

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 02.10.2023 22:07:08  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabb074e943cf4a4651fca16a039

## МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра биомедицинской инженерии

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 25 » 09 2023 г.



## ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ

Методические указания по выполнению практических работ  
для студентов специальности 30.05.03 «Медицинская кибернетика»

Курск 2023

УДК 616.07

Составитель Серегин С.П.

Рецензент

к.б.н., доцент О. И. Басарева

**Лучевая диагностика и терапия:** методические указания по выполнению практических работ для студентов специальности 30.05.03 «Медицинская кибернетика» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: С.П. Серегин, Курск, 2023. 150 с.

Методические указания содержат рекомендации по выполнению практических работ по дисциплине «Лучевая диагностика и терапия».

Методические указания по структуре, содержанию и стилю изложения материала соответствуют методическим и научным требованиям, предъявляемым к учебным и методическим пособиям.

Предназначены для студентов направления специальности 30.05.03 – Медицинская кибернетика.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ. л. \_\_. Уч.-изд. л. \_\_. Тираж 30 экз. Заказ/102. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РАДОНА

*Цель работы:* изучить методы формирования файлов данных с радоновскими образами двумерных изображений.

#### *Порядок выполнения работы*

1. Повторите разделы «Дискретизация непрерывных сигналов», «Спектральный анализ дискретных сигналов» [1] и изучите раздел «Рентгеновская томография» [2].

2. Создайте файл с изображением сечения  $f(r,\varphi)$ , преобразование Радона которого необходимо получить (файл можно создать с помощью программы REEВОК или оцифровать изображение в ручном режиме). Размерность изображения и его тип определяются в процессе консультации с преподавателем.

3. Используя программу SPWIN или свой оригинальный стандартный продукт вычислите двумерный спектр изображения  $f(r,\varphi)$ , и определите радиус круга  $b$ , в котором этот спектр лежит.

При вычислении спектра необходимо помнить, что определяется пространственный спектр, частота которого измеряется в  $m^{-1}$ . Для получения конкретных значений  $b$  необходимо определить шаг дискретизации изображения. При этом шаг дискретизации по горизонтали может не совпадать с шагом дискретизации по вертикали, и круг станет эллипсом. В этом случае целесообразно эллипс аппроксимировать описанным кругом.

Шаг дискретизации изображения по вертикали определяется путем деления его реального размера по вертикали на его размер по вертикали, выраженный в пикселях. Шаг дискретизации по горизонтали определяется аналогичным образом.

4. Определите шаг дискретизации радоновского образа  $R_f[l,\Theta]$  для параллельной схемы сканирования по координате  $\Theta$  как

$$\Delta\Theta=\pi/p, \text{ где } p \geq b,$$

и по координате  $l$  как

$$\Delta l = 1/q, \text{ где } q \geq b/\pi.$$

5. Задав шаг дискретизации радоновского образа по координате  $l$ , получите линейные интегралы для каждой дискреты координаты  $l$  при  $\Theta=0$ , тем самым, сформируйте первую строку радоновского образа заданного изображения. Линейные интегралы вычисляются либо с помощью простейших программ-калькуляторов (MathCad, Excel), либо посредством собственной оригинальной программы. Линейные интегралы могут быть вычислены вручную, путем накладывания линейки на матрицу изображения под соответствующим углом и суммирования всех чисел, попавших на соответствующую линию.

Выбрав следующий ракурс путем увеличения координаты  $\Theta$  на шаг дискретизации, получите последующие строки радоновского образа изменяя  $\Theta$  от нуля до  $\pi$ .

Радоновский образ функции  $f$  определяется для пары любых вещественных чисел  $(l, \theta)$  следующим образом:

$$[R_f](l, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} \left( f\left(\sqrt{l^2 + z^2}\right), \theta + \arctg\left(\frac{z}{l}\right) \right) dz, \quad \text{при } l \neq 0;$$

$$[R_f](0, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} f\left(z, \theta + \frac{\pi}{2}\right) dz, \quad (1)$$

где  $z$  – координата вдоль направления прямой  $L$ .

Из рис. 1 видно, что  $[R_f](0, \theta)$  соответствует линейному интегралу от  $f$  вдоль прямой  $L$ . Такие интегралы называются проекционными.

При определении лучевой суммы (1) необходимо помнить, что мы имеем дело с дискретным изображением. Это значит, что число элементов изображения, лежащих на прямых  $L$ , будет различно как в разных ракурсах, так и в пределах одного ракурса. Поэтому здесь необходимо решить задачу по вычерчиванию линий в пиксельных

координатах, которая хорошо известна в компьютерной графике, смотрите, например, Аммерал А. Машинная графика на персональных компьютерах. Пер. с англ. М.: «Сол Систем», 1992.- 232 с.

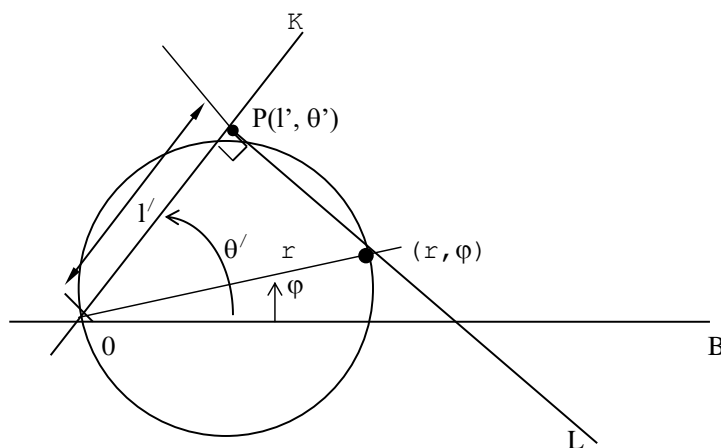


Рисунок 1 – Связь между полярными координатами и пространством Радона

Если число элементов, попавших на прямую  $L$ , неодинаково, то интегралы (1) или лучевые суммы будут зависеть не только от отсчетов изображения, но и от координат  $l, \Theta$ . В реальных томографических системах такие искажения устраняются с помощью компенсаторов. В имитационном моделировании такие искажения могут быть устранены путем нормирования дискретных аналогов интегралов (1) по числу элементов, попавших в лучевую сумму.

6. Визуализируйте полученный радоновский образ и сравните его с исходным изображением.

### Содержание отчета

1. Компьютерная распечатка исходного изображения или матрицы изображения. Если в исходном файле изображение представлено в формате RGB, то, используя стандарт NTS, получить файл с черно-белым изображением.

