timely treatment initiation and reduces complication risks. This review summarizes current imaging modalities, biomarkers, digital technologies, and preventive strategies that enhance stroke detection and prevention efficiency.*

Keywords: *optical coherence tomography; diffusion tensor MRI; perfusion computed tomography; biomarkers; stroke; prevention; artificial intelligence.*

Введение. Цереброваскулярные заболевания остаются одним из наиболее значимых факторов смертности и инвалидности во всём мире. По данным Всемирной организации здравоохранения сердечно-сосудистые заболевания ежегодно уносят около 17,9 млн жизней, причём более 80 % этих смертей приходится на страны с низким и средним уровнем дохода [1]. В США ежегодно регистрируется около 795 000 инсультов, и прогнозируется, что к 2030 году распространённость инсульта возрастёт на 3,4 млн человек [2]. Согласно отчёту World Heart Report 2023, в 2021 году от сердечно-сосудистых заболеваний умерло 20,5 млн человек, при этом около 80 % смертей приходилось на страны с низким и средним уровнем дохода [3]. Интернациональное исследование INTERSTROKE показало, что десять модифицируемых факторов риска (гипертензия, курение, повышенное соотношение талия/бедро, несбалансированная диета, низкая физическая активность, сахарный диабет, злоупотребление алкоголем, стресс, наличие сердечных заболеваний и дисбаланс аполипопротеинов) объясняют 90 % всех слу-

чаев инсульта [4]. Однако, несмотря на значительные усилия по совершенствованию вторичной профилактики и внедрению эффективных методов лечения (тромболизис, тромбэкстракция), наступление инсульта часто сопровождается необратимым повреждением мозга. Поэтому акцент в мировой науке смещается в сторону ранней диагностики и первичной профилактики.

В последние годы появились новые методы визуализации, способные обнаруживать субклинические изменения в сосудистом русле и тканях мозга. Не менее активно изучаются биомаркеры и цифровые технологии (носимые устройства, искусственный интеллект). Настоящий обзор обобщает результаты исследований по новым подходам к ранней диагностике ЦВЗ и рассматривает перспективы внедрения профилактических мероприятий.

Современные методы визуализации. Ретинальная оптическая когерентная томография и ангиография. Сетчатка является уникальным «окном» в церебральное микроциркуляторное русло благодаря общности эмбрионального происхождения и анатомических характеристик с центральной нервной системой. Ретинальная оптическая когерентная томография (ОКТ) и оптическая когерентная томография-ангиография (OCTA) предоставляют возможность неинвазивно оценивать структуру сосудов и тканевых слоёв сетчатки. Ряд исследований, включая обзор Zhang и соавторов (2024), показал, что параметры фрактальной размерности, сосудистой плотности и извилистости коррелируют с риском цереброваскулярных заболеваний [5]. Например, уменьшение фрактальной размерности сосудов сетчатки удваивает риск ишемического инсульта, а увеличение извилистости связано с более тяжёлыми клиническими исходами [5]. Технологии OCTA позволяют получать изображения сосудистых сплетений без введения красителей и анализировать плотность капилляров в поверхностных и глубоких слоях, что важно для выявления микрососудистой дисфункции.

К перспективным направлениям ретинальных исследований относятся использование Swept-source OCT, позволяющей получать изображения большей глубины и ширины поля зрения, и многомодальные подходы (комбинация фундус-фотографии, OCTA и индоцианино-флюоресцентной ангиографии) для детального анализа сосудистого русла и нервных структур. Недостатком остаются стандартизация методик и нехватка больших проспективных исследований, однако потенциал этих технологий для раннего выявления ЦВЗ очевиден.

Диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография. Диффузионно-тензорная МР-томография (DTI) представляет собой метод, основанный на измерении диффузии воды и позволяющий оценить микроструктурную целостность белого вещества. По данным обзора Luo и соавторов (2022) DTI обладает высокой чувствительностью для выявления изменений белого вещества при церебральной микроангиопатии и может применяться для мониторинга прогрессирования заболевания [6]. Достоинствами DTI являются возможность количественной оценки фракционной анизотропии и средней диффузии, визуализация проводящих путей и выявление «тихих» инфарктов. Однако метод требует высоких технических стандартов и времени сканирования; кроме того, некоторые изменения могут быть неспецифическими и требовать корреляции с клиническими данными.

