

В.С. Кононович, И.И. Ходаковская
КТ- И МРТ-ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ИШЕМИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ
В БАССЕЙНЕ ЗАДНЕЙ МОЗГОВОЙ АРТЕРИИ:
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доц. А.А. Иванов
Кафедра медицинской и биологической физики
Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск

V.S. Kananovich, I.I. Khadakouskaya
CT AND MRI PARAMETRIZATION OF ISCHEMIC CHANGES
IN THE POSTERIOR CEREBRAL ARTERY TERRITORY:
A PHYSICAL-MATHEMATICAL APPROACH

Tutor: PhD, associate professor A.A. Ivanov
Department of Medical and Biological Physics
Belarusian State Medical University, Minsk

Резюме. Использована модель на основе КТ и МРТ для количественной оценки ишемии в бассейне задней мозговой артерии. Модель точно определяет степень повреждения мозга, динамику распространения ишемии и помогает прогнозировать некроз, что улучшает диагностику и выбор лечения инсульта.

Ключевые слова: ишемический инсульт, задняя мозговая артерия, КТ (компьютерная томография), МРТ (магнитно-резонансная томография), реперфузия.

Resume. A model based on CT and MRI was used to quantify ischemia in the posterior cerebral artery basin. The model accurately determines the extent of brain damage, the dynamics of ischemia spread, and helps predict necrosis, which improves diagnosis and treatment choices for stroke.

Keywords: ischemic stroke, posterior cerebral artery, CT (computed tomography), MRI (magnetic resonance imaging), reperfusion.

Актуальность. Интеграция физических методов визуализации и количественного анализа в анатомию и патологию сосудистого русла головного мозга открывает новые возможности диагностики ишемического инсульта. КТ и МРТ как методы, основанные на рентгеновской абсорбциометрии и ядерном магнитном резонансе, позволяют исследовать плотностные и структурные параметры мозга [2]. Однако формализация этих данных через физико-математические модели остаётся недостаточно реализованной, особенно в контексте оценки ишемии в бассейне задней мозговой артерии (ЗМА).

Цель: исследовать методы оценки ишемических изменений в бассейне задней мозговой артерии (ЗМА) с помощью количественного анализа КТ и МРТ-снимков.

Задачи:

1. Исследовать методы обработки КТ и МРТ-снимков для выявления ишемических изменений в мозге.
2. Изучить способы количественной оценки плотности тканей и анатомических характеристик на КТ и МРТ для определения повреждений в бассейне ЗМА.
3. Оценить динамику изменений в тканях мозга на основе данных КТ и МРТ, используя математические модели для анализа ишемии в бассейне ЗМА.

Материалы и методы. Было проанализировано 37 КТ- и МРТ-снимков головного мозга пациентов с ишемией в бассейне ЗМА, выполненных в ГУ «Минский научно-практический центр хирургии, трансплантологии и гематологии».

На основе полученных изображений измеряли плотность мозгового вещества (по шкале HU), диаметр сегментов P1–P3 ЗМА, а также площадь и объем участков сниженной плотности серого вещества.

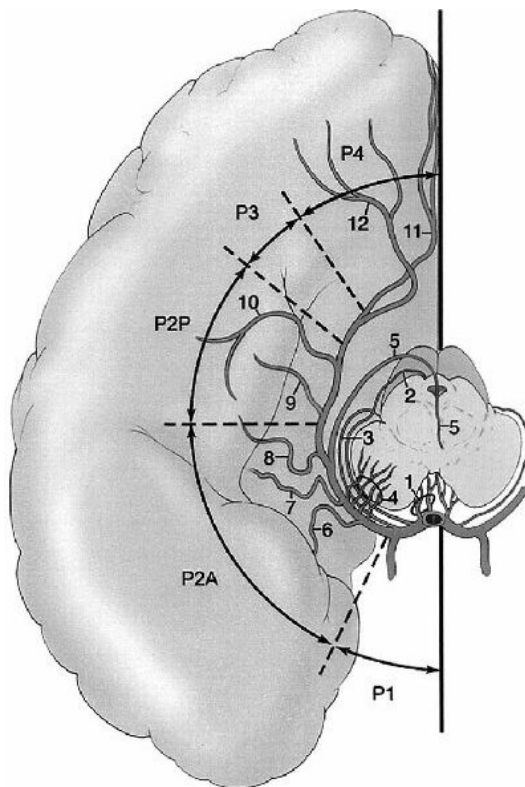


Рис. 1 – Сегменты задних мозговых артерий

Для описания распространения ишемии применялась математическая модель на основе уравнения диффузии кислорода с метаболическим поглощением (позволяет оценивать динамику дефицита кислорода в тканях) [1]. Расчёты проводились методом конечных разностей для оценки роста зоны ишемии во времени.

Результаты и их обсуждение. Благодаря физико-математическому анализу в зоне ишемии зафиксировано снижение плотности ткани мозга до 16,8 HU по сравнению с нормой 43,7 HU. Предложенная модель позволяет точно оценивать степень повреждения ткани мозга и может быть использована для диагностики и прогнозирования зоны ишемического поражения.

Диаметр P2-сегмента ЗМА в зоне поражения составил в среднем 1,3 мм против 1,8 мм на противоположной стороне, что указывает на структурные изменения сосудов в зоне ишемии. Это может служить индикаторами ранней диагностики и оценки сосудистых изменений при инсульте. Изменение диаметра P1- и P3-сегментов не оказались статистически значимыми.