2. Компьютерная распечатка спектра Фурье исходного изображения с алгоритмом и листингом программы его получения.
3. Расчет величины  $b$ .
4. Расчет параметров дискретизации в радоновском пространстве.
5. Алгоритм и листинг программы определения лучевых сумм.
6. Компьютерная распечатка радоновского образа исходного изображения.
7. Выводы

### Контрольные вопросы

1. С какой целью при получении данных в рентгеновской томографии используют компенсатор?
2. Для чего при получении данных в рентгеновской томографии используют эталонный детектор?
  1. Сколько калибровочных измерений производится при получении данных в рентгеновской томографии?
  2. Перечислите, от каких параметров зависит линейный коэффициент ослабления рентгеновского излучения?
  3. Объясните, чем отличается полихроматическая лучевая сумма от монохроматической лучевой суммы? В каком количественном отношении между собой они находятся?
  4. Изобразите преобразование Радона для отрезка, проходящего через начало координат.
  5. Изобразите преобразование Радона для круга с центром в начале координат.
  6. Докажите, что одной точке в радоновском пространстве соответствует множество прямых (в общем случае бесконечное) в полярных координатах исходного изображения  $f(r, \phi)$ .
  7. Какое предположение позволяет заменить в преобразовании Радона верхний предел интегрирования  $2\pi$  на  $\pi$ ?
  8. Какой функцией является  $R_f$ : четной, нечетной, ни четной, ни нечетной?
  9. Сколько проекций в ракурсе? Приведите необходимые расчеты.

10. Что является ядром преобразования Радона?
11. Каким параметром определяют координаты исследуемого сечения в традиционной рентгеновской томографии? Как выбрать новое сечение?
12. Пусть у нас имеется матрица исходных данных  $p$ , элементы которой  $p[l, \theta]$  - дискретные отсчеты радоновского образа изображения  $f(r, \phi)$ . Представьте схему алгоритма определения восстановления изображения  $f^*(r, \phi)$  методом обратного проецирования.
13. Пусть у нас имеется матрица исходных данных  $p$ , элементы которой  $p[\theta_i, l_j]$ ,  $i = \overline{1, M}$ ,  $j = \overline{1, M}$  дискретные отсчеты радоновского образа изображения  $f(r, \phi)$ . Представьте одну из реализаций линейного цифрового фильтра, восстанавливающего исходное изображение  $f^*(r, \phi)$  методом обратного проецирования.

### Библиографический список

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. - СПб. Питер. 2002.-608 с.
2. Корневский Н.А., Попечителей Е.П., Филист С.А. Интроскопические медицинские приборы и системы: Учеб. пособие /Курск. гос. техн. ун-т;, Курск, 2000. 171 с.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

### Реконструктивные методы в томографических исследованиях

#### Постановка задачи

Рассмотрим задачу восстановления рентгеновского изображения на примере рентгеновского томографа с *параллельной схемой сканирования* (см. рисунок 1) [1-6].

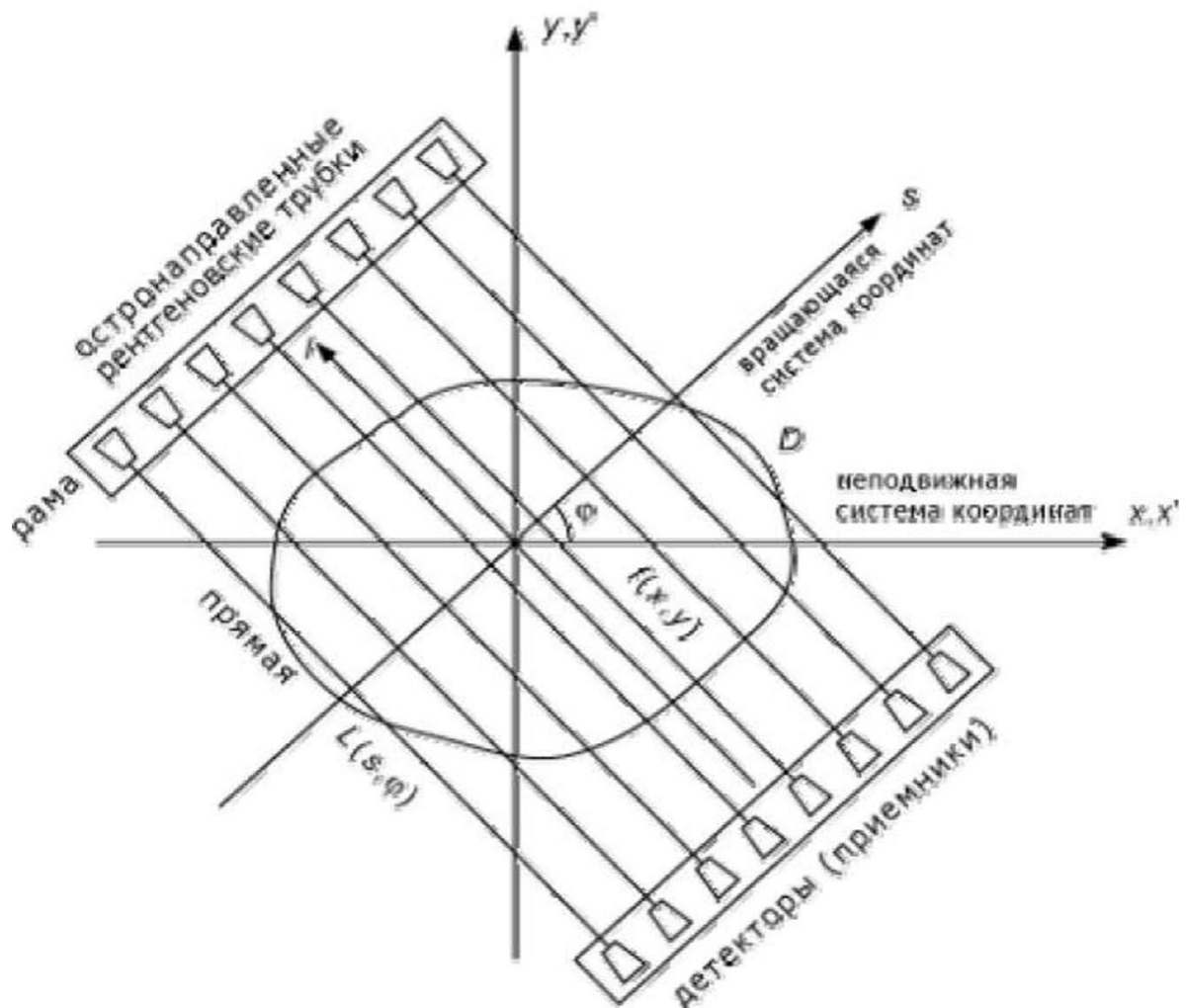


Рисунок 1 - Параллельная схема сканирования



На рисунке 1 показано сечение  $D$  исследуемого объекта, характеризуемое плотностью вещества, точнее, коэффициентом поглощения рентгеновских лучей  $f(x,y)$ , где  $x, y$  - неподвижная относительно объекта система декартовых координат (с ней совмещена система координат  $x', y'$ , необходимая далее). Расположенные на раме рентгеновские трубки излучают узконаправленные рентгеновские лучи интенсивности  $I_0$ , которые, пройдя через вещество и испытав частичное поглощение, регистрируются соответствующими детекторами (приемниками). Такой эксперимент проводится для ряда значений угла поворота рамы  $\varphi \in [0, \pi)$ .

