

Возможности текстурного анализа МРТ изображений головного мозга в дифференциальной диагностике первичных внемозговых опухолей

Н.С. Демин

*Институт систем обработки
изображений - филиал ФНИЦ
«Кристаллография и фотоника»
РАН*

*Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
volfgunus@gmail.com*

Е.Н. Суровцев

*Самарский государственный
медицинский университет
Самара, Россия
evgeniisurovcev@mail.ru*

*А.В. Капишников
Самарский государственный
медицинский университет
Самара, Россия
a.kapishnikov@gmail.com*

Н.Ю. Ильсцова

*Институт систем обработки
изображений - филиал ФНИЦ
«Кристаллография и фотоника»
РАН*

*Самарский национальный
исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
ilyasova.nata@gmail.ru*

Аннотация— Исследуется возможность использования текстурных признаков для дифференциальной диагностики первичных внемозговых опухолей по двумерным цифровым МРТ изображениям. В качестве информационных признаков рассматривались гистограммные и корреляционные характеристики, а также признаки на основе длин серий. Отбор эффективных признаков проводится на основе критерия дискриминантного анализа. Применимость предложенного подхода для решения задачи дифференциальной диагностики между различными типами внемозговых опухолей исследуется экспериментально на наборе из 66 пациента. Анализ данных стандартного МРТ на основе радиомики показал лучший результат дифференциальной диагностики по сравнению с визуальной оценкой.

Ключевые слова— радиомика, текстурный анализ, диагностика, отбор признаков, дискриминантный анализ.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, в связи с растущим объемом медицинских исследований, актуальна задача постановки верного диагноза. Эта задача особенно актуальна при дифференциальной диагностике первичных внемозговых опухолей (ПВО) на изображениях МРТ (Магнитно-резонансной томографии) [1]. Интерпретация изменений, выявленных на медицинских изображениях основана на визуальном анализе ограниченного количества качественных и количественных критериев (локализация, число, форма, размер, структура и т.д.). Однако, помимо этого небольшого количества рентгенологических признаков данные визуализации богаты количественными параметрами (дескрипторы формы, гистограммные и текстурные характеристики) [2]. Анализ этих параметров модифицирует задачу интерпретации данных диагностических изображений из субъективной и качественной в объективную и количественную [1]. Данный подход получил название радиомика. В нейроонкологии радиомика используется как для решения задач как дифференциальной диагностики опухолей, так и для определения прогноза течения заболевания и ответа опухоли на лечение [3]. Радиомика позволяет выявить цифровые фенотипы

визуализации путем комплексного изучения методами текстурного и морфометрического анализа [4,5]. Извлечение количественных данных из мультимодальных медицинских изображений с использованием достижений в области интеллектуального анализа данных и машинного обучения позволяет выявлять взаимосвязь между цифровыми свойствами медицинского изображения и клиническими данными для использования в системах поддержки принятия решений [6,7]. Радиомический анализ включает несколько этапов: сбор и предварительная обработка изображений, сегментация зоны интереса, извлечение признаков и построение математической модели, отображающей взаимосвязь признаков изображения с клиническими данными.

Целью исследования является сравнительная оценка возможностей визуальной семиотики и текстурного анализа МР-изображений для дифференциальной диагностики первичных внемозговых опухолей.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование включало 66 пациента с первичными внемозговыми опухолями, которые были разделены на две группы: обучающую и валидационную. Обучающая группа включала 39 пациентов (шесть мужчин и 33 женщины) в возрасте от 33 до 62 лет (медиана возраста 58 лет). Валидационная группа состояла из 27 пациентов. Осуществлялось два направления исследований.

1) Визуальная оценка семиотики опухолей. Оценивались как качественные (локализация, форма, контур, структура и т.д.), так и количественные (площадь и объем опухоли, интенсивность МР-сигнала признаки).

2) Текстурный анализ выполнялись с использованием программы MaZda [8, 9], которая позволяет рассчитывать следующие группы признаков текстуры: а) основанные на статистических характеристиках; б) основанные на градиентных параметрах; в) основанные на матрице смежности; г) основанные на матрице длины серий.

Перед выполнением анализа осуществлялась автоматическая сегментация опухолей с использованием сверточной нейронной сети [10]. При выполнении гистограммного и текстурного анализа выполнялась нормализация яркости изображений в диапазоне $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$, где μ - среднее значение уровня серого, а σ - стандартное отклонение. Дискриминантный анализ применялся в качестве метода, позволяющего выполнить статистическое моделирование на основе оценки совокупного вклада различных признаков для разделения опухолей.

Было построено две статистические модели на основе данных обучающих групп: с использованием признаков семиотики (модель 1) и на основе текстурных параметров (модель 2). Анализ диагностической эффективности дискриминантных моделей заключался в расчете операционных характеристик тестов: чувствительности, специфичности по результатам валидационной проверки. Можно отметить, что модель на основе текстурных признаков верно классифицировала 83,3% злокачественных менингиом, значительно превосходя результаты модели 1 (верно классифицировала 50% злокачественных менингиом). Модель 2 так же продемонстрировала лучшую классификацию доброкачественных опухолей, превосходя чувствительность модели 1 примерно на 20% (рисунок 1).

