



# **ОСНОВЫ автоматизированной обработки и анализа изображений в медицине. 1. Введение**

# СТРУКТУРА УЧЕБНОГО СОДЕРЖАНИЯ

1. Оценка изображений в медицине: исторические аспекты
2. Применение обработки и анализа изображений в медицине:
  - 2.1. Рентгенография
  - 2.2. Компьютерная томография
  - 2.3. Магнито-резонансная томография
  - 2.4. Позитронно-эмиссионная томография
  - 2.5. УЗИ
  - 2.6. Изображения кожи
  - 2.7. Изображения слизистых
  - 2.8. Изображения глазного дна
  - 2.9. Изображения микроскопических препаратов



# СТРУКТУРА УЧЕБНОГО СОДЕРЖАНИЯ

3. Цифровые изображения и их основные характеристики
  - 3.1. Понятие о пикселе и вокселе.
  - 3.2. Форматы цифровых изображений.
  - 3.3. Разрешение.
  - 3.4. Представление цвета.
  - 3.5. Сжатие изображений
4. Основные технологии обработки изображений.
  - 4.1. Коррекция яркости и контраста.
  - 4.2. Коррекция цветопередачи.
  - 4.3. Увеличение/уменьшение изображения или его частей.
  - 4.4. Поворот изображения.
  - 4.5. Снижение уровня «шума»
  - 4.6. Использование «псевдоцветов».



# СТРУКТУРА УЧЕБНОГО СОДЕРЖАНИЯ

- . 5. Основные методы анализа изображений.
  - 5.1. Выделение границ на изображении.
  - 5.2. Оценка направления линий.
  - 5.3. Анализ текстуры изображения
  - 5.4. Определение формы и размеров распознаваемых объектов
  - 5.5. Анализ цвета объектов
  - 5.5. Распознавание образов



# 1. Оценка изображений в медицине: исторические аспекты



# Оценка изображений в деятельности врача

Практически не существует врачебных специальностей, для которых не была бы важна оценка тех или иных медицинских изображений (рентгенограммы, ЭКГ, визуальная оценка кожных покровов, и многое другое).

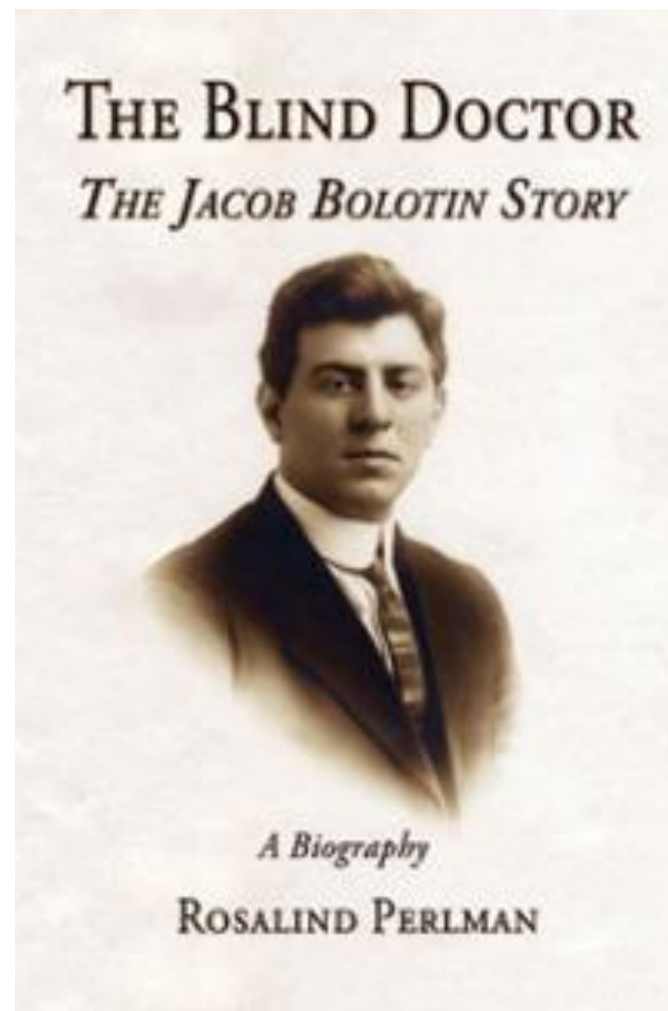


# Можно ли представить себе в настоящее время слепого врача?

Казалось бы, нет, но еще 100 лет назад такое было возможно. Яков (Джекоб) Болотин родился в 1888 г. В США в семье эмигрантов из России. В раннем детстве он потерял зрение, но смог окончить школу и поступить в (Университет Чикаго, где получил диплом врача. Он успешно работал врачом около 15 лет умер в возрасте 36 лет), при этом был очень любим своими пациентами.

Ему посвящена изображенная здесь книга.

НО! Это было самое начало XX века – даже рентгенография и ЭКГ лишь только появились...



# Медицинские изображения в XX веке

1. Микроскопические изображения (мазки крови, гистологические культуры микроорганизмов, и т.п.) – с конца XIX века
2. Широкое использование рентгеновских аппаратов – период Первой мировой войны 1914-1918 гг. (определение положения пуль, осколков снарядов в человеческом теле, затем – использование для диагностики огромного числа различных заболеваний внутренних органов)
3. ЭКГ – начиная с 1912 г. (Эйнтховен)
4. Цветная фотография (начиная с 1930-х гг.) – применение для регистрации различной патологии кожи и слизистых
5. Конец XX века – УЗИ, КТ, МРТ, ПЭТ – большая часть всех этих технологий была бы невозможна без компьютерной обработки изображений.
6. Телемедицина – оценка изображений консультантами на расстоянии.





# Возникновение и развитие систем обработки и анализа изображений для немедицинских целей



# Предпосылки для развития систем компьютерного анализа изображений

1. Появление первых компьютеров в 1940-е годы. Сначала это были единичные громоздкие компьютеры, очень дорогие, но маломощные. Они использовались почти исключительно для математических расчетов в военной области. Потом постепенно они стали более приспособленными для работы в гражданской сфере, в т.ч. и медицине (в 1960-е годы), а появившиеся в 1980-е годы так называемые персональные компьютеры стали общедоступными.
2. Анализ изображения с помощью компьютеров впервые стали производить тоже в военной области (анализ спутниковых снимков территории противника). Разработанные для этих целей алгоритмы с успехом используются до сих пор, в том числе и в медицине.
3. Возникновение систем УЗИ, КТ, МРТ, ПЭТ и др. – не было бы возможно без применения уже имевшихся компьютерных систем обработки изображений



## 2. Применение обработки и анализа изображений в медицине:



## 2.1. Рентгенография

1. На первом этапе использовались специальные сканеры, чтобы преобразовывать изображения на рентгеновской пленке в цифровую форму. При этом яркость и контраст изображений могли корректироваться для лучшего восприятия изображений врачом-рентгенологом.
2. В дальнейшем появились цифровые системы рентгенографии, которые позволили, в частности, добиться значительного снижения лучевой нагрузки на больного, обеспечивали удобное хранение рентгеновских изображений в единой базе данных, удобную передачу изображений на расстояние с помощью компьютерных сетей.