Введем вращающуюся (неподвижную относительно рамы) систему декартовых координат  $s, l$ . Тогда можно обозначить через  $I(s, \varphi)$  значения интенсивности излучения, принятые детекторами. Обозначим далее

$$q(s, \varphi) = -\ln \frac{I(s, \varphi)}{I_0} . \quad (1)$$

Отношение  $\frac{I(s, \varphi)}{I_0}$  принято называть *прозрачностью*, а функцию  $q(s, \varphi)$  - *поглощением* [6, с. 19], или *тенью*. Искомая функция  $f(x, y)$  связана с измеренными значениями  $q(s, \varphi)$  интегральным уравнением Радона [1-4, 6], или *теневым уравнением*:

$$Rf \equiv \int_{L(s, \varphi)} f(x, y) dl = q(s, \varphi),$$

где  $R$  - оператор преобразования Радона (оператор теневого преобразования), а интегрирование ведется по лучу в виде прямой  $L(s, \varphi)$ , уравнение которой

$$x \cos \varphi + y \sin \varphi = s \quad (2)$$

Интеграл  $\int_{L(s, \varphi)} f(x, y) dl$  называется *массой вещества* на луче зрения [6, с. 19], а  $q(s, \varphi)$  в данном случае является набором исходных интегральных проекций (тенью изображения).

Тень изображения при фиксированном угле  $\varphi$  обозначим через  $q_\varphi(s)$  и будем называть *линейной интегральной проекцией* изображения  $q$  под углом  $\varphi$ .

Заметим, что существует еще *схема веерного сканирования* (более распространенная схема), для которой также справедливо уравнение типа (2) [4].

### Виды задач реконструкции

Задача реконструкции рентгеновского изображения сводится к решению интегрального уравнения типа (2) относительно  $f(x, y)$  по известным значениям  $q(s, \varphi)$ . При этом существует два типа задач реконструкции: *задача с полными данными* и *задача с неполными данными* [4].

В *задаче с полными данными* предполагается, что исходные интегральные проекции  $q(s, \varphi)$  известны вдоль всех лучей, проходящих через исследуемое сечение  $D$ , т.е. при всех необходимых значениях  $s$  и  $\varphi$ .

*Задачи с неполными данными* могут быть следующих типов:

1. задача с ограниченным диапазоном углов,

2. внешняя задача, когда функция  $q(s, \varphi)$  задана лишь для  $|s| > a$ , где  $a > 0$ ,
3. внутренняя задача, когда  $q(s, \varphi)$  задана лишь для  $|s| < a$ , где  $a > 0$ ,
4. задача с ограниченным числом источников и приемников излучения.

Что касается аналитических и численных методов решения уравнения (2), то известны следующие *аналитические методы*, согласно формуле обращения Радона [2, 4] и согласно формуле обращения Кормака [4]. Также существуют следующие *численные методы*, метод преобразования Фурье, метод свертки и обратной проекции, метод итераций и методы регуляризации.

Многие из этих методов исследованы достаточно подробно [1-6], однако остался ряд нерешенных вопросов. Например, в методе свертки и обратной проекции [4, 5] имеет место явная расходимость решения  $f(x, y)$  и, чтобы ее устранить, используется предельная (максимальная) частота Фурье, хотя, как известно [7, с. 259-261], более эффективно устраняют расходимость методы сглаживающих окон и, тем более, метод регуляризации Тихонова. Это показано в работе [3, с. 33], однако введенный в ней стабилизирующий множитель можно значительно упростить, что и предлагается в данной работе.

Кроме этого, в качестве метода итераций в [4] использован метод Качмажа. Между тем, более эффективным представляется метод итеративной регуляризации Фридмана [7, с. 272].

Наконец, представляются совершенно новые возможности в решении задачи реконструкции рентгеновских изображений в связи с приведением «неудобного» уравнения (2) к стандартному уравнению – двумерному интегральному уравнению Фредгольма I рода типа свертки [8]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(x', y') dx' dy'}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2}} = S(x, y), \quad (4)$$

Где

$$S(x, y) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} q(x \cos \varphi + y \sin \varphi, \varphi) d\varphi. \quad (5)$$

Уравнение (4) уже исследовалось [2] и применялось на практике [1], однако до настоящего времени не рассмотрен вопрос о его решении в случае задачи с неполными данными.

### Метод преобразования Фурье

Этот хорошо известный метод основан на непосредственной численной реализации теоремы Брейсуэлла о центральном или проекционном слое (проекционной теоремы) [9]:

$$\hat{q}(\omega, \varphi) = \hat{f}(\omega \cos \varphi, \omega \sin \varphi), \quad (6)$$

$$\hat{q}(\omega, \varphi) = \int_{-\infty}^{\infty} q(s, \varphi) e^{-i\omega s} ds, \quad (7)$$

$$\hat{f}(\omega_1, \omega_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-i(\omega_1 x + \omega_2 y)} dx dy, \quad (8)$$

- преобразования Фурье (ПФ). Искомая функция в форме обратного ПФ равна

$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \hat{f}(\omega_1, \omega_2) e^{i(\omega_1 x + \omega_2 y)} d\omega_1 d\omega_2. \quad (9)$$

Однако при численной (дискретной) реализации Фурье-алгоритм дает значительные искажения (артефакты) [4]. Это связано с тем, что в (9) требуется знание  $\hat{f}(\omega_1, \omega_2)$ , а из (6) мы получаем. Поэтому при дискретизации задачи требуется интерполяция, что ведет к большому числу операций и потере точности [4].

Для устранения недостатков стандартного алгоритма ПФ разработаны усовершенствованные Фурье-алгоритмы [4]. Тем не менее, более популярным и эффективным является алгоритм свертки и обратной проекции.

### Метод свертки и обратной проекции

Данный метод, восходящий к работам [10, 11] и нашедший последующее развитие в работах [3-5] и др., является дальнейшей эволюцией Фурье-алгоритма и позволяет полностью избежать интерполяции за счет перехода от декартовых координат  $\omega_1, \omega_2$  к полярным координатам  $\omega, \varphi$  в пространстве частот. Искомое решение имеет вид [3, с.32]:

$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_0^\pi d\varphi \int_{-\infty}^{\infty} q(s, \varphi) p(x \cos \varphi + y \sin \varphi - s) ds, \quad (10)$$

$$p(t) = \int_{-\infty}^{\infty} |\omega| e^{i\omega t} d\omega \quad (11)$$

- так называемая импульсная реакция фильтра с частотной характеристикой  $|\omega|$ .

Однако решение (10)-(11) дает расходимость. Действительно, используя формулу Эйлера и записав (11) в виде

$$p(t) = 2 \int_0^{\infty} |\omega| \cos(\omega t) d\omega, \quad (12)$$

видим, что  $p(t)$  расходится при любом  $t \in (-\infty, \infty)$ . Чтобы устранить расходимость, в [4, 5] вводится предельная частота  $\omega_{max} = \frac{\pi}{h}$ , где  $h$  - шаг дискретизации, в результате

$$p(t) = \omega_{max}^2 \operatorname{sinc}(\omega_{max} t) - \frac{\omega_{max}^2}{2} \operatorname{sinc}^2\left(\frac{\omega_{max} t}{2}\right). \quad (13)$$

Такой устойчивый алгоритм часто называют *решением в пространстве*  $S_{\pi/h}$  [7, с. 259], но он является самым грубым из устойчивых алгоритмов. Более эффективное подавление высоких гармоник Фурье обеспечивают *методы сглаживающих окон* [7, с. 259-260]. А наиболее эффективным является *метод регуляризации Тихонова* [7, с. 260- 261].

