

КЛИНИЧЕСКАЯ АНАТОМИЯ КОРТИКОСПИНАЛЬНОГО ТРАКТА В ДИАГНОСТИКЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИИ ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА

Абдукадирова Нодима Хабибуллаевна

*преподаватель кафедры медико-биологических
дисциплин; EMU University, Ташкент, Узбекистан*

Абдухамидова Робияхон Афзалхужаевна

*студентка I курса, «Лечебное дело»;
EMU University, Ташкент, Узбекистан*

Аннотация. В статье рассмотрена роль клинической анатомии кортикоспинального тракта в диагностике и прогнозировании исходов ишемического инсульта. Проведен анализ современных методов нейровизуализации, включая диффузионно-тензорную томографию (ДТТ) и трактографию, позволяющих оценивать структурную целостность проводящих путей головного мозга. Показано, что степень повреждения кортикоспинального тракта (КСТ) коррелирует с выраженностью двигательных нарушений и функциональным восстановлением пациентов. Обоснована необходимость интеграции анатомических данных с клиническими и инструментальными методами диагностики для повышения точности прогноза и оптимизации реабилитационных мероприятий.

Ключевые слова: кортикоспинальный тракт, ишемический инсульт, клиническая анатомия, ДТТ, трактография, нейровизуализация, прогноз.

CLINICAL ANATOMY OF THE CORTICOSPINAL TRACT IN THE DIAGNOSIS AND PROGNOSIS OF ISCHEMIC STROKE

Annotation. The article examines the role of the clinical anatomy of the corticospinal tract in the diagnosis and prediction of outcomes of ischemic stroke. The analysis of modern neuroimaging methods, including diffusion tensor tomography (DTT) and tractography, which make it possible to assess the structural integrity of the brain's pathways, is carried out. It has been shown that the degree of damage to the corticospinal tract (CST) correlates with the severity of motor disorders and functional recovery of patients. The necessity of integrating anatomical data with clinical and instrumental diagnostic methods is substantiated in order to increase the accuracy of prognosis and optimize rehabilitation measures.

Key words: corticospinal tract, ischemic stroke, clinical anatomy, DTT, tractography, neuroimaging, prognosis.

Введение

Ишемический инсульт является одной из ведущих причин инвалидизации и смертности во всем мире. Несмотря на значительные достижения в диагностике и лечении, прогноз функционального восстановления остается переменчивым. В последние годы возрастает интерес к изучению роли анатомических структур центральной нервной системы (ЦНС) в формировании клинической картины заболевания.

Ишемический инсульт является одной из ведущих медико-социальных проблем современной неврологии, поскольку сочетает высокую летальность, значительную частоту стойкой инвалидизации и выраженную зависимость исхода от локализации очага поражения. По данным Global Burden of Disease Study 2021 [5,3], за этот период в мире было зарегистрировано около 11,9 млн новых случаев инсульта, 93,8 млн человек жили с последствиями инсульта, а число смертей достигло 7,3 млн.; инсульт занял третье место среди причин смерти и четвертое место - по причине утраты DALY. Это показатель, который оценивает суммарное «бремя болезни», и представляет собой сумму потенциальных лет жизни, утраченных из-за преждевременной смерти и нетрудоспособности.

Согласно данным World Stroke Organization, [4] инсульт сохраняет позицию одной из главных причин смерти и инвалидности, а основная часть глобального бремени приходится на страны с низким и средним уровнем дохода [3].