# Рентгенография

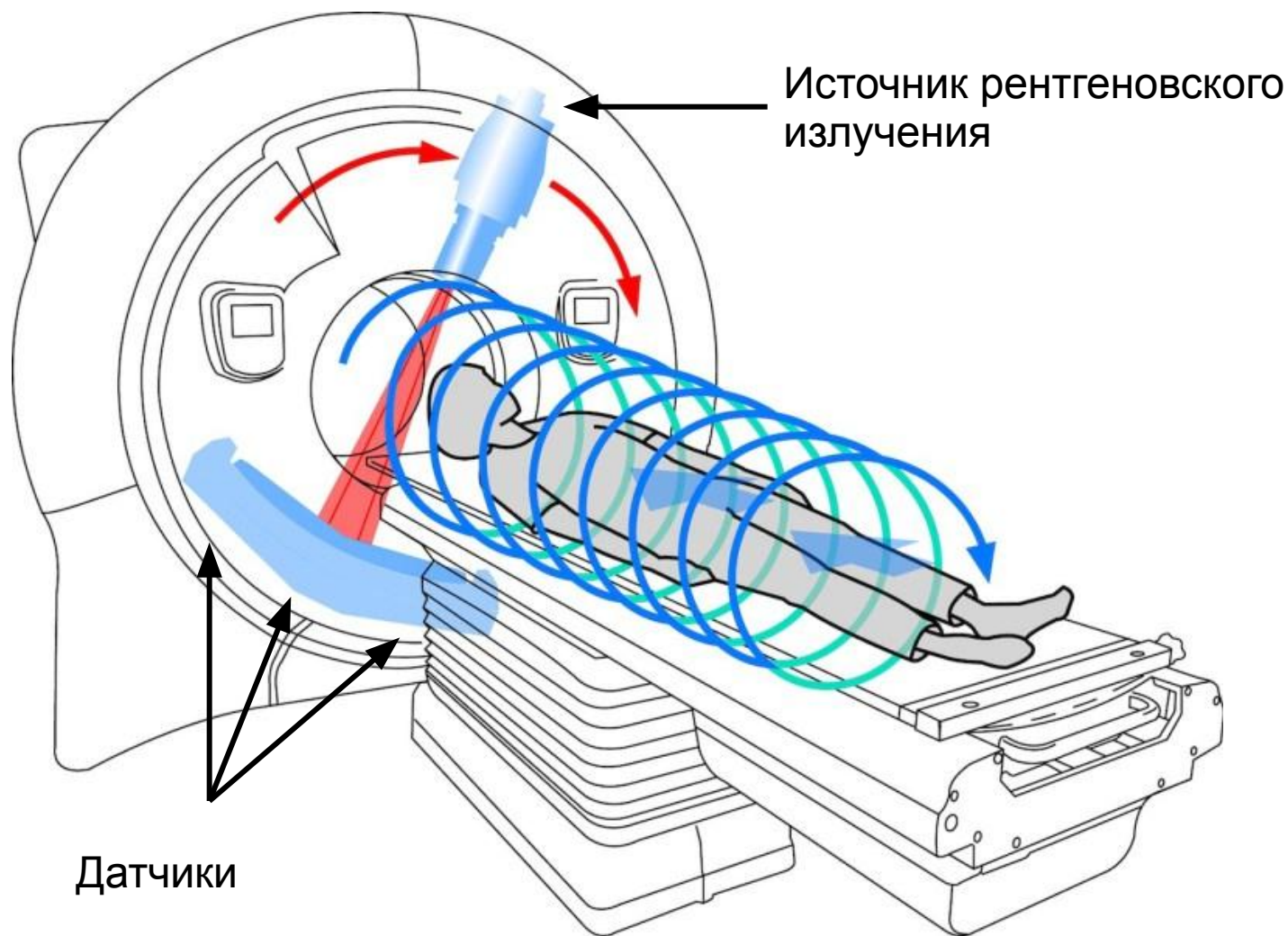


## 2.2. Компьютерная томография (КТ)

Используется для получения трехмерного представления о состоянии внутренних органов. Источники рентгеновского излучения и его детекторы вращаются вокруг неподвижного тела человека, различия в поглощении рентгеновских лучей в разных точках человеческого тела фиксируются и на основе этих данных компьютером создается трехмерное изображение (или его срезы на желаемых уровнях), которые оцениваются врачом. Без компьютерного анализа данных КТ невозможна.



# Компьютерная томография





## 2.3. Магнито-резонансная томография (МРТ)

Способ получения томографических медицинских изображений для исследования внутренних органов и тканей с использованием явления ядерного магнитного резонанса (ЯМР).

Способ основан на измерении электромагнитного отклика атомных ядер, чаще всего ядер атомов водорода, при возбуждении их определённым сочетанием электромагнитных волн в постоянном магнитном поле высокой напряжённости.

Данный метод не использует облучение тела человека рентгеновским или ионизирующим излучением.

МРТ позволяет изучать не только структуру различных органов и тканей, но и (в ряде случаев) их функциональную активность.





# Магнито-резонансная томография

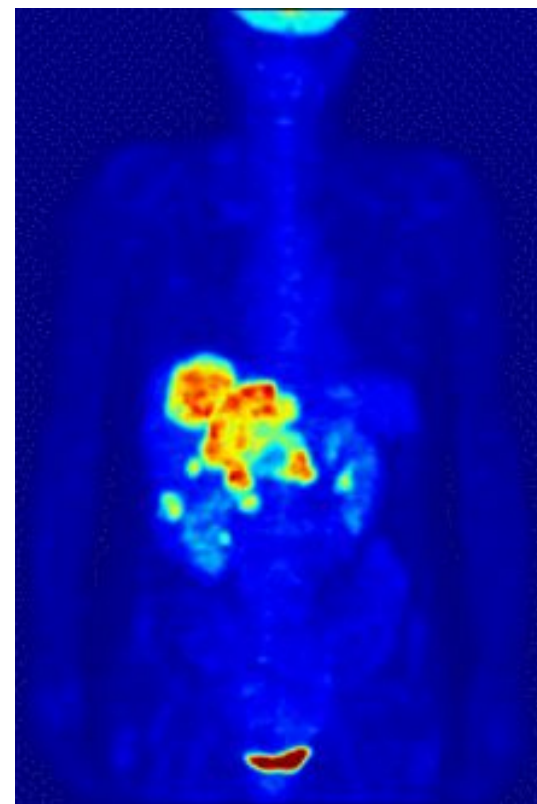


## 2.4. Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ)

Позитронно-эмиссионная томография – метод исследования внутренних органов и тканей тела, позволяющий оценить интенсивность обмена веществ в различных областях организма.

Для проведения ПЭТ больному внутривенно вводят биологически активное соединение, меченное испускающим позитроны (особый тип частиц) радиоактивным изотопом. Чаще всего используется фтордезоксиглюкоза, меченная радиоактивным изотопом  $^{18}\text{F}$  (F-ФДГ), но возможны и другие вещества.

Аннигиляция позитрона, остановившегося в веществе (в частности, в ткани организма), с одним из электронов среды порождает два гамма-кванта с одинаковой энергией, разлетающихся в противоположные стороны по одной прямой. Большой набор детекторов, расположенных вокруг исследуемого объекта, и компьютерная обработка сигналов с них позволяет выполнить трёхмерную реконструкцию распределения радионуклида в сканируемом объекте.

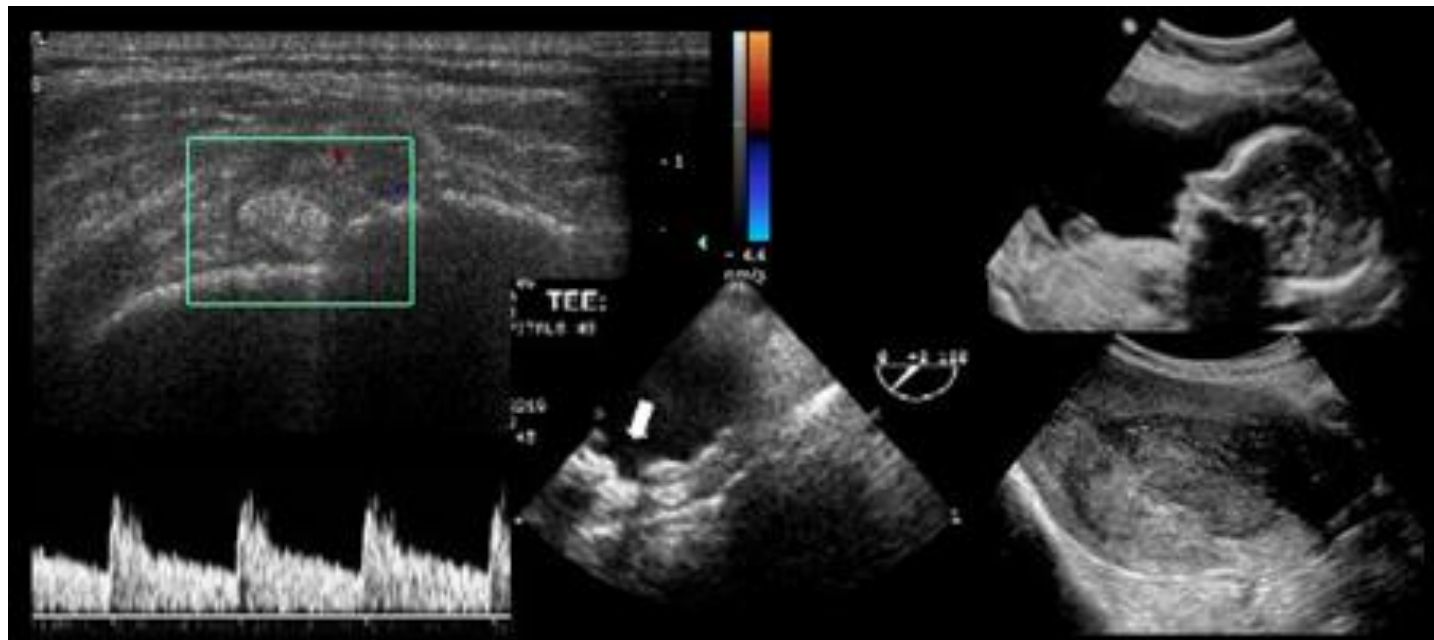


# Позитронно-эмиссионная томография



## 2.5. Ультразвуковое исследование (УЗИ)

Получение информации о структуре тела человека в зависимости от способности различных внутренних органов отражать или поглощать ультразвуковые волны.