### Метод регуляризации Тихонова

Применение данного метода в работе [3, с. 33] позволило получить устойчивый (регуляризованный) вариант решения (10)-(11) в форме:

$$f_{\alpha}(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_0^{\pi} d\varphi \int_{-\infty}^{\infty} q(s, \varphi) p_{\alpha}(x \cos \varphi + y \sin \varphi - s) ds, \quad (14)$$

Где

$$p_{\alpha}(t) = \int_{-\infty}^{\infty} |\omega| W_{\alpha}(|\omega|) e^{i\omega t} d\omega, \quad (15)$$

$\alpha > 0$  – параметр регуляризации,

$$W_{\alpha}(|\omega|) = \frac{H^2(|\omega|)}{H^2(|\omega|) + \alpha \omega^{2p}} \quad (16)$$

- стабилизирующий множитель, причем

$$H(|\omega|) = \frac{1}{\pi \omega}, \quad (17)$$

$p=1,2,3\dots$  - порядок регуляризации. Обычно  $p=1$ , а  $\alpha$  выбирают способом невязки

или способом подбора [6. с. 194], [7, с. 242-249].

Однако выражение (16) является довольно громоздким. Более простым, но столь же эффективным, как следует из работы [12] (см.

также [б. с. 170]), является определением стабилизирующего множителя в виде

$$W_{\alpha}(|\omega|) = \frac{1}{1 + \alpha\omega^{2p}}.$$

### Метод итераций Фридмана

Основное достоинство методов итераций заключается в том, что они пригодны для восстановления томографических изображений в случае задачи с неполными данными. В качестве примера рассмотрим метод итераций Фридмана [7, с. 272].

Недостатком алгоритма последовательных приближений является то, что сходимость гарантируется только при условии  $0 < \beta < 2 / \|R\|^2$ , а это требует знания нормы оператора  $R$ . Эту норму обычно трудно или невозможно вычислить аналитически. Поэтому на практике берут достаточно малое значение  $\beta$ . Кроме того, определенную сложность представляет определение числа итераций (процесс итераций сходится лишь в случае точных значений  $q(s, \varphi)$ , а при наличии шумов он расходится из-за некорректности задачи). Обычно число итераций выбирают по невязке [7, с. 273-274] или по поправке [7, с. 274-275]. В данной работе число итераций  $n$  выбиралось *способом подбора* - путем выбора такого числа итераций, при котором изображение восстанавливается наилучшим образом с точки зрения зрительного восприятия. Такой способ, конечно, содержит элемент субъективности, однако он основывается на априорной информации о решении и, как показывает решение различных модельных примеров, является весьма эффективным.



## Моделирование

На основе метода свертки и обратной проекции, а также метода итераций Фридмана было разработано программное обеспечение на языке Delphi для проведения модельных экспериментов. Ниже приведены результаты решения некоторых модельных примеров.

На рис. 2 показаны примеры исходных изображений размером 512 x 512 пикселей. После решения прямой задачи томографии получены тени изображений, показанные на рис. 3. После восстановления изображений методом свертки и обратной проекции и методом итераций Фридмана получены восстановленные изображения (рисунки 4 и 5).

Итак, в данной работе показана эффективность использования метода регуляризации Тихонова и метода итераций Фридмана для реконструкции рентгеновских изображений.

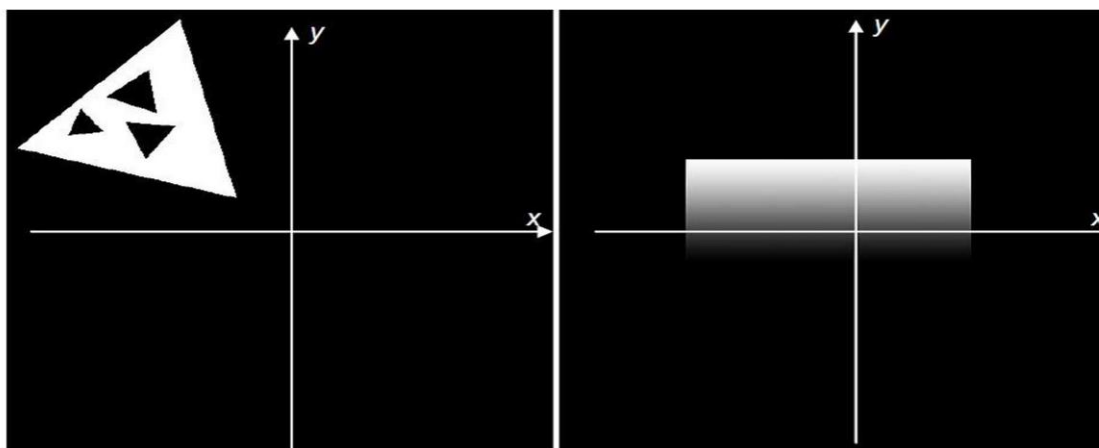


Рис. 2. Исходные изображения.

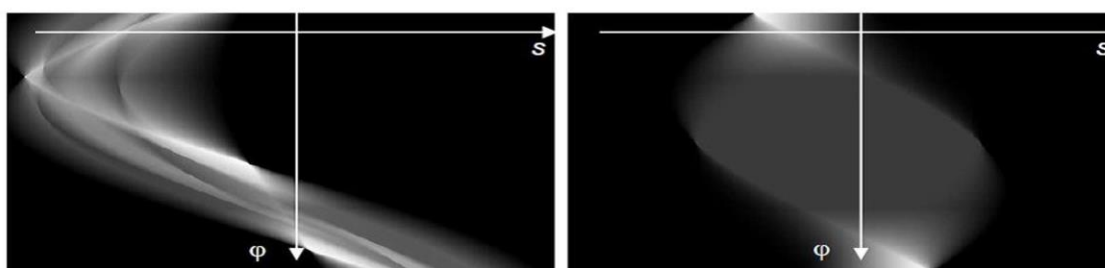


Рис. 3. Тени изображений

Итак, в данной работе показана эффективность использования метода регуляризации Тихонова и метода итераций Фридмана для реконструкции рентгеновских изображений.