Особую значимость данная проблема имеет для Узбекистана, где сердечно-сосудистые и цереброваскулярные заболевания остаются также в первой десятке в структуре неинфекционной смертности. Согласно обзору Health Systems in Action: Uzbekistan показано, что неинфекционные заболевания в 2019г. составляли 132412 случаев смерти, из них сердечно-сосудистые заболевания - 93260; ишемическая болезнь сердца названа ведущей причиной смерти, далее за которыми следует инсульт [10]. При этом, несмотря на снижение стандартизированной смертности от НИЗ, Узбекистан всё ещё относится к странам WHO European Region с высоким уровнем возраст-стандартизированной смертности от неинфекционных заболеваний: 673 на 100 000 населения в 2019г. против 427 на 100 000 в среднем по региону; к 2023г., согласно национальным данным отмечалось снижение до 450 на 100 000 [10]. В структуре причин утраты DALY в Узбекистане за 2021г. инсульт входит в число ведущих причин бремени болезни после ишемической болезни сердца и неонатальных нарушений [10].

Сложившаяся эпидемиологическая ситуация обосновывает необходимость не только совершенствования сосудистой профилактики, раннего выявления и начала терапии, но и более глубокого изучения анатомо-функциональных основ двигательных нарушений при ишемическом инсульте.

Клинический исход после инсульта определяется не только объёмом ишемического очага, но и тем, какие проводящие пути вовлечены в патологический процесс. Особенно важное значение имеет кортикоспинальный тракт (КСТ),

благодаря которому обеспечиваются произвольные тонкие и целенаправленные движения, прежде всего дистальных отделов конечностей. Его повреждение приводит к центральным парезам, патологическим пирамидным знакам, нарушениям мышечного тонуса, снижению силы и точности движений, что прямо определяет степень функциональной независимости пациента.

Материалы и методы

Проведен аналитический обзор современных научных публикаций (2020–2025 гг.), посвященных клинической анатомии кортикоспинального тракта, с использованием баз данных PubMed, Scopus и Web of Science. Включены исследования, рассматривающие роль ДТТ и трактографии в диагностике инсульта, а также работы, анализирующие корреляцию между структурными изменениями проводящих путей и клиническими исходами.

Анатомия кортикоспинального тракта.

Кортикоспинальный тракт представляет собой нисходящий проводящий путь, берущий начало в моторной коре и проходящий через внутреннюю капсулу, ножки мозга, мост и продолговатый мозг с последующим перекрестом пирамид и спуском в спинной мозг. Он обеспечивает контроль произвольных движений, особенно тонких движений дистальных отделов конечностей.

С точки зрения клинической анатомии важно учитывать топографические особенности КСТ, поскольку повреждение различных его отделов приводит к различным неврологическим проявлениям.

Начало своё КСТ берёт преимущественно от пирамидных нейронов V слоя первичной моторной коры, а также от нейронов премоторной, дополнительной моторной и соматосенсорной коры. Далее волокна проходят через corona radiata, заднюю ножку внутренней капсулы, основание ножек мозга, вентральные отделы моста и пирамиды продолговатого мозга. На уровне каудальной части продолговатого мозга большая часть волокон перекрещивается, формируя латеральный КСТ, который далее спускается в боковом канатике спинного мозга и оказывает влияние на интернейроны и мотонейроны передних рогов. Небольшая часть волокон остаётся неперекрещённой и образует передний кортикоспинальный тракт, участвующий преимущественно в регуляции аксиальной и проксимальной мускулатуры.

Благодаря такому анатомическому строению и локализации КСТ ишемическое поражение различных уровней данного пути - от моторной коры до внутренней капсулы и ствола мозга - может давать обширную клиническую картину: от изолированной слабости кисти до грубой гемиплегии.

Если остановиться на клинически значимом участке, то к нему относится задняя ножка внутренней капсулы, где волокна КСТ располагаются компактно, в связи с чем, даже небольшой лакунарный инфаркт в этой зоне может приводить к выраженному контралатеральному гемипарезу.

Следует отметить, что при корковых инфарктах клиническая картина зависит от соматотопической организации моторной коры: при поражении медиальных отделов прецентральной извилины преимущественно нарушается функция нижних конечностей, латеральных отделов - лица, языка и верхней конечности. Следовательно, знание анатомии КСТ имеет не только фундаментальное значение при изучении нервной системы (НС), но и в дальнейшем, при получении специальности врача, особенно специалистов, занимающихся патологией НС, лечением, реабилитацией. Это необходимые условия, имеющие прямое клиническое значение для точной топической диагностики, прогноза восстановления и построения индивидуальных программ реабилитации.