# Ультразвуковое исследование





## 2.6. Изображения кожи

Изображения в видимом спектре (фотографии, или, при необходимости видеоизображения)

Как правило, изображения оцениваются врачом, но разработаны и системы автоматического анализа, в частности, изображений пигментных пятен для раннего выявления рака кожи и/или меланомы.

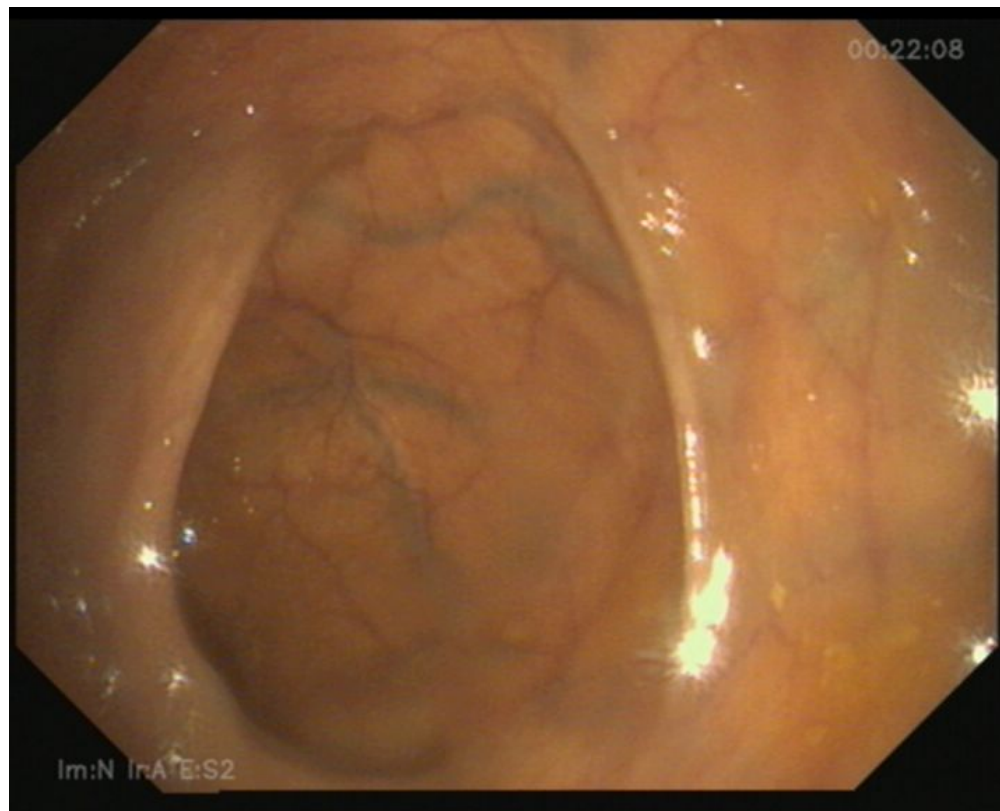


# Изображения кожи



## 2.7. Изображения слизистых

Оцениваются изображения полости рта, гортани, полости носа, пищевода, желудка, различных отделов кишечника, и т.д.





# Видеогастроскопия

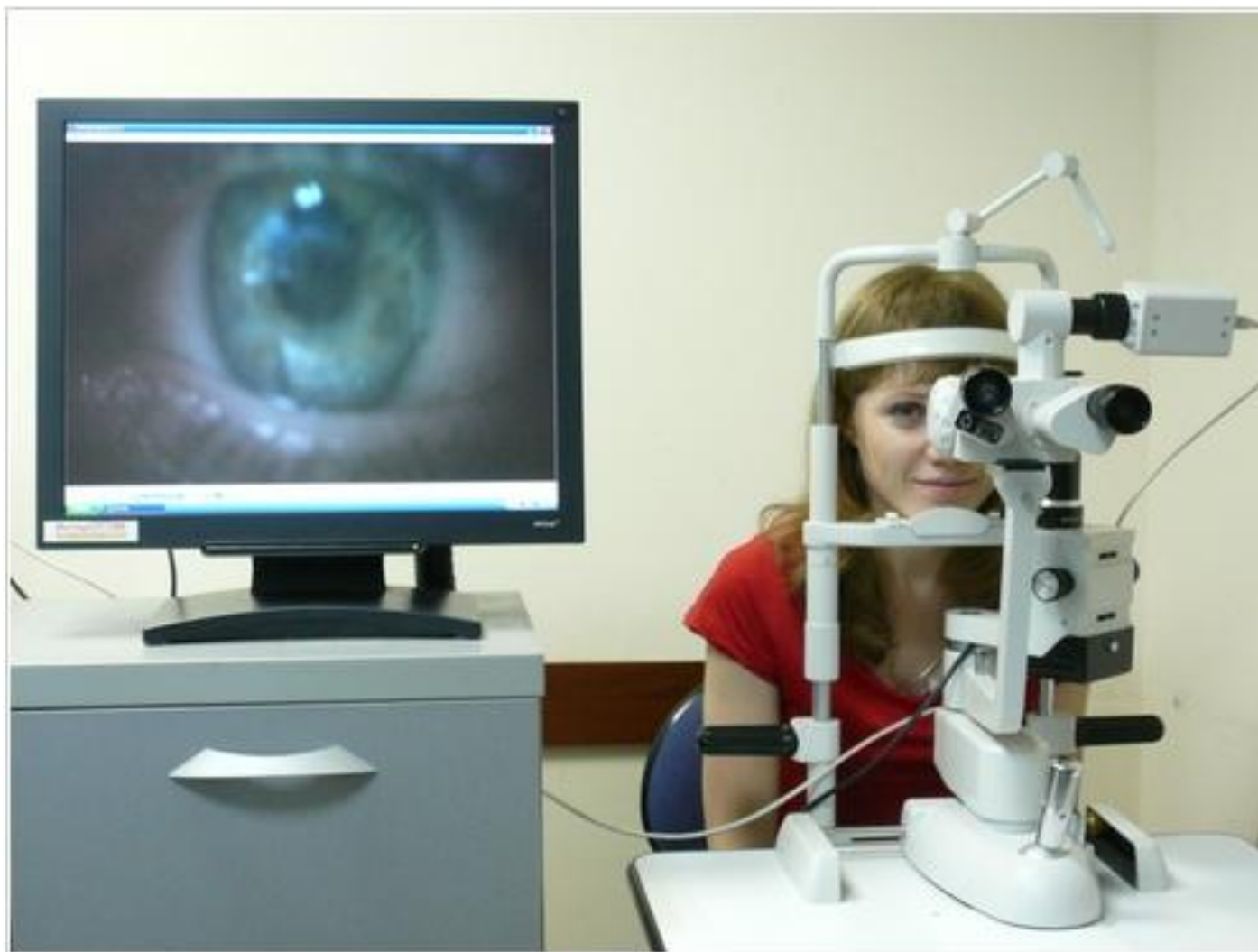


## 2.8. Изображения глазного дна

Изображения глазного дна могут быть получены с помощью фото- или видеокамеры, присоединенной к щелевой лампе. Компьютерный анализ изображений позволяет выявлять патологию сетчатки на ранних стадиях.