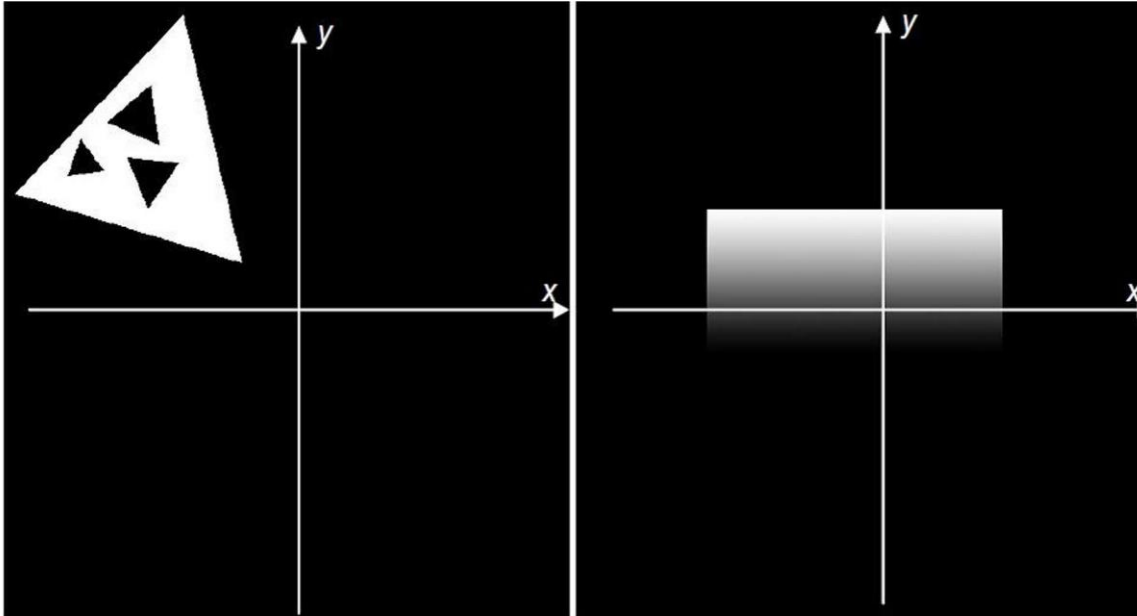


Рис. 2. Исходные изображения.

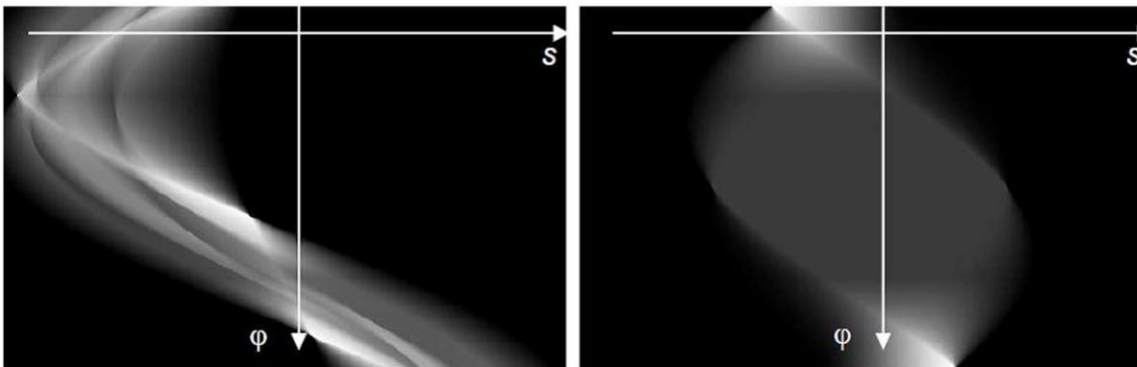


Рис. 3. Тени изображений

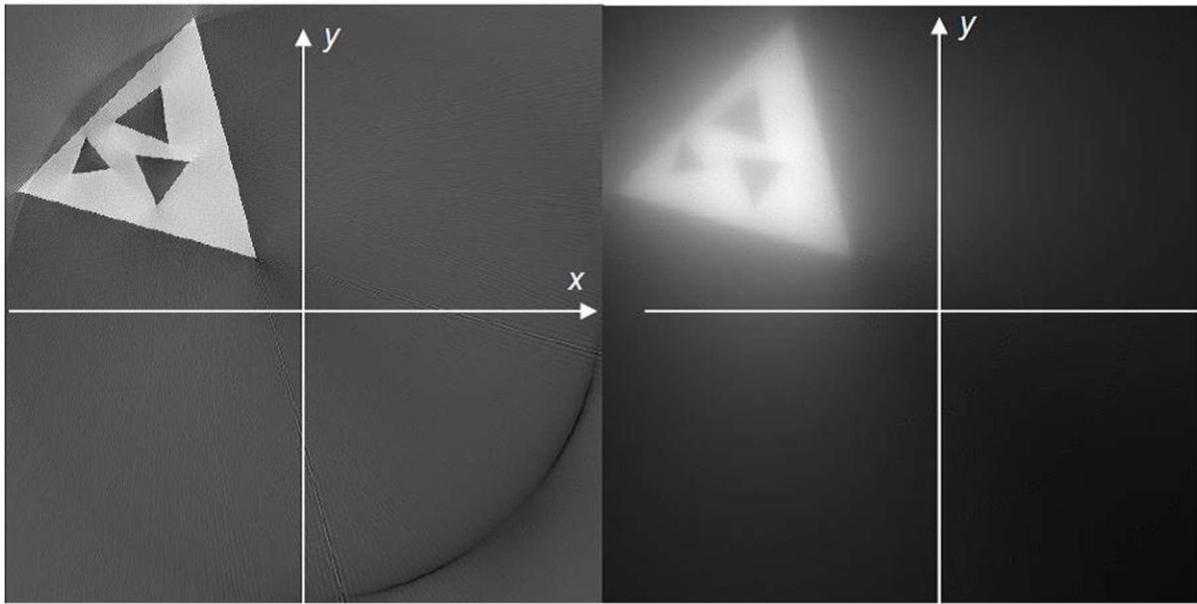


Рис. 4. Первое восстановленное изображение: методом свертки и обратной проекции (слева) и методом итераций Фридмана (справа).

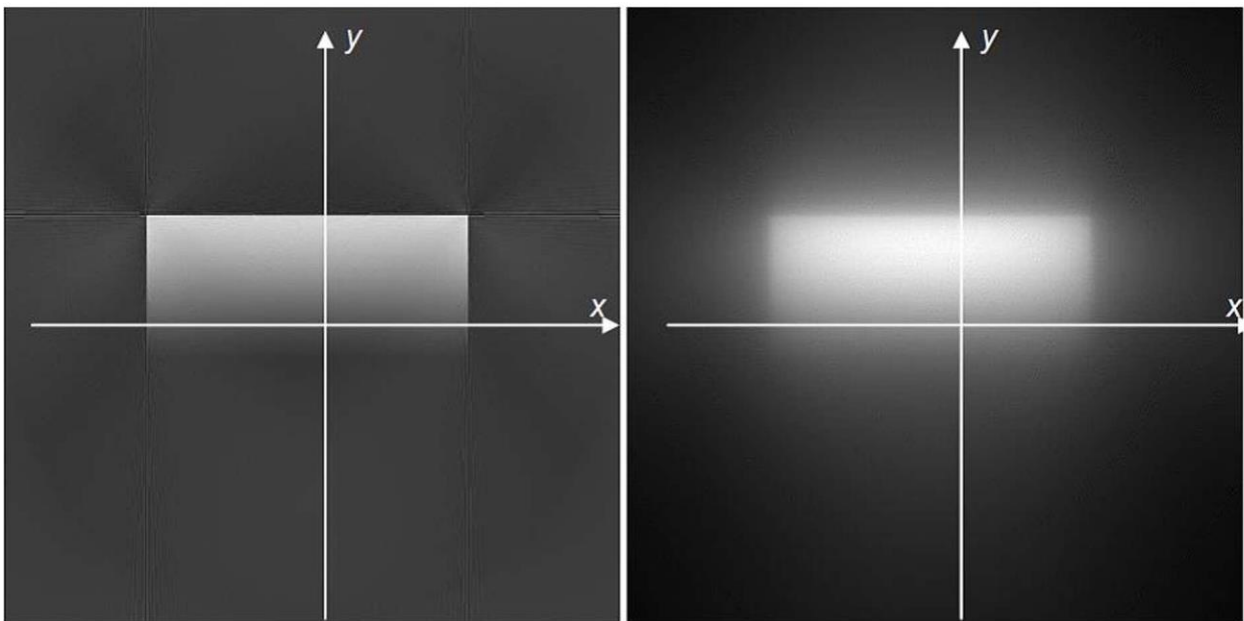


Рис. 5. Второе восстановленное изображение: методом свертки и обратной проекции (слева) и методом итераций Фридмана (справа).