Перфузионная компьютерная томография. Перфузионная компьютерная томография (CTP) измеряет параметры мозгового кровотока (CBF), объёма крови (CBV) и времени до пика (TTP). Мета-анализ Lo и соавторов (2021), включивший 11 исследований, показал, что чувствительность CTP для прогнозирования геморрагической трансформации ишемического инсульта составляет 86,7 %, специфичность — 77,8 % [7]. CTP позволяет выявлять зоны пенумбры и оценивать риск геморрагических осложнений после реперфузионной терапии. Высокая доступность и скорость метода делают его привлекательным для ранней диагностики, однако использование ионизирующего излучения и контрастного вещества ограничивает его у пациентов с почечной недостаточностью.

Транскраниальная допплерография и ультразвуковая сонография. Транскраниальная допплерография (ТКД) позволяет измерять скорость кровотока в крупных мозговых артериях. Систематический обзор Abbas и соавторов (2025) подчёркивает, что повышение средней скорости кровотока более чем на 50 см/с или превышение 120 см/с в средней мозговой артерии является предиктором вазоспазма после субарахноидального кровоизлияния, а отношение Линдэгорда > 3 помогает отличить вазоспазм от гиперемии [8]. Благодаря неинвазивности ТКД широко используется для динамического мониторинга пациентов с высоким риском. Однако ограниченное «окошко» кости и зависимость от операторских навыков остаются факторами, влияющими на точность.

Ультразвуковая оценка толщины интима-медиа (CIMT) сонных артерий рассматривается как простой и доступный маркер субклинического атеросклероза. Исследование Kaewlai и соавторов (2023) показало, что CIMT ≥ 0,9 мм свидетельствует о наличии сосудистого повреждения и связана с повышенным риском инсульта; при этом чувствительность метода для выявления стеноза ≥ 50 % составляет 98 %, спе-

цифичность — 88 % [9]. Измерение CIMT рекомендуется международными руководствами в качестве инструмента стратификации риска.

Другие технологии: ультразвуковая эластография, фотонная эмиссионная томография и функциональная МРТ. Помимо перечисленных методов, развиваются и другие технологии. Ультразвуковая эластография позволяет оценивать жесткость сосудистой стенки и выявлять ранние изменения при атеросклерозе. Фотонная эмиссионная компьютерная томография (SPECT) и функциональная МРТ (fMRI) применяются для оценки перфузии и функциональных связей мозга при хронической ишемии. Однако их роль в скрининге ограничена высокой стоимостью и низкой доступностью. Краткий обзор Sun и Wang (2023) подчёркивает, что совершенствование методов визуализации, лабораторных маркеров и телемедицины играет ключевую роль в улучшении ранней диагностики ишемического инсульта [10].Биомаркеры ранней диагностики.

Биомаркеры обеспечивают возможность обнаружить биохимические изменения до появления симптомов. В литературе описано множество молекул, однако лишь некоторые показали практическую значимость. Обзор Paolucci и соавторов (2023) выделяет несколько групп перспективных биомаркеров [11].

Коагуляционные и фибринолитические маркеры. Антитромбин III (ATIII), фибриноген и модифицированный альбумин относятся к маркерам свёртывания крови. Снижение уровня ATIII и повышение фибриногена отмечаются у пациентов с ишемическим инсультом. Эти показатели могут свидетельствовать о гиперкоагуляционном состоянии и повысить настороженность клинициста при оценке риска.

Нейрональные и глиальные белки. Глиальный фибриллярный кислый белок (GFAP) и белок S100b выделяются из астроцитов при повреждении нервной ткани. Повышение концентраций GFAP особенно характерно для геморрагического инсульта и может использоваться для дифференциации типов инсульта в первые часы после начала симптомов [11]. Наряду с ним высокие уровни S100b отражают повреждение гемоэнцефалического барьера и могут свидетельствовать о риске геморрагической трансформации.

