

6. Еськов В. М., Гавриленко Т. В., Козлова В. В., Филатов М. А. Измерение параметров динамики микрохаоса в поведении реальных биосистем // Метрология. 2012. № 7. С. 39—48; Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Kozlova V. V., Filatov M. A. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems // Measurement Techniques. 2012. V. 55. N. 9. P. 1096—1100.

7. Haken H. Principles of brain functioning: a synergetic approach to brain activity, behavior and cognition. Berlin: Springer, 1996.

8. Prigogine I. The Die Is Not Cast // Futures. Bulletin of the Word Futures Studies Federation. 2000. V. 25. N. 4. P. 17—19.

Дата принятия 08.10.2014 г.

004.932.2

Современные принципы измерений в интеллектуальных системах гистологической диагностики онкологических заболеваний

В. Г. НИКИТАЕВ

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия, e-mail: kaf46@mail.ru

Рассмотрены проблемы измерений в интеллектуальных (на базе распознавания образов) системах гистологической диагностики онкологических заболеваний. Обсуждены принципы проведения исследований на этапе микроанализа опухолей, основанные на оценке характеристик тканевых и клеточных структур с применением различных шкал измерений.

Ключевые слова: информационно-измерительные системы, гистологическая диагностика, распознавание образов, онкологические заболевания, морфологические характеристики, шкалы измерений.

The problems of measurement in the intellectual systems (based on pattern recognition) of histological diagnosis of cancer at the present stage are discussed. The approach to the measurement on the stage of microanalysis of tumors is based on the assessment of characteristics of tissue and cellular structures with the use of measurement scales has been proposed.

Key words: information-measuring system, histological diagnosis, pattern recognition, cancer, morphological characteristics, measurement scales.

При создании и практическом применении современных высокотехнологичных интеллектуальных диагностических систем в медицине и технике с использованием методов распознавания изображений разработчики сталкиваются с рядом интуитивно воспринимаемых и неоднозначных понятий. При решении измерительных задач гистологической диагностики (ГД) онкологических заболеваний в число этих понятий входят: граница, длина, цвет, форма, структура изображений опухолей. Изображения гистологических макро- и микропрепаратов опухолей характеризуются стохастической пространственно-яркостной организацией элементов, размытостью границ, сложностью цветовой палитры (свыше 16 млн цветовых оттенков на пиксел), слабоформализуемым морфологическим разнообразием тканевых структур и клеточных форм. На результаты измерений значительно влияют субъективные факторы.

Гистологическая диагностика с помощью интеллектуальных информационно-измерительных систем (ИИС) на базе распознавания образов состоит из нескольких этапов: предобработка изображения объекта, измерение его информативных характеристик, интерпретация результатов (классификация). Предобработка — преобразование входных цифровых изображений, снижающее искажения (помехи,

размытые границы и др.). Объекты измерений в ГД — биопсийный, аутопсийный, операционный, экспериментальный материал и их изображения. В общем случае измеряемые характеристики — отличительные признаки формы, цвета, текстуры, контраста. Интерпретация результатов отражает процесс принятия решений о принадлежности исследуемого объекта к одному из классов заболеваний [1—4]. Результаты измерений интерпретирует врач-патологоанатом или они классифицируются программно с помощью методов сравнения с эталоном, дискриминантных методов, мер близости (сходства) и др. [1, 2, 4].

В ряде практических задач автоматизированной обработки изображений исследуемый объект (группу объектов) предварительно выделяют на фоне общей картины, разбивая изображение на отдельные области, т. е. сегментируя [5]. С методической точки зрения, сегментацию можно рассматривать как составную часть этапа предобработки изображения.

Цель настоящей работы — разработка принципов измерений информативных характеристик объектов и интерпретации результатов с помощью интеллектуальных ИИС ГД онкологических заболеваний.

Измерения в ИИС ГД проводят на этапах анализа макро- и микроизображений опухолей. На первом этапе измеряют морфологические параметры и цвет опухоли. В ходе анализа микроизображений методами шкал (при экспертных оценках) измеряют характеристики тканевого и клеточного строения опухоли. На основе интерпретации результатов измерений (классификации опухолей) врач-патологоанатом формирует диагностическое заключение о характере опухоли.

Структурная схема измерительных процедур в ИИС ГД приведена на рисунке.