### Библиографический список

1. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я., Рубашов И. Б., Тимонов А. А. Первый советский компьютерный томограф // Природа. 1984. № 4. С. 11-21.
2. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я., Тимонов А. А. Математические задачи компьютерной томографии. М.: Наука, 1987.
3. Троицкий И. Н. Статистическая теория томографии. М: Радио и связь, 1989.
4. Наттерер Ф. Математические аспекты компьютерной томографии. М.: Мир, 1990.
5. Суинделл Б., Уэбб С. Рентгеновская трансмиссионная компьютерная томография // Физика визуализации изображений в медицине. Под ред. С. Уэбба. М.: Мир, 1991. Т.1. С.138-173.
6. Сизиков В. С. Математические методы обработки результатов измерений. СПб: Политехника, 2001.
7. Верлань А. Ф., Сизиков В. С. Интегральные уравнения: методы, алгоритмы, программы. Киев: Наук, думка, 1986.
8. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я., Рубашов И. Б., Тимонов А. А. О постановке основных задач вычислительной томографии. М.: Препринт ИПМ АН СССР. 1982. № 141.
9. Bracewell R. N., Riddle A. C. Strip integration in radio astronomy Austral. J. Phys., 1956. Vol. 9. P. 198-217.
10. Bracewell R. N., Riddle A. C. Inversion of fan-beam scans in radio astronomy // Astrophys. J. 1967. Vol. 150. P. 427-434.
11. Ramachandran G. N., Lakshminarayanan A. V. Three-dimensional reconstruction from radiographs and electron micrographs: application of convolutions instead of Fourier transforms // Proc. Nat. Acad. Sci. US. 1971. Vol. 68. P. 2236-2240.
12. Сизиков В. С. Использование регуляризации для устойчивого вычисления преобразования Фурье // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1998. Т. 38, № 3. С. 376- 386.

## Практическая работа №3

### Исследование алгоритма обратного проецирования

1. *Цель работы:* Получить навыки практической реализации реконструкции томографических изображений.

#### 2. *Краткие теоретические сведения*

Наипростейший алгоритм реконструкции состоит в том, что оценку плотности в любой точке находят путем сложения лучевых сумм для всех лучей, проходящих через данную точку. Это алгоритм суммирования или обратного проецирования.

Традиционная томография, по существу, является методом обратного проецирования. В этом случае линейное ослабление в точке А (рис.1) оценивается путем сложения (интегрирования) суммарной плотности вдоль путей от  $X_t$  до  $A_t$  в течении времени  $T$  ( $t \in [0, T]$ ).

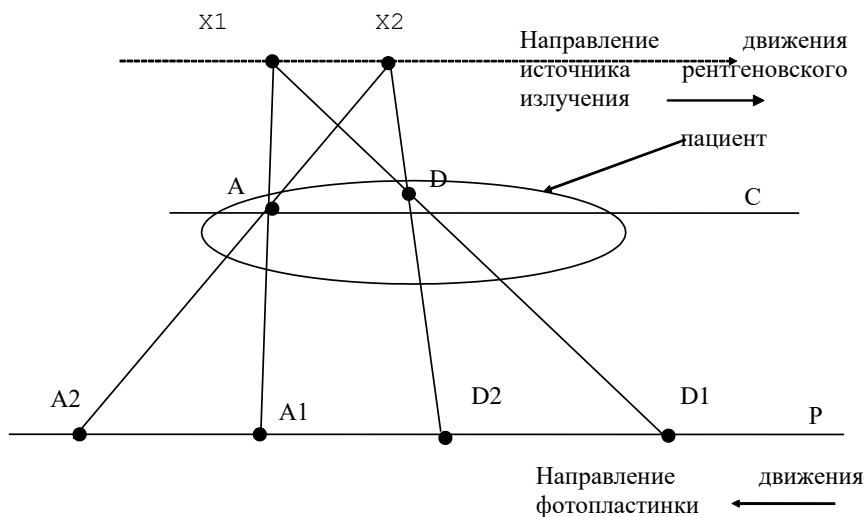


Рисунок 1 - Получение изображения сечение  $C$  в традиционной томографии

Напомним, что  $A_t$  (точка  $A$  принадлежит сечению  $C$ ) - всегда одна и та же точка на передвигающейся фотографической пластинке  $P$  (длина отрезка  $A_1A_2$  равна нулю), в отличие от точки  $D$  (отрезок  $D_1D_2$  не равен нулю) и потому  $A$  является единственной общей точкой для любых путей от  $X_t$  до  $A_t$  в различные моменты  $t$ . Все виды традиционной томографии, включая систему, в которой перемещение источника рентгеновского излучения и фотопластинки идут вдоль осей координат, представляют собой трехмерную версию алгоритма обратного проецирования.

Введем оператор обратного проецирования  $V$ , который заданную функцию двух переменных  $p(l, \theta)$  преобразует в другую функцию  $Vp$  двух полярных переменных таким образом, что  $[Vp](r, \phi)$  равна интегралу по  $\theta$  величин  $p(l, \theta)$ , где  $l = r \cdot \cos(\theta - \phi)$  равна расстоянию от начала координат до прямой  $L$ , проходящей через точку  $(r, \phi)$ , и перпендикулярной прямой  $K$ , которая образует угол  $\theta$  с осью  $X$  (рис. 2). Если  $p(l, \theta)$ - лучевая сумма, связанная с переменной  $l$ , то ясно, что математическая идеализация алгоритма суммирования заключается в том, чтобы сопоставить проекционным данным  $p$  оценку реконструкции  $Vp$ .

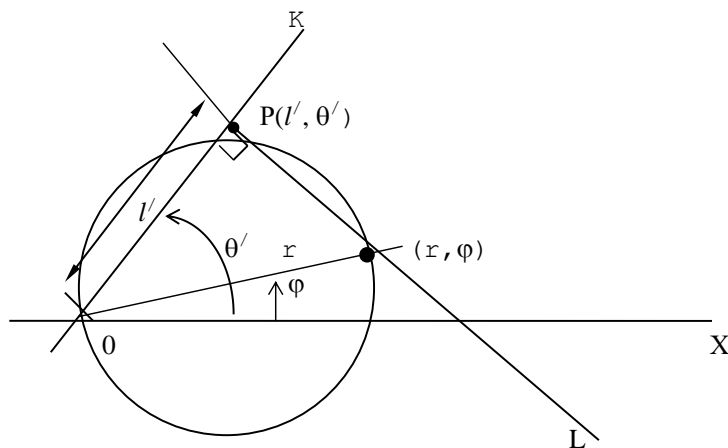


Рисунок 2 - Соотношение аргументов функций  $p$  и  $Vp$  в пространстве  $(r, \phi)$

Метод суммирования может быть реализован различными аналоговыми устройствами. Например, можно использовать электронно-лучевую трубку, на экране которой последовательно отображают линии; их положение соответствует тем пучкам рентгеновского излучения, для которых производится измерение лучевых сумм, а яркость – значению лучевой суммы. Информация с электронно-лучевой трубки суммируется на фотографической пленке, причем плотность почернения модулируется пропорционально величине лучевых сумм. Результирующее изображение на фотопленке будет представлять собой реконструкцию, полученную обратным проецированием. Наш же интерес заключается в вычислении величины  $[Bp](r, \phi)$  по матрице  $Y$ , где  $i$ -я строка матрицы  $Y_i = p(l_i, \theta)$  для  $1 < i < N$ .