Современные данные источников литературы подчёркивают, что структурно-функциональная целостность КСТ является одним из ключевых предикторов восстановления двигательных функций после повреждения головного мозга. В обзоре 2020г. отмечено, что разработка индивидуальных программ реабилитации пациентов с центральными двигательными расстройствами требует знания топографической анатомии, их функционального значения и механизмов нейропластичности [1]. Поэтому изучение ишемического инсульта через призму анатомии кортикоспинального тракта позволяет связать фундаментальную анатомию с клинической неврологией, реабилитацией и прогнозированием исходов заболевания.

КСТ, являющийся основным проводящим путем, обеспечивает произвольные движения, играя ключевую роль в формировании двигательных нарушений при инсульте с развитием гемипареза и других неврологических дефицитов.

Современные методы нейровизуализации, такие как диффузионно-тензорная томография (ДТТ), позволяют неинвазивно визуализировать белое вещество и оценивать структурную целостность проводящих путей, что открывает новые возможности для интеграции анатомии и клинической практики.

На рис.1. представлен основной проводящий путь произвольной двигательной активности человека. Цветовое кодирование позволяет визуально проследить путь нисходящих волокон от коры головного мозга (ГМ) до мотонейронов спинного мозга (СМ) [6].

1. Кортикальный уровень (Cortex cerebri)

Своё начало КСТ берёт в области: первичной моторной коры (*gyrus precentralis*) - основной источник пирамидных нейронов (клетки Беца, V слой); частично - премоторной и дополнительной моторной коры.

На рисунке эта зона обычно обозначена красным или оранжевым цветом, отражающим начало эфферентной двигательной импульсации. Здесь сохраняется соматотопическая организация (моторный гомункулус): медиально - нижняя конечность, латерально - лицо и верхняя конечность.

2. Corona radiata - место, где волокна сходятся в веерообразную структуру - который называют лучистым венцом. На рисунке эта зона показана как

расширяющийся пучок волокон, направляющихся книзу. Здесь происходит конвергенция двигательных импульсов.

3. **Внутренняя капсула (Capsula interna)**, ключевой участок тракта - задняя ножка внутренней капсулы (*crus posterius capsulae internae*), где волокна располагаются максимально компактно. На схеме эта зона обычно выделена более насыщенным цветом (красный/бордовый).

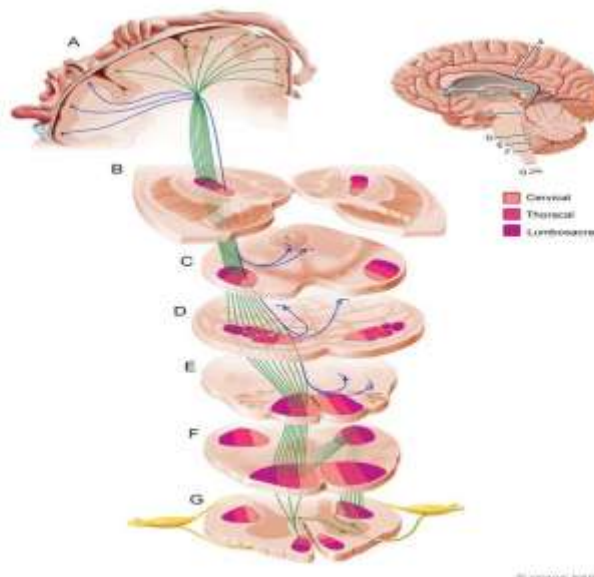


Рис.1. Схематическое изображение кортикоспинального тракта (tractus corticospinalis)

Клиническое значение: даже небольшой ишемический очаг в этой области приводит к выраженному контралатеральному гемипарезу.