Табл. 1. Количественные и качественные характеристики полученных снимков

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	ID	Количество срезов	Толщина среза (мм)	Площади срезов (мм ²)	Суммарная площадь (мм ²)	Объём очага (мм ³)	Отек	Смещение структур	Тип смещения	Сдавление желудочков	Кровоизлияние
2	1	8	3	104, 119, 106, 153, 134, 130, 156, 119	1021	3063	Да	Да	—	Значительное	Субарахноидальное
3	2	8	4	130, 104, 130, 105, 134, 148, 108, 149	1008	4032	Да	Да	Тенториальное	Значительное	Субарахноидальное
4	3	7	4	110, 102, 141, 141, 127, 130, 154	905	3620	Да	Нет	—	Нет	Нет
5	4	7	4	138, 132, 105, 123, 138, 136, 103	875	3500	Да	Нет	—	Умеренное	Внутримозговое
6	5	6	3	111, 115, 128, 100, 146, 144	744	2232	Да	Нет	—	Значительное	Субарахноидальное
7	6	6	4	110, 137, 127, 118, 128, 102	722	2888	Да	Да	—	Значительное	Внутримозговое
8	7	8	4	124, 101, 116, 118, 149, 133, 148, 126	1015	4060	Да	Да	Асимметрия	Нет	Внутримозговое
9	8	5	5	137, 113, 126, 139, 119	634	3170	Да	Да	Асимметрия	Умеренное	Внутримозговое
10	9	8	5	132, 142, 121, 114, 130, 149, 154, 150	1092	5460	Да	Нет	—	Значительное	Внутримозговое
11	10	6	3	155, 107, 113, 140, 107, 121	743	2229	Да	Да	—	Значительное	Внутримозговое
12	11	8	5	111, 105, 112, 156, 114, 116, 127, 135	976	4880	Да	Да	—	Умеренное	Нет
13	12	8	5	108, 102, 113, 139, 114, 137, 142, 129	984	4920	Да	Да	Тенториальное	Значительное	Субарахноидальное
14	13	7	5	155, 109, 150, 156, 112, 157, 118	957	4785	Да	Да	—	Умеренное	Нет
15	14	8	4	156, 108, 144, 122, 114, 115, 151, 114	1024	4096	Да	Нет	—	Нет	Нет
16	15	8	3	129, 120, 136, 116, 160, 148, 148, 156	1113	3339	Да	Нет	—	Значительное	Субарахноидальное
17	16	5	5	141, 141, 109, 128, 121	640	3200	Да	Да	—	Умеренное	Субарахноидальное
18	17	8	4	126, 101, 125, 104, 107, 101, 121, 122	907	3628	Да	Нет	—	Нет	Нет
19	18	5	5	135, 141, 110, 116, 107	609	3045	Да	Да	Тенториальное	Значительное	Внутримозговое
20	19	7	3	100, 141, 159, 158, 129, 158, 123	968	2904	Да	Да	Асимметрия	Значительное	Внутримозговое
21	20	7	3	110, 103, 127, 100, 101, 117, 130	788	2364	Да	Да	—	Умеренное	Внутримозговое
22	21	5	5	136, 132, 114, 121, 151	654	3270	Да	Нет	—	Нет	Субарахноидальное
23	22	5	5	143, 132, 135, 121, 155	686	3430	Да	Нет	—	Значительное	Внутримозговое
24	23	7	3	110, 105, 134, 142, 135, 109, 101	836	2508	Да	Нет	—	Нет	Нет
25	24	8	5	145, 108, 117, 141, 102, 156, 136, 143	1048	5240	Да	Нет	—	Умеренное	Нет
26	25	6	5	112, 157, 125, 142, 133, 128	797	3985	Да	Нет	—	Значительное	Внутримозговое
27	26	6	3	110, 110, 107, 130, 128, 127	712	2136	Да	Да	—	Значительное	Нет
28	27	8	5	110, 133, 148, 159, 117, 104, 119, 140	1030	5150	Да	Да	—	Нет	Субарахноидальное
29	28	5	5	140, 146, 155, 126, 108	675	3375	Да	Нет	—	Значительное	Нет

Моделирование с использованием диффузионно-метаболической модели показало, что концентрация кислорода в пораженной зоне быстро снижается, что приводит к расширению зоны ишемии [3]. Эти данные могут быть использованы для прогнозирования вероятности развития некроза и выбора соответствующего метода лечения, например, реперфузии. Прогнозирование зоны некроза показало, что без реперфузии ишемия будет развиваться, увеличивая область некроза. Модель помогает количественно оценить степень ущерба [1].

Выводы:

1. Предложенная модель позволяет точно оценить ишемические изменения, используя КТ и МРТ изображения для диагностики и прогнозирования зоны повреждения.
2. Метод помогает выявить снижение плотности в ткани мозга и изменения сосудистого русла, что важно для ранней диагностики инсульта.
3. Моделирование процесса ишемии помогает прогнозировать развитие зоны некроза, что может повлиять на выбор лечения.
4. Интеграция физико-математических методов в клиническую практику может улучшить точность диагностики и персонализировать подход к лечению ишемических инсультов.

Литература

1. Cui S, Pratz G. 3D computational model of oxygen depletion kinetics in brain vasculature during FLASH RT, and its implications for in vivo oximetry experiments. *Med Phys*. 2022; 49: 3914–3925.
2. Jose J, James J. An MRI Based Ischemic Stroke Classification - A Mechanism Oriented Approach. *Ann Indian Acad Neurol*. 2022 Nov-Dec;25(6):1019-1028.
3. Pastor-Alonso D, Berg M, Boyer F, Fomin-Thunemann N, Quintard M, Davit Y, Lorthois S. Modeling oxygen transport in the brain: An efficient coarse-grid approach to capture perivascular gradients in the parenchyma. *PLoS Comput Biol*. 2024 May 23; 20(5): e1011973.