Принципы проведения измерений. Совместный опыт научных коллективов Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и Российского онкологического научного центра им. Н. Н. Блохина по разработке и внедрению ИИС ГД онкологических заболеваний с применением морфологических методов исследования и световой микроскопии показал, что измерения и интерпретация результатов в данных системах должны базироваться на перечисленных ниже принципах.

1. *Измерения должны соответствовать схеме классической подготовки врача-патологоанатома и отвечать логике диагностического поиска врача на этапах анализа макро- и микроизображения опухоли.* Этот принцип относится, прежде всего, к фундаментальным для диагностики измерениям с последующей их интерпретацией на завершающем диагностическом этапе — анализе микроскопических изображений опухоли [4, 6, 7]. Как показала практика внедрения рассматриваемых систем диагностики на базе световой микроскопии, используемый подход к измерениям имеет важное психологическое значение, так как вызывает доверие пользователей к системе.

2. *Измерения на этапе анализа макроизображения опухоли проводят в автоматическом режиме.* При этом определяют морфологические характеристики опухоли (максимальный и минимальный линейные размеры по осям инерции, периметр, площадь и др.) и ее доминирующий цвет. Существует два основных метода измерений цвета опухоли — определение координат цвета в системе RGB и по значениям цветовой шкалы. Широко известная специалистам шкала Г. Г. Автандилова содержит 107 цветов в полном варианте и 47 в сокращенном [8].

Для обеспечения высокого качества съемок гистологического материала необходим фотобокс, предназначенный для решения таких задач, как видеосъемка (реализуется оснащением фотобокса видеокамерой, подключенной к ЭВМ [9]), освещение макропрепарата специальным осветителем и его защита от воздействия внешних световых источников — солнечного и электрического света (экранирование).

3. *На этапе анализа микроизображения опухоли используют интерактивный режим (автоматизированный с участием врача).* Данный режим измерений следует использовать в качестве рабочего варианта для клинического применения. До настоящего времени работы по созданию полностью автоматических ИИС ГД не дали положительных результатов в связи со сложностью и слабой формализуемостью объектов измерений (изображений микропрепаратов)



Структурная схема измерительных процедур в ИИС гистологической диагностики онкологических заболеваний

[4, 10, 11]. Организация интерактивного режима должна предусматривать проведение врачом-патологоанатомом качественных измерений характеристик микроизображений опухолей методом шкал.

4. *Комплекс измерений информативных характеристик микроизображений опухолей должен базироваться на классической (традиционной) для врача-патологоанатома системе шкал, отражающих качественные морфологические особенности структурного и клеточного строения опухолей.* На практике применяют шкалы номинального типа (шкалы наименований) и шкалы порядка (ранговые). При диагностике опухолей щитовидной железы такой комплекс учитывает 15 типов измеряемых характеристик с использованием значений шкалы по каждой из них. Например, характеристика «тип структуры» включает 12 значений шкалы наименований, «форма клеток» и «форма ядер» — по 9 значений ранговой (по сложности формы) шкалы каждая и т. д.

5. *Эталонная база микроскопических изображений опухолей для решения задач распознавания формируется на основе принятой гистологической классификации опухолей [3].* По такому принципу создана электронная база знаний по восьми органам (щитовидная железа, поджелудочная железа, почка, молочная железа, пищевод, желудок, толстая кишка, лимфатические узлы), которая содержит 7988 изображений (2615 случаев), из них, например, щитовидная железа включает 813 изображений (324 случая).

6. *При принятии диагностических решений на завершающем этапе распознавания необходимо учитывать многовариантность предварительного диагноза.* Результатом интерпретации измерений в указанных системах должен быть не единственный однозначный диагноз, а набор вариантов, наиболее соответствующих исследуемому случаю, причем с вероятностной оценкой в классификаторе по рейтинговой системе [4, 12]. Метод сравнения с эталоном соответствует, по мнению врачей-патологоанатомов, их диагностическому поиску. Аналогично мере близости распознаваемых и эталонных изображений целесообразно выбирать на основе такого параметра, как частота встречаемости сово-

купности (комбинаций) характеристик исследуемого объекта среди эталонных. Принадлежность распознаваемого гистологического изображения к тому или иному диагностическому варианту следует определять по максимальному значению этого параметра.