Ограничим наше рассмотрение схемой сбора данных для  $M$  равномерно распределенных в пространстве параллельных лучей в каждом ракурсе. Пусть  $\Delta$  обозначает угол между направлением ракурсов (так, что  $\Delta = \pi/M$ ), а  $d$  - шаг между параллельными лучами и пусть  $Nd > r$ .

На рис. 3 показаны как точки, для которых величина  $p$  известна, так и кривая, вдоль которой необходимо проинтегрировать  $p$ , чтобы получить

$$[Bp](r, \phi) = \int_0^{\pi} p(r \cdot \cos(\theta - \phi), \theta) d\theta \quad (1)$$

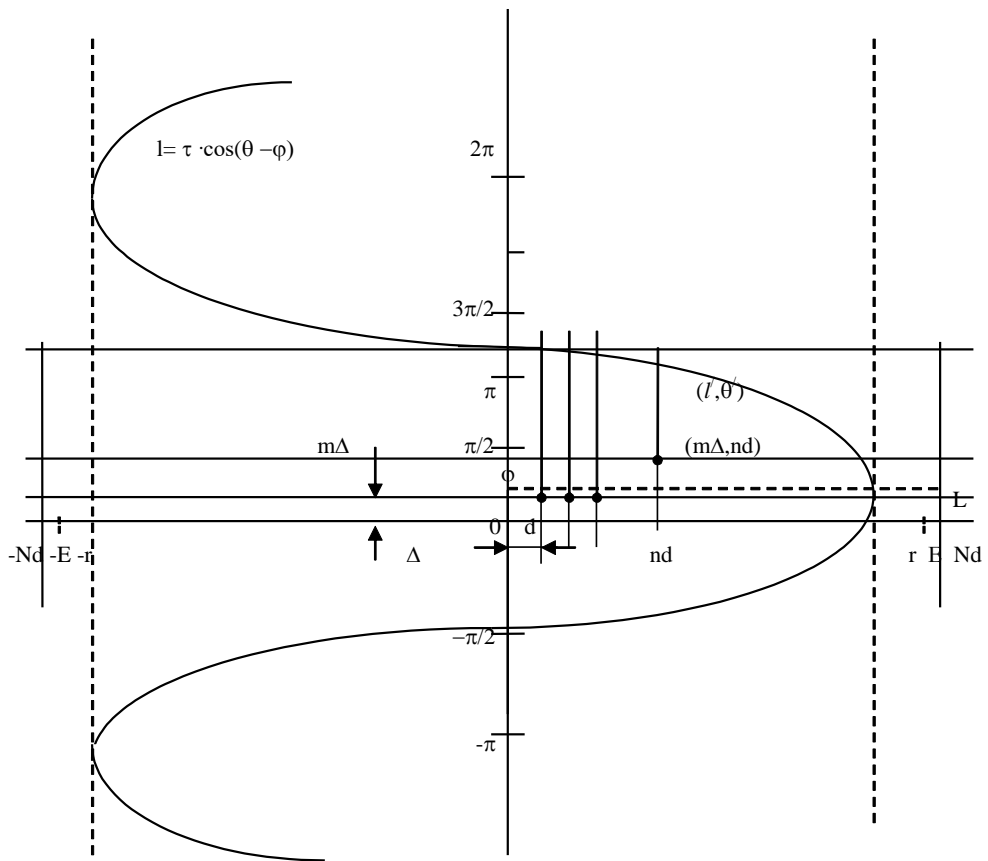


Рисунок 3 - Соотношение аргументов функций  $p$  и  $Bp$  в пространстве  $(l, \theta)$

Метод, который обычно используют для определения интеграла (1) состоит из следующих двух этапов:

Сначала аппроксимируют правую часть выражения (1) суммой:

$$[Bp](r, \phi) \approx \Delta \sum_{m=0}^{M-1} \sum p(r \cdot \cos(m \Delta - \phi), m \Delta), \quad (2)$$

которую называю суммой Римана для данного интеграла, затем производят оценку для каждого значения  $m$  величины  $p(r \cdot \cos(m \Delta - \phi)$ ,



$m\Delta$ ) по известным значениям  $p(nd, m\Delta)$  ( $-N < n < N$ ) путем интерполирования.

В реконструктивной томографии обычно используют два метода интерполяции: метод интерполяции по ближайшему значению и метод линейной интерполяции. При интерполяции по ближайшему значению вычисляют  $p(r \cdot \cos(m\Delta - \phi), m\Delta)$  по величинам  $p(nd, m\Delta)$ , где  $n$  выбирают таким образом, чтобы выражение  $|nd - r \cdot \cos(m\Delta - \phi)|$  имело наименьшее возможное значение.

Другими словами, определение  $[Bp](r, \phi)$  при помощи метода интерполяции по ближайшему значению выполняют следующим образом: складывают вместе лучевые суммы для лучей по одному из каждого ракурсов, которые являются ближайшими к точке  $(r, \phi)$ , и результат умножают на  $\Delta$ .

В лабораторной работе предлагается использовать метод интерполяции по ближайшему соседу. В соответствии с этим методом в каждом  $j$ -столбце реконструируемого изображения необходимо найти строки, к элементам (пикселям) которых добавляется  $m$ -вая проекционная сумма данного ракурса. Обратим внимание на то, что при ракурсах, направления которых не кратны  $\pi/2$ , найденные строки могут выходить за пределы изображения, что иллюстрируется рис. 4.

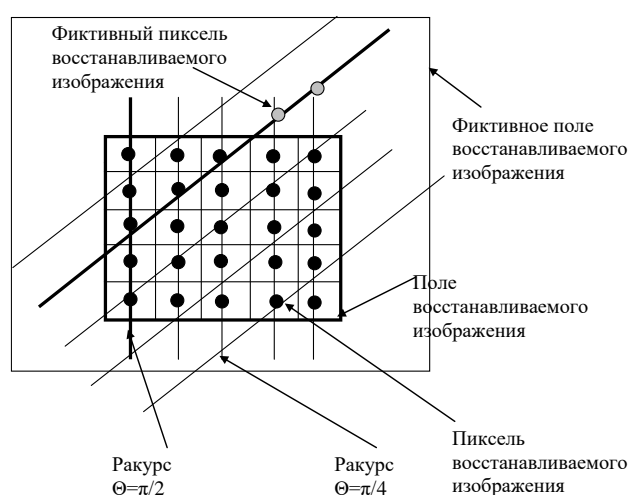


Рисунок 4 - Поле (матрица) восстанавливаемого изображения с ракурсами  $\pi/2$  и  $\pi/4$

Если ракурс девяностоградусный, то все элементы данного  $j$ -го столбца лежат на прямой  $l'$ , в противном случае, как это показано на рис.4 для сорокапятиградусного ракурса, прямая  $l'$  при  $j$ , находящемся в поле изображения, пересекает фиктивные пиксели, которые лежат вне поля изображения. Так как к ним проекционная сумма не добавляется, то при суммировании необходимо использовать нормировочный коэффициент, который бы учитывал неоднозначность элементов, по которым размывается проекционная сумма от проекции к проекции как внутри одного и того же ракурса, так и от ракурса к ракурсу.