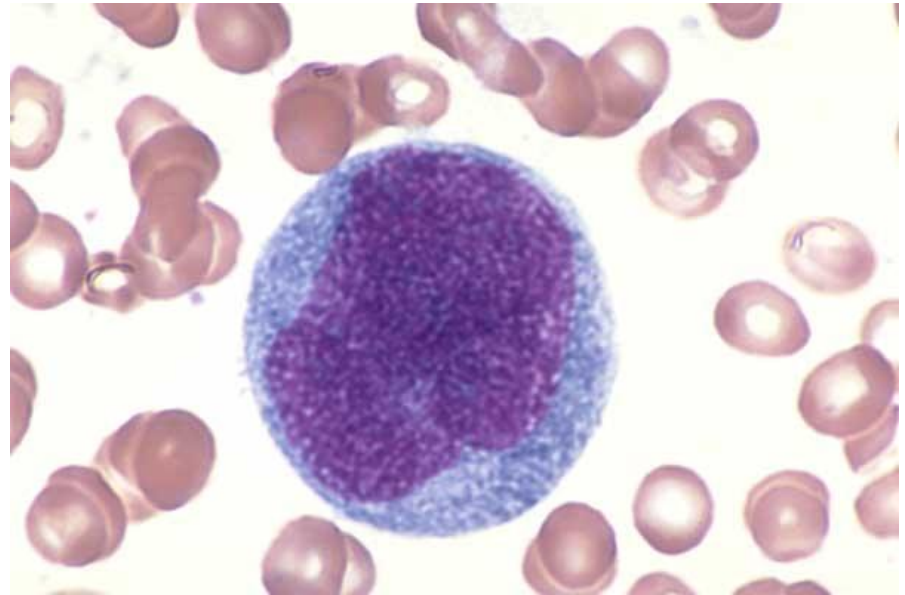


# Изображения глазного дна



## 2.9 Изображения микроскопических препаратов

Возможно изучение клеток крови (представляет интерес выявление атипичных клеток, например, при лейкозе), анализ гистологических препаратов, мазков по Папаниколау, и т.п.



# Изображения микроскопических препаратов



### 3. Цифровые изображения и их основные характеристики





# Цифровые изображения

Для того, чтобы компьютерные системы могли обрабатывать изображения, они должны быть представлены в цифровом формате, т.е. каждому элементу изображения должно быть присвоено некое числовое значение.

В самом простом варианте каждому элементу изображения (так называемому ПИКСЕЛУ, англ. pixel, P*IC*t*ure* E*l*ement) присваивается значение либо 0 (черное), либо 1 (белое). Так можно закодировать штриховое изображение, без полутонов.

Для получения черно-белого изображения с полутонами чаще всего используются 256 значений для каждого пиксела (2<sup>8</sup>), еще большее число возможных значений (более 16 миллионов оттенков) используется для реалистичной передачи полноцветного изображения.

При использовании изображений, полученных уже с применением цифровой техники (цифровой фотоаппарат, цифровой рентгеновский аппарат, КТ) изображение сразу получается в цифровом формате, требуется лишь позаботиться, чтобы программное средство, производящее обработку и/или анализ изображений, данный формат поддерживало. Если нет – требуется конвертация из одного цифрового



# Пиксел и воксел

Наряду с уже упомянутым пикселом (минимальном элементе двухмерного изображения) существует еще понятие «воксел», которым описывается минимальный элемент трехмерного изображения (например, КТ).

В нашем курсе мы будем рассматривать только двухмерные изображения.



# Реалистичное фотоизображение (пикселы сливаются)



Изображение увеличено (видны отдельные пикселы)



# Форматы цифровых изображений

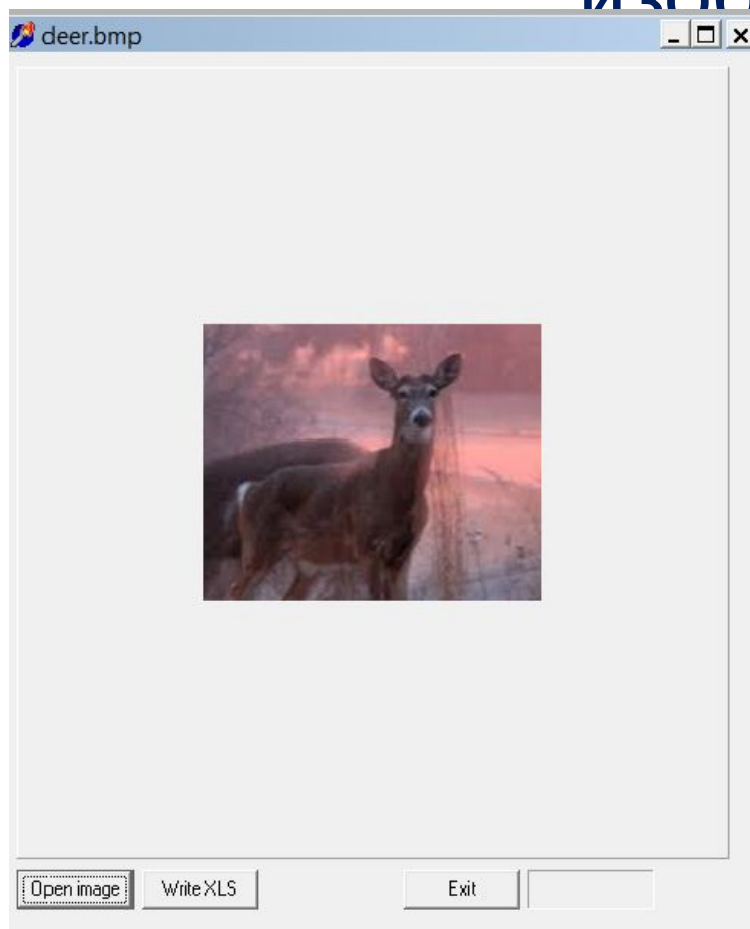
Самый простой формат – так называемый bitmap (BMP), т.е. «карта битов»

В начальной части файла, так называемом «заголовке», описывается, из какого числа строк (горизонтальных линий толщиной в 1 пиксел) состоит изображение, и сколько в одной линии пикселов. Например, 10 строк по 20 пикселов в каждой, всего 200 пикселов, каждому пикселу присваивается какое-то значение (например, для изображения в серых тонах – 256 различных значений, от 0 до 255)

Нами создана простая компьютерная программа ImProc, которая позволяет преобразовывать файлы BMP в файлы Excel, для последующей обработки и анализа с помощью этой простой широкоупотребительной программы в учебных и научных целях (см. результаты ее работы на следующем слайде)



# Изображение в формате BMP и значения части пикселов этого изображения



Book1 - Excel

FILE HOME INSERT PAGE LAYOUT FORMULAS DATA REVIEW VIEW

A1 : X ✓ fx 140

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	140	142	143	142	138	133	132	131	116	118	120	12
2	137	137	137	139	139	137	133	127	118	120	122	12
3	133	131	131	135	140	138	131	123	115	116	119	12
4	129	129	130	134	139	136	127	118	111	112	115	12
5	126	128	133	135	135	130	121	114	109	110	113	11
6	124	129	137	138	132	123	115	109	110	113	116	12
7	121	129	138	137	129	118	109	107	114	117	120	12
8	117	114	114	116	117	118	116	115	114	118	120	12
9	112	111	113	113	114	115	113	112	113	117	125	13
10	108	109	113	113	112	110	110	108	109	115	126	13
11	103	109	112	114	110	106	105	105	109	113	120	12
12	102	108	116	117	111	105	105	105	112	112	113	11
13	100	111	121	122	113	105	104	107	114	113	113	11
14	101	113	127	127	116	105	105	108	117	118	118	12
15	101	115	130	130	118	108	107	110	120	122	127	13
16	109	112	119	120	115	111	111	113	125	127	131	13
17	111	113	115	112	111	112	118	125	128	129	132	13
18	107	108	106	101	102	108	121	132	132	134	135	13
19	99	99	99	98	100	108	122	133	136	136	136	13
20	95	100	107	110	114	117	127	133	136	137	135	13
21	100	108	114	127	130	131	134	136	135	134	133	13



# Разрешение изображения

Разрешение определяется числом пикселей в одном изображении.

Скажем, экран подавляющего числа современных ноутбуков позволяет одновременно воспроизвести не более 2 млн пикселей (т. е. не более 2 мегапикселей), тогда как лучшие цифровые фотокамеры позволяют в настоящее время получать изображения разрешением до 20 мегапикселей и более.

При этом часто требуется знать, какому расстоянию на реальном объекте (части человеческого тела) соответствует один пиксел или воксел (масштаб изображения). В случае микроскопического объекта одному пикселу могут соответствовать доли микрона, а в случае фотографии кожи или рентгенограммы скелета – миллиметры или доли миллиметра.