Воспалительные маркеры и металлопротеиназы. Матриксная металлопротеиназа-9 (MMP-9) участвует в разрушении внеклеточного матрикса и нарушении гематоэнцефалического барьера. Повышенные уровни MMP-9 связаны с повышенным риском геморрагической трансформации ишемического инсульта и плохими функциональными исходами. Интерлейкин-33 (IL-33) отражает активное воспаление и также рассматривается в качестве предиктора геморрагических осложнений. Их комбинированное определение может повысить диагностическую точность.

Некодирующие РНК и метаболиты. MicroRNA-124-3p, участвующая в регуляции экспрессии генов, повышается при геморрагическом инсульте и может служить ранним биомаркером дифференциации. Панели метаболитов (например, набор из 11 метаболитов, описанный в обзорных статьях) продемонстрировали способность различать ишемический и геморрагический инсульт. Однако стандартизация методик и пороговых значений остаётся задачей будущих исследований. Комбинация биомаркеров. Отдельные биомаркеры обладают ограниченной чувствительностью и специфичностью. Наиболее перспективной стратегией является создание мультикомпонентных панелей, объединяющих коагуляционные, глиальные и воспалительные маркеры. Такая комбинация позволяет повысить точность диагностики до 90 % при ранней оценке инсульта (по данным ряда мета-анализов, не включённых в этот обзор). В клинической практике использование биомаркеров пока ограничено, но в рамках научных проектов их сочетание с визуализационными методами демонстрирует высокую эффективность. Цифровые технологии и искусственный интеллект. Развитие цифровых технологий и искусственного интеллекта (ИИ) открывает новые возможности для ранней диагностики и профилактики инсульта. Wearable-устройства (фитнес-браслеты, часы) снабжены акселерометрами, гироскопами и оптическими сенсорами, позволяющими фиксировать изменения моторики, сердечного ритма и других параметров. В перспективной статье Wolcott и English (2024) приведён обзор применения ИИ для улучшения догоспитального распознавания инсульта. Описано использование алгоритмов компьютерного зрения, способных выявлять асимметрию лица и слабость конечностей по данным видеосигнала, причём точность выявления асимметрии лица достигает 97 %, а слабости руки — 72 % [12]. Анализ речи и клавиатурных данных также позволяет обнаруживать афазию и снизить время до вызова скорой помощи.

AI-алгоритмы применяются для оптимизации маршрутизации пациентов. Например, использование автоматической обработки данных транскраниальной допплерографии и электроэнцефалографии позволяет идентифицировать окклюзию крупных сосудов с точностью около 91 % [12]. Кроме того, AI-системы анализируют звонки в службу спасения, повышая точность диспетчерской оценки инсульта на 16 % и увеличивая количество пациентов, получающих тромболизис [12]. В области обучения медицинского

персонала виртуальная и дополненная реальность в сочетании с генеративным ИИ улучшают подготовку бригад скорой помощи и врачей.

Телемедицина также переживает бурное развитие. Во время пандемии COVID-19 значительно увеличилось количество телемедицинских консультаций, а применение AI-алгоритмов к видеоизображениям позволяет автоматически оценивать тяжесть неврологического дефицита. В ближайшие годы ожидается интеграция AI-инструментов в мобильные stroke-units и развитие приложений для пациентов с высоким риском.

Профилактические мероприятия. Эффективная профилактика инсульта включает модификацию факторов риска и применение доказанных медицинских вмешательств. В октябре 2024 г. Американская кардиологическая ассоциация и Американская ассоциация инсульта опубликовали обновлённые рекомендации по первичной профилактике инсульта. В них подчёркивается необходимость регулярных визитов к врачу для оценки риска, уделяется внимание социальным детерминантам здоровья и приводятся конкретные рекомендации [13]. Ключевые положения включают:

• **Диета и физическая активность.** Рекомендована средиземноморская диета, богатая овощами, фруктами, рыбой и оливковым маслом [13]. Пациентам следует избегать малоподвижного образа жизни и выполнять не менее 150 минут умеренной активности или 75 минут интенсивной активности в неделю [13]. Курение и злоупотребление алкоголем должны быть исключены, поскольку они значительно повышают риск инсульта [14].

• **Контроль артериального давления.** Гипертензия признана самым значимым фактором риска; её наличие увеличивает вероятность инсульта линейно [2]. Рекомендуется поддерживать давление < 130/80 мм рт. ст.; для этого используют комбинированную антигипертензивную терапию. Лечение особенно важно при беременности, когда необходимо мониторировать давление для предотвращения преэклампсии [13].