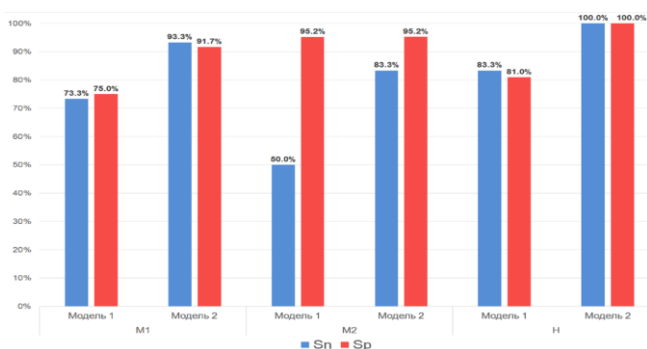


Рис. 1. Диаграммы характеристик чувствительности (Sn) и специфичности (Sp) для различных дискриминантных моделей по результатам их валидационной проверки

В модель 1 вошли следующие признаки: средняя интенсивность МР, минимальное значение коэффициента диффузии, объем опухоли, наличие зон некроза, изменение подлежащей кости. В модель 2 - 20 параметров: неравномерности уровня серого, признаки матрицы длин серий. Данные признаки отображают неоднородность структуры опухоли. Отобранные дискриминантным анализом информативные признаки характеризовались максимальным вкладом в разделение опухолей. Диаграммы (рисунок 2) наглядно показывают возможности дискриминантных моделей разделять опухоли.

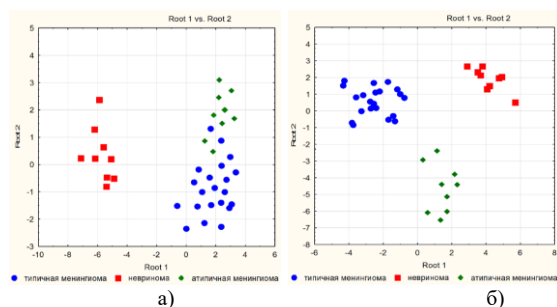


Рис. 2. Диаграммы распределения признаков для моделей: а – на основе признаков семиотики, б – на основе гистограммных и текстурных параметров

Отмечается наличие пересечения пространств для модели 1 между доброкачественными и злокачественными менингиомами и полное разделение опухолей моделью 2.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показывают, что анализ данных стандартного МРТ на основе радиомики показывает лучший результат дифференциальной диагностики ПВО по сравнению с визуальной оценкой. Предложенная статистическая модель обладает высокой чувствительностью и специфичностью для дифференциальной диагностики между тремя наиболее частыми ПВО: доброкачественными и злокачественными менингиомами и невриномами. Моделирование на основе дискриминантного анализа продемонстрировало, что текстурные признаки могут быть использованы для дифференциальной диагностики ПВО, и высокоинформативны, на 45% превосходя модель на основе признаков семиотики. Использование количественных показателей, описывающих структуру опухоли, может повысить точность дифференциальной диагностики и лишена субъективности.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, в рамках выполнения работ по государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lohmann, P. Radiomics in neuro-oncology: Basics, workflow, and applications / P. Lohmann, N. Galdiks, M. Kocher, . et. al. // Methods – 2021. – Vol. 188. – P. 112-121. DOI:10.1016/j.jymeth.2020.06.003
- [2] Aerts, H.J. Decoding tumour phenotype by noninvasive imaging using a quantitative radiomics approach / H.J. Aerts, E.R. Velazquez, R.T. Leijenaar, et. al. // Nat Commun. – 2014. – Vol. 5. – P. 4006. DOI: 10.1038/ncomms5006.
- [3] Gu, H. The Current State of Radiomics for Meningiomas: Promises and Challenges / H. Gu, X. Zhang, P. di Russo. et. al. // Front Oncol. – 2020. Vol. 10. – P. 567736. DOI:10.3389/fonc.2020.567736
- [4] Kalasauskas, D. Beyond Glioma: The Utility of Radiomic Analysis for Non-Glioma Intracranial Tumors / D. Kalasauskas, M. Kosterhonn, N. Keric, et. al. // Cancers (Basel) – 2022. – Vol. 14(3). P. 836. DOI: 10.3390/cancers14030836.
- [5] Aerts, H.J. The Potential of Radiomic-Based Phenotyping in Precision Medicine: A Review / H.J. Aerts // JAMA Oncol. – 2016. – Vol. 2(12). – P. 1636-1642. DOI: 10.1001/jamaoncol.2016.2631.
- [6] Larue, R.T. Quantitative radiomics studies for tissue characterization: a review of technology and methodological procedures / R.T. Larue, G. Defraene, D. De Ruysscher, P. Lambin, et. al. // Br. J. Radiol. – 2017. – Vol. 90(1070). – P. 20160665. DOI:10.1259/bjr.20160665
- [7] Liu, Z. The Applications of Radiomics in Precision Diagnosis and Treatment of Oncology: Opportunities and Challenges / Z. Liu, S. Wang, D. Dong, et al. // Theranostics – 2019. – Vol. 9(5). – P. 1303-1322. DOI:10.7150/thno.30309
- [8] MaZda Web Site [Electronic resource]. – Access mode: http://www.elel.p.lodz.pl/programy/mazda/index.php?action=mazda_46 (28.10.2022)
- [9] MaZda MaZda User's Manual [Electronic resource]. – Access mode: http://www.elel.p.lodz.pl/mazda/download/mazda_manual.pdf (28.10.2022)
- [10] Агафонова, Ю.Д. Эффективность алгоритмов машинного обучения и сверточной нейронной сети для обнаружения патологических изменений на магнитнорезонансных томограммах головного мозга / Ю.Д. Агафонова, А.В. Гайдель, П.М. Зельтер, А.В. Капишиков // Компьютерная оптика. – 2020. – Т. 44, № 2. – С. 266-273. DOI: 10.18287/2412-6179-CO-67