# Цветопередача

Для реалистичных цветных изображений цвет одного пиксела кодируется тремя значениями: значение красного (R- red), зеленого (G – green), и синего (B – blue).

Значения серого кодируются 256 значениями (от 0 – черное, до 255 – белое), а для кодирования цвета используются 256 значений для каждого из трех цветов, т.е. Общее число возможных оттенков =  $256*256*256=16\ 777\ 216$



# Система представления цвета RGB

На предыдущем слайде описана наиболее простая с точки зрения компьютера система представления цвета RGB. Каждому оттенку в ней соответствует точка в 3-мерной системе координат, так называемом «цветовом кубе»

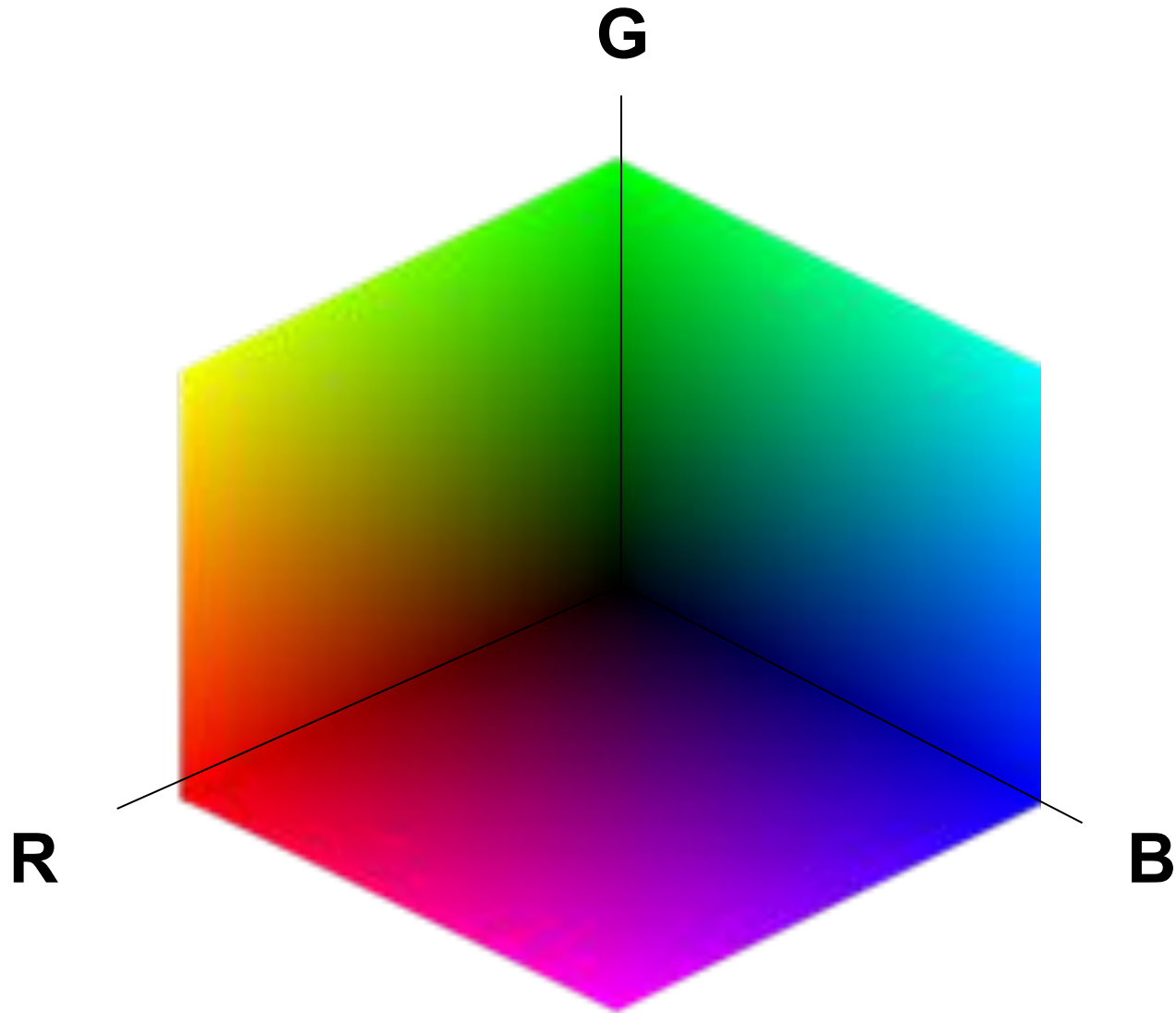
Данная система является наиболее сложной для восприятия человеком, т.к. практически невозможно представить себе, чем отличается оттенок, например, (R=120, G=25, B=48) от оттенка (R=90, G=60, B=46)

Поэтому были разработаны другие системы представления цвета, более интуитивно понятные, которые будут описаны в последующих лекциях.





# Цветовой куб (RGB)





# В ряде случаев цветопередача бывает искажена



Пример: освещение объекта лампами накаливания

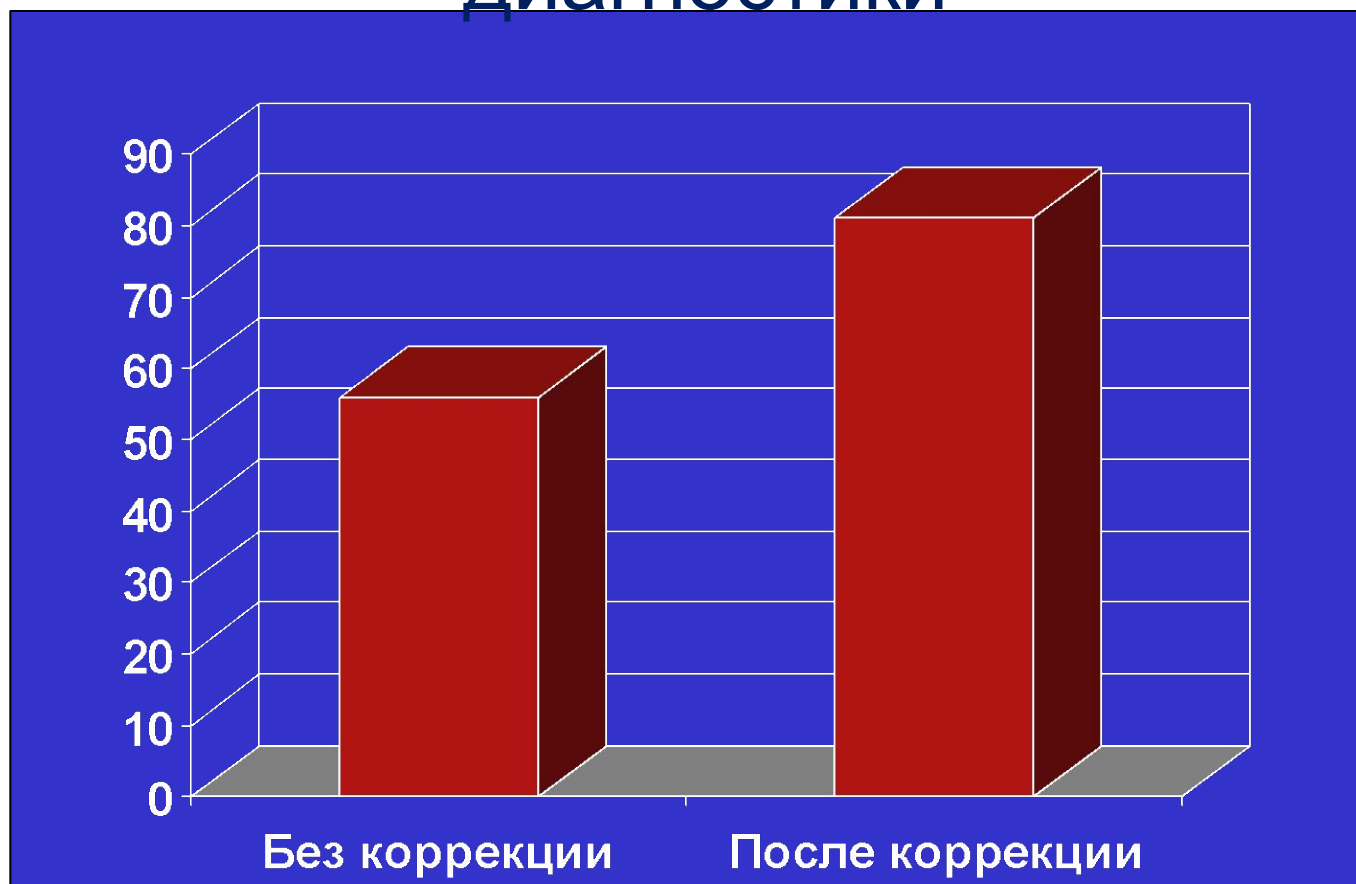
# Но есть возможности автоматизированной цветокоррекции



# Пример автоматической цветокоррекции



# Цветокоррекция изображений в теледерматологии повышает точность диагностики



Различия достоверны,  $p < 0.05$

# Сжатие цифровых изображений

Высококачественные изображения, как правило, имеют значительный объем. Для того, чтобы уменьшить его и при этом либо не ухудшить качество изображения (или ухудшить, но незначительно) используются специальные приемы.