4. **Средний мозг (Mesencephalon)**. Волокна проходят через ножки мозга (*crura cerebri*) - вентральная часть среднего мозга, на рисунке это узкий пучок, сохраняющий компактность.

5. **Мост (Pons)**. В области моста волокна частично рассеиваются среди ядер и поперечных волокон, однако сохраняют общее направление. На схеме это выглядит как «разрыхление» пучка.

6. **Продолговатый мозг (Medulla oblongata)** - формируются пирамиды продолговатого мозга (*pyramides medullae oblongatae*) - чётко выраженные продольные структуры. На уровне каудального отдела происходит перекрёст пирамид (**decussatio pyramidum**): 80-90% волокон переходят на противоположную сторону, образуя латеральный кортикоспинальный тракт; 10-20% - остаются ипсилатеральными, формируя передний КСТ.

7. **Спинальный мозг (Medulla spinalis)**. После перекрёста формируются два основных пучка: 1. Латеральный кортикоспинальный тракт (**tractus corticospinalis lateralis**) - расположен в боковом канатике; обеспечивает тонкие произвольные движения (особенно кисти); 2. Передний кортикоспинальный тракт (**tractus corticospinalis anterior**) - расположен в переднем канатике; регулирует проксимальную и аксиальную мускулатуру [9].

Окончание тракта происходит на уровне передних рогов спинного мозга, через интернейроны и α -мотонейроны.

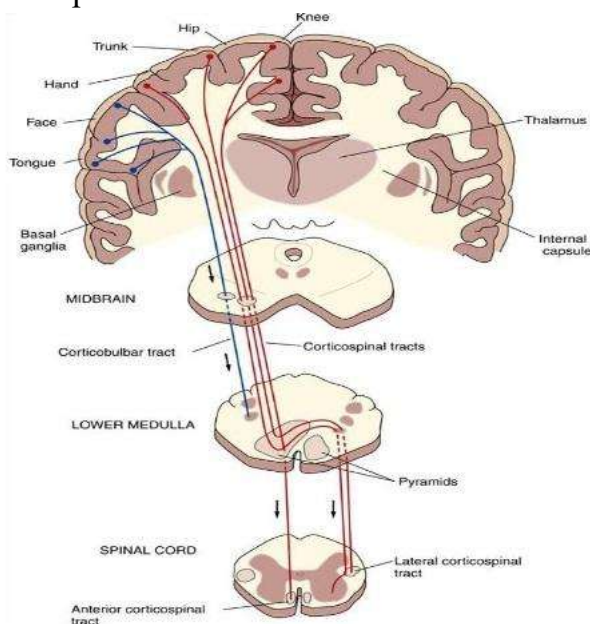


Рис.2. Анатомо-топографическая организация кортикоспинального (пирамидного) тракта

Схематически представлено прохождение кортикоспинального тракта от первичной моторной коры через corona radiata и заднюю ножку внутренней капсулы, далее через ножки мозга, мост и пирамиды продолговатого мозга. На уровне продолговатого мозга показан перекрёст большей части волокон (*decussatio pyramidum*) с формированием латерального КСТ; меньшая часть волокон продолжается в составе переднего кортикоспинального тракта. Отражена соматотопическая организация проводящих путей и их проекция в спинном мозге.

Клиническое значение повреждения кортикоспинального тракта

Поражение кортикоспинального тракта при ишемическом инсульте сопровождается развитием двигательных нарушений различной степени выраженности. Установлено, что степень повреждения КСТ является одним из ключевых факторов, определяющих прогноз восстановления двигательных функций.