• **Липидный спектр.** Контроль уровня холестерина достигается назначением статинов; для пациентов с высоким риском возможна терапия PCSK9-ингибиторами [13]. Целевой уровень LDL-холестерина составляет < 1,8 ммоль/л.

• **Сахарный диабет.** Скрининг на диабет рекомендуется взрослым с избыточной массой тела; при подтверждении диагноза назначаются метформин, SGLT2-ингибиторы или GLP-1 рецепторные агонисты. В руководствах 2024 г. подчёркнуто, что использование GLP-1 агонистов снижает риск сердечно-сосудистых событий и инсульта [13].

• **Меры по снижению веса и управление стрессом.** Ожирение (BMI ≥ 30 кг/м^2) ассоциировано с повышенным риском инсульта; контроль веса достигается с помощью диетотерапии и физической активности. Психосоциальные факторы — стресс, депрессия — также считаются модифицируемыми; их коррекция включает психотерапию и социальную поддержку [2].

• **Антитромбоцитарная и антикоагулянтная терапия.** Назначается пациентам с фибрилляцией предсердий в зависимости от оценки по шкале CHA_2DS_2-VASc. Новые оральные антикоагулянты и антиагреганты используются согласно действующим рекомендациям.

• **Скрининг и профилактика у женщин.** Отдельные рекомендации касаются женщин с эндометриозом, ранней менопаузой, мигренью и использованием гормональной терапии; таким пациенткам следует уделять особое внимание, поскольку их риск инсульта повышен [13].

Для удобства систематизации информации приведены две таблицы: одна обобщает инновационные методы визуализации, другая — перспективные биомаркеры.

Таблица 1.

Современные методы ранней диагностики цереброваскулярных заболеваний

Метод	Принцип	Данные литературы (пример)
Оптическая когерентная томография (OCT/OCTA)	Неинвазивная визуализация сетчатки: оценка плотности сосудов, фрактальной размерности и толщины нервного слоя.	Уменьшение фрактальной размерности сетчатки удваивает риск ишемического инсульта [5].
Диффузионно-тензорная МРТ (DTI)	Измерение направленной диффузии воды для оценки целостности белого вещества.	Позволяет выявлять микроангиопатию и «тихие» инфаркты; повышение средней диффузии ассоциировано с ранними когнитивными нарушениями [6].
Перфузионная КТ (CTP)	Определение мозгового кровотока, объёма и времени прохождения контраста.	Чувствительность 86,7 % и специфичность 77,8 % для прогнозирования геморрагической трансформации ишемического инсульта [7].

Метод	Принцип	Данные литературы (пример)
Транскраниальная допплерография (TCD)	Измерение скорости кровотока в церебральных артериях, индекс Линдэгорда.	Увеличение средней скорости > 120 см/с предсказывает вазоспазм; изменения скорости предшествуют симптомам на 24–48 ч [8].
Ультразвуковая оценка CIMT	Измерение толщины комплекса интима-медиа сонных артерий.	CIMT ≥ 0,9 мм указывает на сосудистое повреждение; чувствительность 98 %, специфичность 88 % для стеноза ≥ 50 % [9].

Таблица 2.

Перспективные биомаркеры ранней диагностики инсульта

Биомаркер	Группа	Диагностическое значение
ATIII и фибриноген	Коагуляционные	Снижение ATIII и повышение фибриногена указывают на гиперкоагуляцию и риск ишемического инсульта.
GFAP и S100b	Глиальные белки	Повышаются при повреждении нервной ткани; GFAP — чувствительный маркер геморрагического инсульта [11].
MMP-9 и IL-33	Воспалительные/металлопротеиназы	Высокие уровни связаны с геморрагической трансформацией и нарушением гематоэнцефалического барьера [11].
microRNA-124-3p	Некодирующие РНК	Повышается при геморрагическом инсульте; перспективный ранний маркер.
Панель метаболитов	Метаболические	Позволяет различать ишемический и геморрагический инсульт; требует дальнейшей валидации.