Простейшим способом сжатия является метод RLE (run-length encoding, англ. кодирование длин серий), который может быть применен в формате изображения BMP (bitmap).

Представим себе, что у нас последовательно друг за другом находятся несколько пикселей с одним и тем же значением яркости или цвета.

Например: 128, 128, 128, 128, 128.

Возможна запись той же информации, с указанием, что последовательно находятся несколько одинаковых пикселей:  $5 \cdot 128$ , что занимает значительно меньший объем памяти, но никак не влияет на качество изображения.

Существуют и более сложные методы, в том числе и с частичной потерей информации, но с более высоким коэффициентом сжатия.

# 4. Основные технологии обработки изображений





# Обработка изображений

## 1. Коррекция яркости и контраста.

Для увеличения (уменьшения) яркости изображения значение яркости каждого пиксела увеличивается (уменьшается) на одну и ту же величину. Для увеличения (уменьшения) контраста изображения значение яркости каждого пиксела умножается (делится) на одну и ту же величину.

## 2. Коррекция цветопередачи.

Для изменения цветопередачи значения компонентов красного, зеленого и синего (RGB) для каждого пиксела изменяются отдельно (путем сложения, вычитания определенной величины или умножения, деления на какой-то коэффициент).

## 3. Увеличение/уменьшение изображения или его частей.

При уменьшении изображения (например, в два раза) удаляется каждый второй пиксел, при увеличении изображения к каждому имеющемуся пикселу добавляется определенное число таких же пикселов.

## 4. Поворот изображения на определенный угол

Требует тригонометрических расчетов, в какой точке окажется конкретный пиксел при повороте изображения на конкретный угол



# Псевдоцвета

Использование компьютерной обработки изображения позволяет преобразовать монохромные изображения в «цветные», где изменения оттенка будут соответствовать изменениям яркости монохромного изображения.

Поскольку человеческий глаз легче различает оттенки цветов, чем различные уровни серого, это улучшает восприятия изображений, хотя не приносит никакой новой информации (слева – исходное изображение, справа – участки ЗДОРОВОЙ кожи закрашены черным, выделяется фон и п



# Удаление «шума»

Практически любой способ ввода графической информации в компьютер приводит к тому, что появляется «шум» – незначительная флуктуация значений яркости соседних пикселей, которые отображают участки изображения с одинаковыми характеристиками.

Пример: участок ночного неба с серпом Луны

Значения соседних пикселей на участке неба, где нет никаких объектов:

88	92	89	87	85
87	88	89	92	89
86	86	87	90	89
89	86	88	85	89
90	88	90	87	91
89	86	87	89	92

Значения близки, но все же чуть-чуть отличаются



# Один из способов уменьшения «шума»

Усреднение значения нескольких соседних пикселей по вертикали и по горизонтали

88	92	89	87	85
87	88	89	92	89
86	86	87	90	89
89	86	88	85	89
90	88	90	87	91
89	86	87	89	92

Например, для верхней строки пикселей (в данном примере - только по горизонтали, для упрощения):

**88, 92, 89, 87, 85**

Среднее значение 88 (округленно)

Для всех 5 соседних пикселей значение принимаем равное 88:

**88, 88, 88, 88, 88**

# 5. Методы автоматического анализа изображений



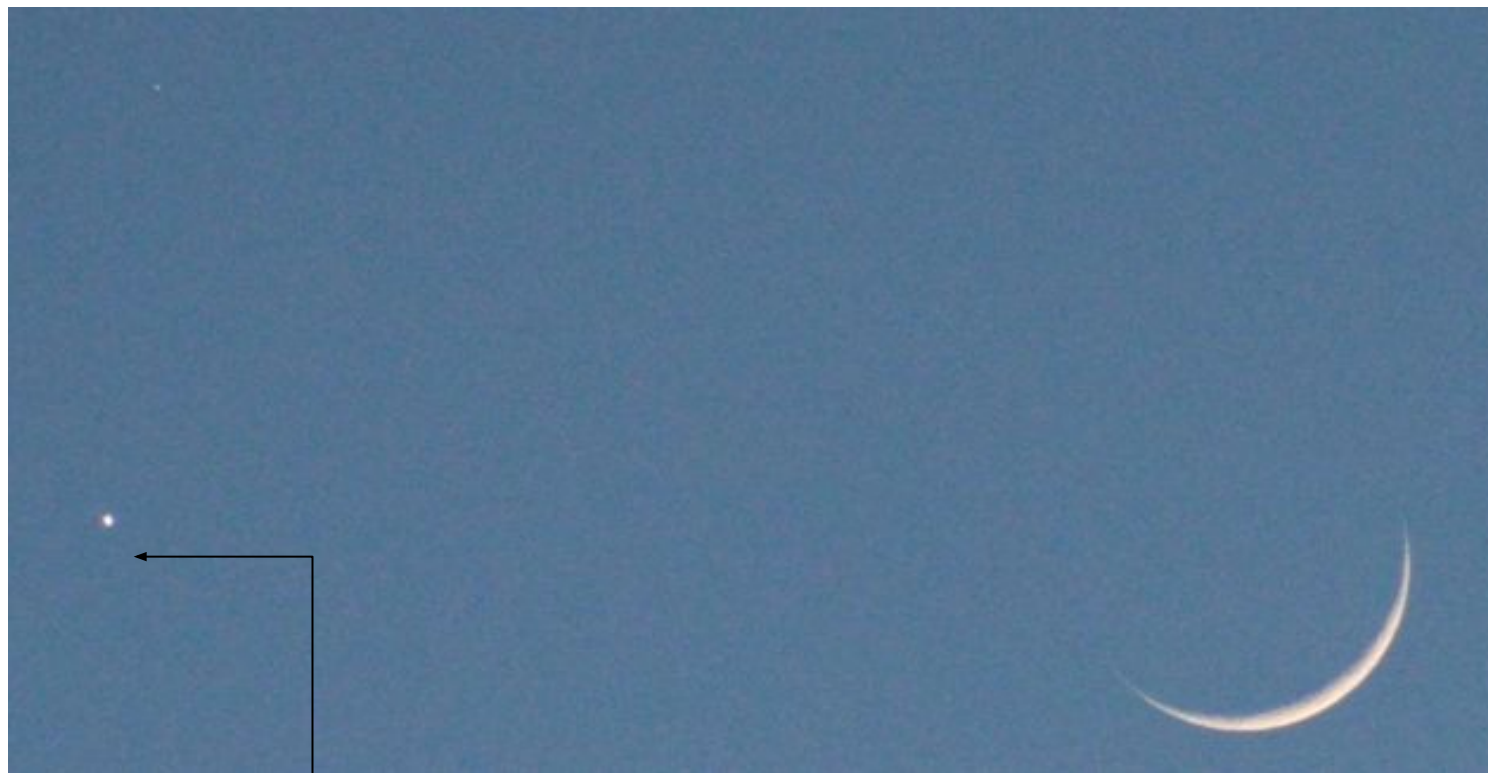
# Выделение границ объектов

Выделение границ объектов – один из фундаментальных методов, используемых в обработке и анализе изображений.

Предложено значительное число алгоритмов для реализации данного метода, мы рассмотрим один из самых простых.

Имеется изображение ночного неба, на котором виден серп Луны (яркость Луны значительно выше, чем неба – фона).