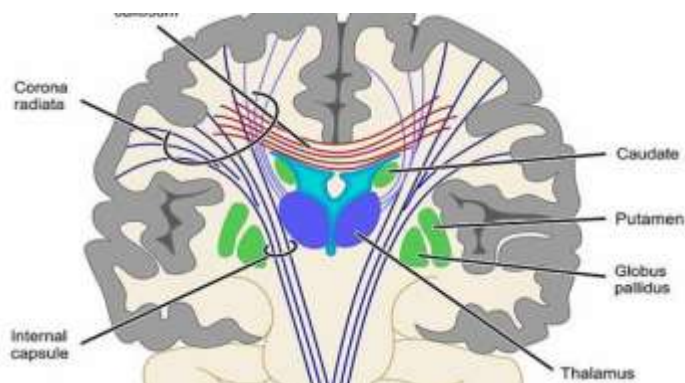


Рис.3. Пути прохождения КСТ в разрезе для топографического представления.

Современные исследования показывают, что повреждение КСТ, выявляемое при помощи ДТТ, достоверно коррелирует с функциональным исходом у пациентов после инсульта. При этом снижение показателей фракционной анизотропии (FA) свидетельствует о нарушении структурной целостности волокон и ассоциируется с более тяжелым неврологическим дефицитом [9].

Роль ДТТ и трактографии в клинической практике.

Диффузионно-тензорная томография (ДТТ) является высокочувствительным методом оценки состояния белого вещества головного мозга. Она позволяет количественно анализировать параметры диффузии воды, отражающие микроструктуру нервных волокон.

Трактография, основанная на данных ДТТ, дает возможность визуализировать проводящие пути в трехмерном пространстве, что существенно расширяет представления о функциональной анатомии мозга [12].

Использование ДТТ позволяет:

- оценивать степень повреждения КСТ;
- прогнозировать восстановление двигательных функций;
- планировать реабилитационные мероприятия;
- уточнять локализацию патологического процесса.

Согласно современным данным, показатели ДТТ (FA, объем тракта) имеют прогностическую ценность и могут использоваться для стратификации пациентов по степени риска неблагоприятного исхода.

Диффузионно-тензорная томография (ДТТ, diffusion tensor imaging - DTI) и основанная на ней трактография в последние годы заняли важное место в нейровизуализации ишемического инсульта, поскольку позволяют неинвазивно оценивать состояние белого вещества и проводящих путей головного мозга. В отличие от стандартной МРТ, ориентированной преимущественно на макроструктурные изменения, ДТТ обеспечивает анализ направленной диффузии молекул воды, что отражает микроструктурную организацию аксонов и степень их миелинизации. Это делает возможным количественную оценку целостности КСТ - основного нисходящего пути, обеспечивающего произвольную двигательную активность [9].

Ключевыми параметрами ДТТ являются фракционная анизотропия (FA) и средняя диффузия (MD/ADC). Снижение показателя FA свидетельствует о дезорганизации аксональных волокон, нарушении миелиновой оболочки и потере структурной направленности белого вещества, тогда как повышение MD отражает увеличение внеклеточного пространства и развитие вазогенного отека. У пациентов с ишемическим инсультом данные изменения могут выявляться уже в ранние сроки заболевания, нередко предшествуя визуализации выраженных структурных нарушений на стандартных МР-последовательностях [7,11]. Таким образом, ДТТ позволяет диагностировать повреждение проводящих путей на доклиническом или субклиническом уровне. Трактография, являясь методом постобработки ДТТ-

данных, обеспечивает трёхмерную реконструкцию КСТ и позволяет наглядно визуализировать его протяжённость, целостность и степень вовлечения в патологический процесс (рис.3).