Рассматриваемое в данном пункте положение является общим и относится к роли интеллектуальных информационных систем распознавания образов и врача-патологоанатома при постановке диагноза. При формировании диагноза следует учитывать, что юридическую ответственность за его постановку несет врач-патологоанатом, поэтому результаты распознавания опухолей в клинических ИИС должны быть для врача рекомендательными. Оценивая результаты, патологоанатом может как принять их, так и при необходимости назначить дополнительные диагностические исследования, провести обсуждение с коллегами (консилиум) очно или дистанционно с применением сетевых технологий. Цель этих процедур — вынесение окончательного диагностического заключения врачом-патологоанатомом для проведения последующего лечения больного.

На основе изложенного выше ИИС ГД следует отнести к системам поддержки принятия решений, в данном случае врачебных [4]. Рассматривать эти системы нужно как вспомогательный инструмент врача-диагноста и учитывать их место в клинической практике. Применение предложенных систем и принципов измерений молодыми врачами-патологоанатомами позволило снизить число ошибочно диагностируемых случаев в 3,5 раза.

Заключение. На основе исследований по разработке и внедрению интеллектуальных (на базе распознавания образов) информационно-измерительных систем гистологической диагностики онкологических заболеваний предложены принципы проведения измерений в указанных системах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 14-15-01120).

Л и т е р а т у р а

1. **Фомин Я. А.** Распознавание образов: теория и применение. М.: Фазис, 2012.
2. **Гонсалес Р., Вудс Р.** Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2006.
3. **Онкология.** Национальное руководство / Под ред. В. И. Чисова, М. И. Давыдова. М.: ГЭОТАР-медика, 2008.

4. **Никитаев В. Г., Бердникович Е. Ю.** Системные принципы построения компьютерных комплексов гистологической диагностики // Инженерная физика. 2004. № 4. С. 58—68.

5. **Никитаев В. Г., Шаронов С. В.** Метод преобразования координат для адаптивной сегментации изображения // Измерительная техника. 1990. № 12. С. 9—10; **Nikitaev V. G., Sharonov S. V.** Method of coordinate transformation for adaptive image segmentation / Measurement Techniques. 1990. V. 33. N. 12. P. 1184—1187.

6. **Ротин Д. Л., Петровичев Н. Н., Павловская А. И., Никитаев В. Г. и др.** Экспертная система для гистологической диагностики опухолей щитовидной железы / Архив патологии. 2004. № 2. С. 47—51.

7. **Никитаев В. Г., Нагуманова Ю. Р., Проничев А. Н., Чистов К. С.** Особенности проектирования систем распознавания образов для диагностики острых лейкозов с применением методов компьютерной микроскопии // Измерительная техника. 2012. № 5. С. 65—68; **Nikitaev V. G., Nagumanova Yu. R., Pronichev A. N., Chistov K. S.** Characteristics of the design of systems for the recognition of shapes for the diagnostics of acute leukoses using methods of computer microscopy // Measurement Techniques. 2012. V. 55. N. 5. P. 583—588.

8. **Автандилов Г. Г.** Основы патологоанатомической практики. Руководство. М.: Изд-во Российской медицинской академии последипломного образования, 1998.

9. **Никитаев В. Г.** Высокотехнологичные информационно-измерительные комплексы онкологической диагностики: проблемы и ключевые положения методологии построения // Измерительная техника. 2015. № 2. С. 68—70.

10. **Shabalova I. P., Dolgov V. V., Nikitajev V. G., Berdnikovich E. J., Pronichev A. N., Dzangirova T. V., Kasoyan K. T.** Interactive computer-assisted programs for clinical cytology in postgraduate medical education and practice // Euromedicina Hannover: Abstr. 2013. P. 198—199.

11. **Михайлов В. Н., Автандилов Г. Г., Бердникович Е. Ю., Виноградов А. В., Воробьев И. А., Зайцев С. М., Корогодина А. В., Матвеев Г. Н., Никитаев В. Г., Николаев А. Ю., Павловская А. И., Петровичев Н. Н., Проничев А. Н., Ротин Д. Л., Степанов В. А.** Компьютерные системы гистологической диагностики: Учеб. пособие. М.: МИФИ, 2002.

12. **Никитаев В. Г., Рудаков П. И., Шаронов С. Н.** Использование линейного классификатора для распознавания металлографических изображений // Вопросы атомной науки и техники. Ядерное приборостроение. 1989. Вып. 4. С. 56—59.

Дата принятия 13.01.2015 г.