# Представим себе, что мы - астрономы



**(точка слева – Венера)**

# Часть изображения, где имеется Луна

Луна представлена пикселями со значением яркости больше 100

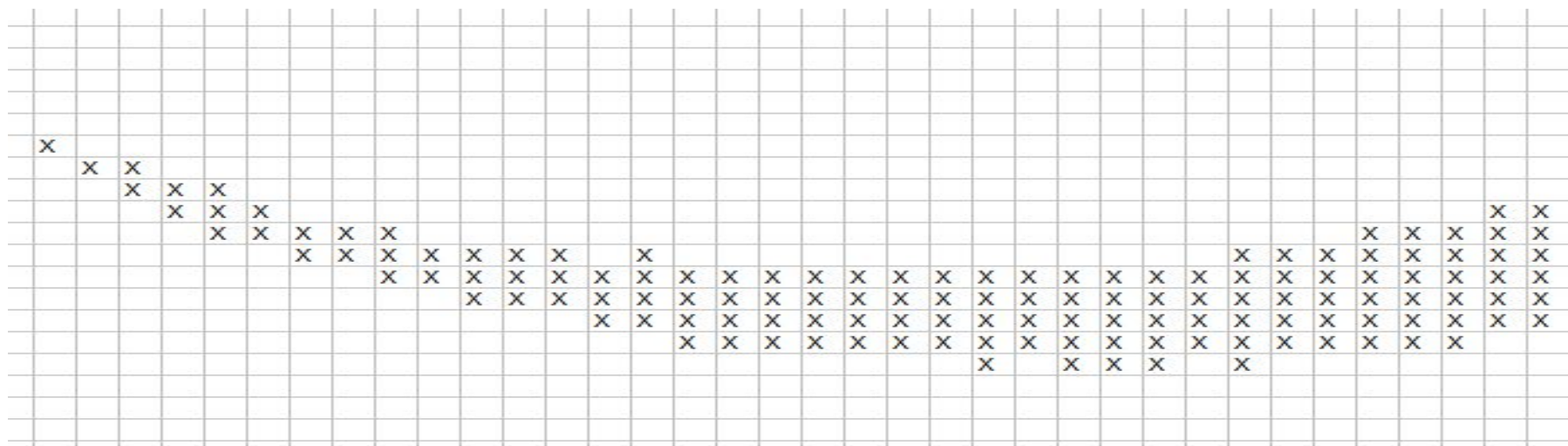
88	92	89	87	85	88	87	88	90	87	87	89	86	91
87	88	89	92	89	85	87	91	85	90	92	88	91	88
86	86	87	90	89	87	85	88	84	85	89	93	91	92
89	86	88	85	89	92	89	87	86	88	83	87	89	94
90	88	90	87	91	95	90	89	88	86	84	88	91	94
89	86	87	89	92	87	94	93	87	89	88	92	90	91
90	89	90	89	87	90	90	84	85	94	90	94	95	95
89	93	92	93	90	85	90	84	88	88	93	92	95	90
89	95	97	93	87	87	90	84	82	88	92	95	99	97
92	92	95	89	91	86	84	83	82	88	89	94	98	92
89	88	89	89	88	87	89	90	83	82	93	91	88	89
93	93	88	90	90	89	92	86	91	91	90	90	90	93
88	88	90	83	87	89	94	89	93	90	90	91	91	94
94	92	88	92	86	85	86	89	86	90	88	85	91	95
91	90	88	82	86	80	89	90	96	91	87	87	92	98
95	92	91	86	81	79	83	92	88	88	89	88	93	91
91	97	87	83	84	85	92	80	87	85	93	93	111	126
86	94	93	97	93	87	89	97	91	112	129	154	167	186
120	111	116	118	120	124	133	146	171	183	193	204	216	227
185	175	163	188	169	197	209	216	220	228	235	244	246	255
235	233	237	229	242	249	246	254	255	255	255	249	240	209
160	183	184	191	201	199	199	193	181	160	139	122	118	111
97	98	96	102	100	108	104	101	94	102	91	87	89	93
97	93	95	94	95	95	97	98	95	88	82	86	87	87
90	88	89	89	90	96	92	93	91	87	89	89	91	87
84	88	87	85	92	94	91	92	91	88	88	90	95	98





# То же изображение после очень простой обработки в Excel

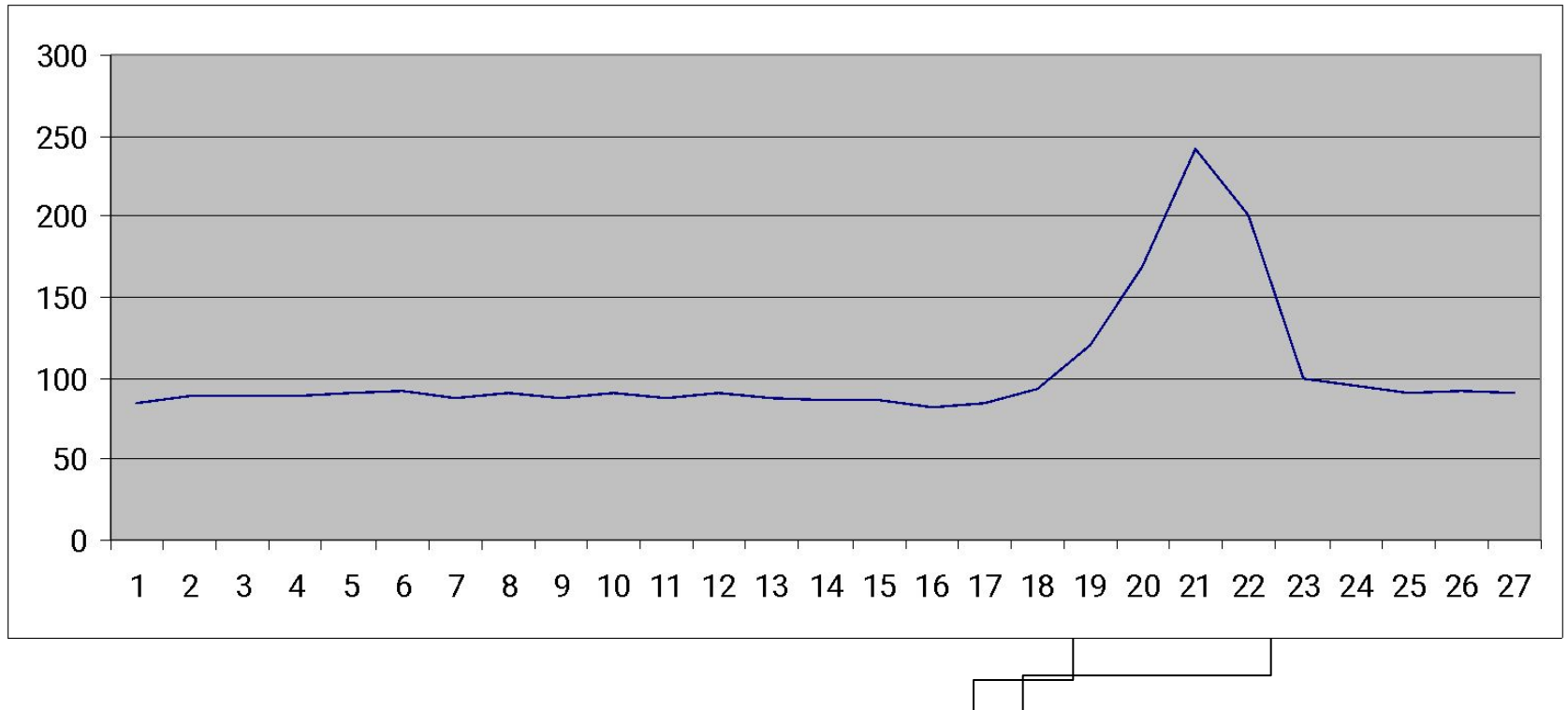
=IF(A1>100, "X", "")



Если значение более 100, рисуем «X», если менее – оставляем пустую ячейку. Значение «100» мы подобрали опытным путем.