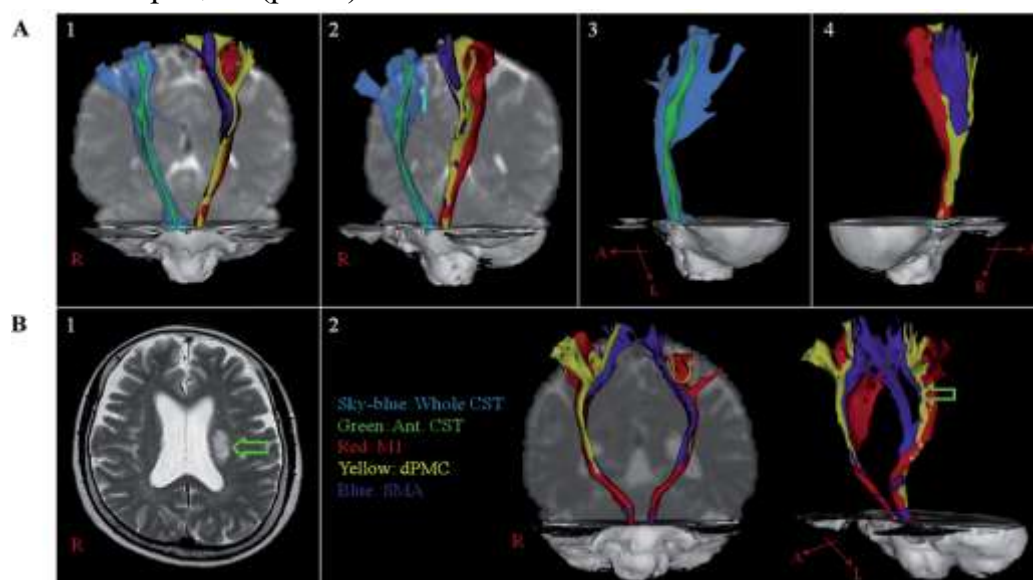


Рис. 4. Диффузионно-тензорная трактография КСТ у:

- (А) здорового человека (45-летний мужчина);
и (В) пациента с инсультом (72-летняя женщина).**

Весь КСТ и передняя часть были реконструированы в правом полушарии. Волокна КСТ были реконструированы в левом полушарии (красный: волокна КСТ из первичной моторной коры [M1]; желтый: волокна КСТ из дорсальной премоторной коры [дПМК]; синий: волокна КСТ из дополнительной моторной области []). (1) передне-задний вид; (2) косой вид; (3) правый боковой вид; (4) левый боковой вид. (В) (1) T2-взвешенное магнитно-резонансное изображение головного мозга пациента показало инфаркт (стрелка) в левой лучистой короне. (2) Волокна КСТ в соответствии с церебральным происхождением. Волокна КСТ из дорсальной премоторной коры левого полушария демонстрируют повреждение (стрелка) в результате инфаркта в левой лучистой короне.

При ишемическом инсульте возможно выявление частичной дезорганизации волокон, их смещения, истончения или полного прерывания. Эти изменения имеют прямую клиническую корреляцию с выраженностью двигательного дефицита: сохранность анатомической непрерывности КСТ ассоциирована с более благоприятным восстановлением, тогда как его структурное разрушение является неблагоприятным прогностическим признаком.

Знание анатомо-топографических особенностей кортикоспинального тракта имеет принципиальное значение для интерпретации данных ДТТ и трактографии. Особое внимание уделяется таким критическим зонам, как задняя ножка внутренней капсулы, где волокна тракта располагаются максимально компактно, а также пирамиды продолговатого мозга, на уровне которых происходит перекрест основной массы волокон. Поражение данных участков даже при небольшом объёме

ишемии может приводить к выраженному контралатеральному гемипарезу. В то же время корковые инфаркты, затрагивающие ограниченные участки прецентральной извилины, нередко обуславливают более локальные двигательные нарушения, что отражает соматотопическую организацию моторной коры (Рис.4).

Применение ДТТ и трактографии [2,8] существенно расширяет возможности топической диагностики инсульта, позволяя дифференцировать корковые, подкорковые и стволовые поражения, а также уточнять степень вовлечения проводящих путей. Кроме того, данные методы используются для динамического наблюдения за процессами нейропластичности и ремоделирования белого вещества в ходе реабилитации. Изменения параметров диффузии и конфигурации тракта могут служить объективными маркерами эффективности восстановительного лечения и адаптационных процессов центральной нервной системы.