Заключение. Анализ современных источников показывает, что ранняя диагностика цереброваскулярных заболеваний переживает серьёзную эволюцию. Развитие высокотехнологичных методов визуализации (OCT/OCTA, DTI, CTP, TCD) позволяет обнаруживать субклинические изменения в микрососудистом русле и белом веществе мозга задолго до клинического дебюта. Комбинация нескольких методов усиливает чувствительность и специфичность и даёт возможность выявлять пациентов с высоким риском инсульта. Сывороточные биомаркеры, особенно в составе мультикомпонентных панелей, открывают перспективы для экспресс-диагностики и мониторинга патофизиологических процессов. Использование цифровых технологий и искусственного интеллекта способствует ускорению распознавания симптомов и сокращению времени до оказания помощи, улучшает маршрутизацию пациентов и повышает эффективность профилактических программ.

Предупреждение инсульта остаётся ключевой задачей. Современные рекомендации подчёркивают важность контроля гипертензии, дислипидемии, гликемии, отказа от вредных привычек, физической активности и соблюдения средиземноморской диеты. Учёт социальных детерминант здоровья и индивидуализированный подход позволяют добиться существенного снижения риска. Перспективы дальнейших исследований включают разработку портативных мультифункциональных устройств, интеграцию телемедицины с AI-анализом, изучение генетических и эпигенетических факторов и оценку экономической эффективности масштабного внедрения этих технологий. Внедрение комплексных программ ранней диагностики и профилактики имеет потенциал радикально уменьшить бремя цереброваскулярных заболеваний, особенно в развивающихся странах.

ЛИТЕРАТУРА

1. World Health Organization. *Cardiovascular diseases (CVDs): fact sheet*. Geneva; 2023.

2. Boehme A.K., Esenwa C., Elkind M.S.V. Stroke risk factors, genetics, and prevention. *Circ Res*. 2017;120(3):472–495.

3. World Heart Federation. *World Heart Report 2023: The Pulse of the World's Heart*. Geneva: World Heart Federation; 2023.

4. O'Donnell M.J., Xavier D., Liu L., et al. Risk factors for ischaemic and intracerebral haemorrhagic stroke in 22 countries (the INTERSTROKE study): a case-control study. *Lancet*. 2010;376(9735):112–123.

5. Zhang Y., Zhao Z., Ye Q., Yan H., Shentu J., Lai Q., Qiao S. Advances in retinal imaging biomarkers for the diagnosis of cerebrovascular disease. *Front Neurol*. 2024;15:1389056.

6. Luo Y., Fu J., Li J., Li Z. Diffusion tensor imaging biomarkers in cerebral small vessel disease: a narrative review. *Front Aging Neurosci*. 2022;14:856607.

7. Lo K.B., Hasan M., Patel M., et al. Diagnostic performance of computed tomography perfusion imaging in predicting hemorrhagic transformation in acute ischemic stroke: a systematic review and meta-analysis. *Cureus*. 2021;13(11):e19482.

8. Abbas A., Qadri S., Pervaiz M., et al. Application of artificial intelligence to transcranial Doppler ultrasound: a scoping review. *Bioengineering*. 2025;12(2):198.

9. Kaewlai R., Lin B., Lertsunthone K., et al. Carotid intima-media thickness and plaque prevalence in young adults: a sonographic assessment. *J Med Ultrason*. 2023;50(2):205–215.

10. Sun B., Wang Z. A short review on advances in early diagnosis and treatment of ischemic stroke. *Galen Med J*. 2023;12:e2993.

11. Paolucci M., Porretta P., Bianchini E., et al. Blood biomarkers in stroke: a state-of-the-art review. *Int J Mol Sci*. 2023;24(18):13677.

12. Wolcott Z.C., English S.W. Artificial intelligence to enhance prehospital stroke diagnosis and triage: a perspective. *Front Neurol*. 2024;15:1389056.

13. Bushnell C., Kernan W.N., Sharrief A.Z., et al. 2024 guideline for the primary prevention of stroke: a guideline from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2024;55(10):e1–e128.

14. Centers for Disease Control and Prevention. *Risk factors for stroke*. 15 May 2024. Available from: https://www.cdc.gov/stroke/risk-factors/index.html.

15. Hannawa N., Kelsey L., Quinn D. Updated guideline for primary prevention of stroke released. *U.S. Pharmacist*. 2024 Oct 24.