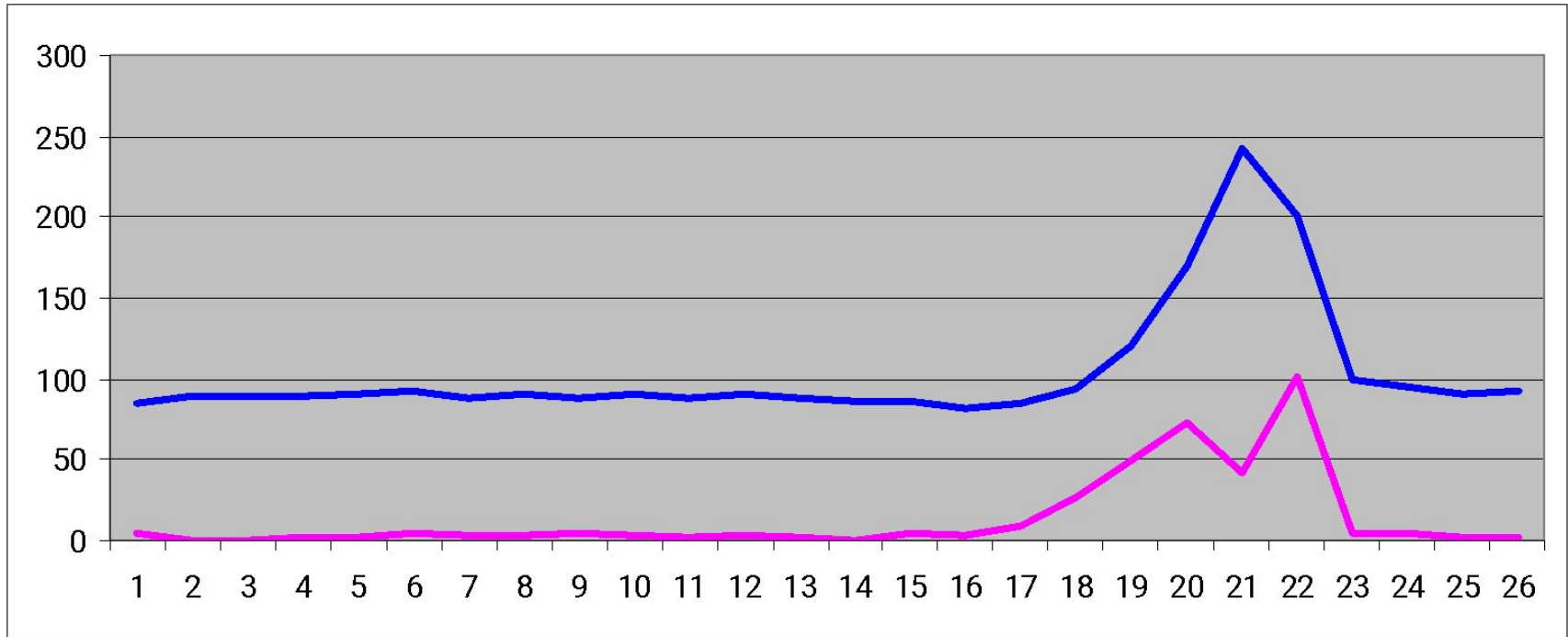


# Изменение яркости пикселей по вертикали



Мы можем только предполагать, что в данном месте находится какой-то яркий объект на темном фоне.

# Мы вычисляем значения разности яркости соседних пикселей



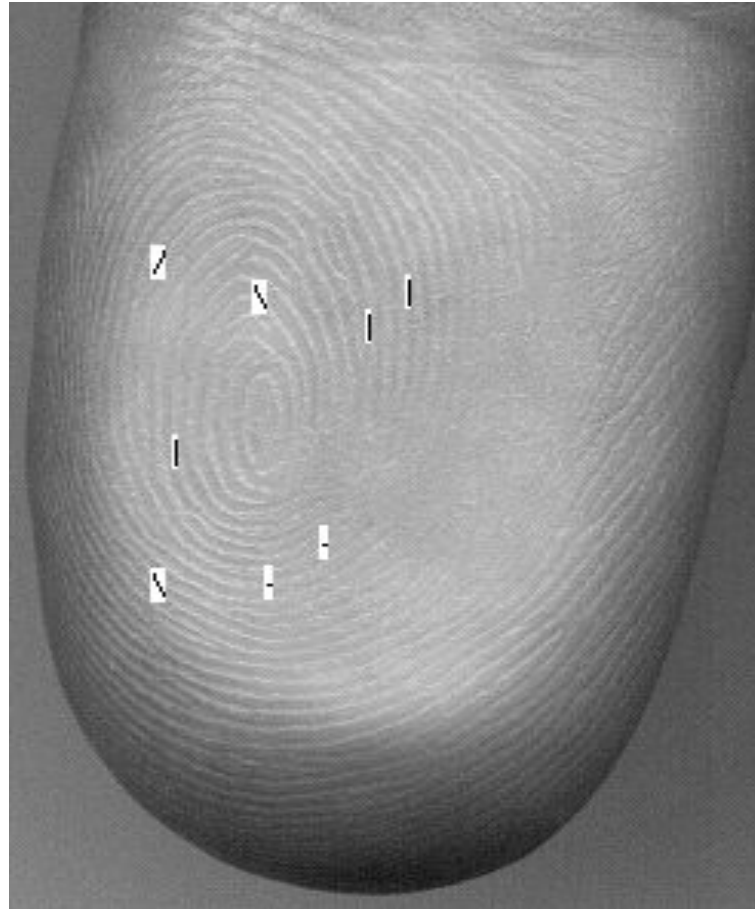
Разность между двумя соседними пикселями наиболее высока в точках 20 и 22. Показатель разности превышает некоторое минимальное значение начиная с точки 17 по точку 23. Фактически, мы вычисляем производную от функции яркости, заданной синим графиком. Это один из наиболее простых (но достаточно эффективных) способов определения границ.





# Определение направления линий

После того, как мы определили границы объектов (линии), мы можем определять направления этих линий (вертикальные, горизонтальные, под углом)



# Определение направления линий





# Определение формы и размеров объектов

Определение границ объекта на изображении позволяет определить его форму (округлая, неправильная, и т.п.), и реальные размеры, что может быть важно (например, размеры обнаруженной опухоли, размеры надпочечников, и т.п.)

# Определение текстуры объектов

Характеристика изображения того или иного объекта может быть разной, в частности, кость может быть пористой, со множественными «просветлениями» вследствие остеопороза.

В таком случае мы можем говорить о текстуре объектов, т.е. изображение состоит из десятков (сотен, тысяч) повторяющихся структур.

Пример: изображение ладонных линий руки (множество повторяющихся линий)



# Определение оптических характеристик выявленных объектов

Для каждого объекта можно определить ряд показателей, в частности, яркость или цвет. В частности, в мазке крови эритроцит от лейкоцита можно определить по красному цвету эритроцита.

# Распознавание образов

Понятие «распознавание образов» не относится исключительно к сфере анализа изображений. В общем смысле мы можем говорить, например, о «распознавании образа той или иной патологии у больного», т.е. в процессе диагностики мы проверяем, соответствует ли набор характеристик конкретного больного образу (набору характеристик, или симптомов) конкретного заболевания, при том, что проявления патологии у каждого больного индивидуальны.

В следующих лекциях мы подробнее остановимся на методах распознавания образов.

# Пример распознавания образов

Самые разные варианты написания буквы «А». Человек с легкостью определяет, что перед ним одна и та же буква «А», для компьютера это может представлять сложность



The ABCDE rule, first introduced in 1985 as the ABCD rule<sup>3</sup> and then expanded in 2004 to the ABCDE rule,<sup>4</sup> encompasses several clinical features of melanoma, including Asymmetry, Border irregularity, Color variation (both intralesional color variation as well as a color that is different from the patient's other nevi), Diameter greater than 6mm, and Evolving (a new or changing lesion).







# Ограниченные возможности автоматизированного распознавания изображений

Так называемая «капча» (captcha), которая часто применяется на веб-сайтах для подтверждения, что их посетил именно человек, а не «бот». Для компьютерного «бота» достаточно сложно определить, что в этом изображении имеются цифры «1», «8», «9», «7».



# Каковы возможности компьютера в оценке медицинских изображений?

1. Имитация деятельности врача, который оценивает изображения по известным признакам (например, оценка характеристик родимого пятна – скорость роста, характеристика границы пятна, симметрия/асимметрия, изменения цвета пятна, и т.п.)
2. Выполнение анализа изображений на таком уровне, который недоступен человеку (например, создание 3D-изображений на основе 2D-проекций – КТ, МРТ)
3. Поиск таких характеристик изображений, оценка которых в настоящее время человеком для постановки диагноза не используется (возможный вариант – поиск на рентгенограмме грудной клетки мельчайших изменений структуры легких, характерных для ранних стадий онкопатологии)



В следующих лекциях мы более подробно рассмотрим эти и другие возможности автоматизированной обработки и анализа изображений в медицине

**Спасибо за внимание!**