Таким образом, ДТТ и трактография являются высокоинформативными инструментами современной нейровизуализации, позволяющими оценивать структурно-функциональное состояние кортикоспинального тракта при ишемическом инсульте. Их использование в клинической практике способствует более точной диагностике, обоснованному прогнозированию двигательного восстановления и персонализации реабилитационных мероприятий, что имеет важное значение для снижения инвалидизации пациентов.

Обсуждение. Интеграция данных клинической анатомии с современными методами нейровизуализации позволяет значительно повысить точность диагностики и прогноза при ишемическом инсульте. В отличие от традиционных методов, ДТТ предоставляет информацию о микроструктурных изменениях, которые не выявляются при стандартной МРТ. Важным аспектом является возможность раннего выявления повреждения проводящих путей, что позволяет своевременно начать реабилитацию и повысить эффективность восстановительного лечения.

Кроме того, перспективным направлением является использование искусственного интеллекта для анализа данных ДТТ и построения прогностических моделей.

Заключение. Проведённый обзор современных источников литературы по данной теме показывает, что клиническая анатомия КСТ играет ключевую роль в диагностике и прогнозировании ишемического инсульта. Применение современных методов нейровизуализации, в частности ДТТ и трактографии, позволяет объективно оценить состояние проводящих путей и прогнозировать исход заболевания.

Исходя из этого можно заключить, что интеграция анатомических, клинических и инструментальных данных является перспективным направлением, требующих глубоких познаний в области «Анатомии», «Неврологии», «Лучевой диагностики», способствующих повышению качества медицинской помощи пациентам с

патологиями ЦНС, а также формирования клинического мышления уже с самых начальных истоков фундаментального образования в медицинских университетах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белова А.Н., Григорьева В.Н., Сушин В.О., Белова Е.М., Израелян Ю.А., Шейко Г.Е. Анатомо-функциональные особенности кортикоспинальных трактов и их роль в восстановлении двигательных функций после повреждений головного мозга. - //Вестник восстановительной медицины №1 - 2020 - С.9-18
2. Boucher S. et al. Diffusion tensor imaging tractography of white matter // *Frontiers in Veterinary Science*. - 2020. -Vol. 7.
3. Feigin V., Abate M., Abate Y. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990-2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. - // *The Lancet Neurology*, - 23, - p.973-1003
4. Feigin V.L., Brainin M., Norrving B., Martins S.O., Pandian J., Lindsay P., Frisvold M., Rautalin I. World Stroke Organization: Global Stroke Fact Sheet 2025. - // *International journal of stroke: official journal of the International Stroke Society*, - 2025. - 20(2), p.132-144. <https://doi.org/10.1177/17474930241308142>
5. Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease Study 2021 (GBD 2021) Results / Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME). - Seattle, WA, 2024. <https://ghdx.healthdata.org/gbd-2021>
6. <http://www.kenhub.com>
7. Jang W.H., Lee S.H., Lee S.H. Diffusion tensor tractography studies for causes of dysphagia after stroke. // *Brain Sciences*. - 2025. - Vol. 15(9). - P. 925.
8. Karadag A. et al. Importance of corticospinal tract characteristics based on DTI and microdissection. // *Journal of Basic and Clinical Health Sciences*. - 2021. - Vol. 5(2). - P. 65–72.
9. Nuñez M. et al. Blood supply to the corticospinal tract: a pictorial review // *Clinical Anatomy*. - 2021.
10. Robinson S, Yin J (2025). Health Systems in Action (HSiA) Insights - Uzbekistan, 2024. Copenhagen: European Observatory on Health Systems and Policies, WHO Regional Office for Europe. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
11. Shi M. et al. Assessment of corticospinal tract damage in ischemic stroke using DTI. // *Frontiers in Neurology*. - 2024.
12. Stroke Imaging and Vascular Interventions. Corticospinal tractography and motor recovery. - // *AHA Journal*. - 2025