Методика определения элемента (ближайшего соседа), к которому добавляется данная проекционная сумма, иллюстрируется листом MathCad, который приведен ниже.

$N := 5$       задает размер матрицы томограммы

$$\Delta := \frac{\pi}{4} \quad d := \frac{(N-1)\sqrt{2}}{N-1}$$

$k := 1$       Определяет номер ракурса

$j := -2..2$       Номер столбца в томограмме и в восстанавливаемом изображении

$l := -2..2$       Номер проекции в ракурсе в томограмме

$$il_{l+2, j+2} := -j \cdot \tan(\Delta \cdot k) + 1 \cdot \frac{d}{\cos(k \cdot \Delta)}$$

$$il = \begin{pmatrix} -2 & -3 & -4 & -5 & -6 \\ 0 & -1 & -2 & -3 & -4 \\ 2 & 1 & 0 & -1 & -2 \\ 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 6 & 5 & 4 & 3 & 2 \end{pmatrix}$$

$$\Delta := \frac{\pi}{8}$$

$$il_{l+2, j+2} := -j \cdot \tan(\Delta \cdot k) + 1 \cdot \frac{d}{\cos(k \cdot \Delta)}$$

$$i1 = \begin{matrix} & j & -2 & -1 & 0 & 1 & 2 & l \\ \left( \begin{array}{cccccc} -2.233 & -2.647 & -3.061 & -3.476 & -3.89 \\ -0.702 & -1.117 & -1.531 & -1.945 & -2.359 \\ 0.828 & 0.414 & 0 & -0.414 & -0.828 \\ 2.359 & 1.945 & 1.531 & 1.117 & 0.702 \\ 3.89 & 3.476 & 3.061 & 2.647 & 2.233 \end{array} \right) & \begin{array}{l} -2 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 2 \end{array} \end{matrix}$$

Величина  $i1$  определяет ординату пересечения прямой  $l$  с осью ординат в пространстве реставрируемого изображения. Для того, чтобы реализовать итерационную процедуру восстановления изображения необходимо выбрать прямую  $l$  в ракурсе, которая является оптимальной для элемента, стоящего в итерационной формуле. Критерием оптимальности является близость координаты  $i$  рассматриваемого элемента к одному из элементов  $i1$  для конкретного столбца  $j$  матрицы  $[I1]$ . То есть в реставрируемой матрице выбирается элемент  $ij$ , а в матрице  $[I1]$  в столбце  $j$  элемент, ближайший к  $i$ . Номер строки этого элемента даст номер проекции в ракурсе (номер координаты  $l$ ), значение которой необходимо добавить к накапливаемой сумме восстанавливаемого элемента.

### Порядок выполнения работы

1. Повторите раздел «Преобразование Радона», и «Алгоритмы реконструктивной томографии» [1].
2. Составьте схему алгоритма реконструкции изображения, полученного Вами в результате выполнения лабораторной работы №1, посредством алгоритма обратного проецирования.
3. Реализуйте полученный алгоритм на выбор: либо на любом алгоритмическом языке, либо используя простейший калькулятор и линейку, например, МATHCAD, табличный процессор EXCEL и т.п.
4. Визуализируйте полученное реконструированное изображение образ и сравните его с исходным изображением.
5. Сделайте выводы.

## Содержание отчета

8. Компьютерная распечатка исходного изображения. Если в исходном файле изображение представлено в формате RGB, то, используя стандарт NTS, получить файл с черно-белым изображением.

9. Компьютерная распечатка радоновского образа изображения, полученного в лабораторной работе №1..

10. Схема алгоритма обратного проецирования для изображения п.2.

11. Листинг программы алгоритма обратного проецирования для конкретного радоновского образа п. 2.

12. Выводы

## Контрольные вопросы

1. Как в традиционной томографии изменяют координаты исследуемого сечения?

2. Изобразите преобразование Радона для круга с центром в начале координат.

3. Докажите, что одной точке в радоновском пространстве соответствует множество прямых (в общем случае бесконечное) в полярных координатах исходного изображения  $f(r, \phi)$ .

4. Почему при восстановлении изображений не используется формула обратного преобразования Радона?

5. Поясните сущность теоремы о центральном сечении?

6. Сколько проекций в ракурсе? Приведите необходимые расчеты.

7. Что является ядром преобразования Радона?

8. Каким параметром определяют координаты исследуемого сечения в традиционной рентгеновской томографии? Как выбрать новое сечение?

9. Пусть у нас имеется матрица исходных данных  $p$ , элементы которой  $p[l, \theta]$  - дискретные отсчеты радоновского образа изображения  $f(r, \phi)$ . Представьте схему алгоритма определения восстановления изображения  $f^*(r, \phi)$  методом обратного проецирования.

10. Пусть у нас имеется матрица исходных данных  $p$ , элементы которой  $p[\theta_i, l_j]$ ,  $i = \overline{1, M}$ ,  $j = \overline{1, M}$  дискретные отсчеты радоновского образа изображения  $f(r, \phi)$ . Представьте одну из реализаций линейного цифрового фильтра, восстанавливающего исходное изображение  $f^*(r, \phi)$  методом обратного проецирования.

11. Нарисуйте изображение отрезка, проходящего через начало координат, полученное путем обратного проецирования его преобразования Радона.

12. Нарисуйте изображение точки не лежащей в начале координат, полученное путем обратного проецирования ее преобразования Радона.

13. Дайте сравнительную оценку аддитивным и мультипликативным методам коррекции данных. Чем определяется их эффективность?

14. Приведите анализ ошибок при восстановлении изображений с помощью алгоритма обратного проецирования.

15. Приведите анализ ошибок при восстановлении изображения с помощью фурье-алгоритма.

### Библиографический список

1. Корневский Н.А., Попечителев Е.П., Филист С.А. Интроскопические медицинские приборы и системы: Учеб. пособие /Курск. гос. техн. ун-т;, Курск, 2000. 171 с.

## Практическое занятие №4

### ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЛОКАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Один из типов преобразования изображения, который удобно выполнять на ЭВМ - это так называемые локальные операции или операции свёртки. Суть их в том, что значение яркости каждого элемента преобразуется в зависимости от яркостей соседних элементов. При этом последовательно просматриваются все элементы изображения, но дополнительно у каждого из них просматривается и его окрестность - "окно" (рис. 1.1.). Размер окна часто берут равным 3x3 или 5x5 элементов, так как при больших размерах возрастают затраты машинного времени.

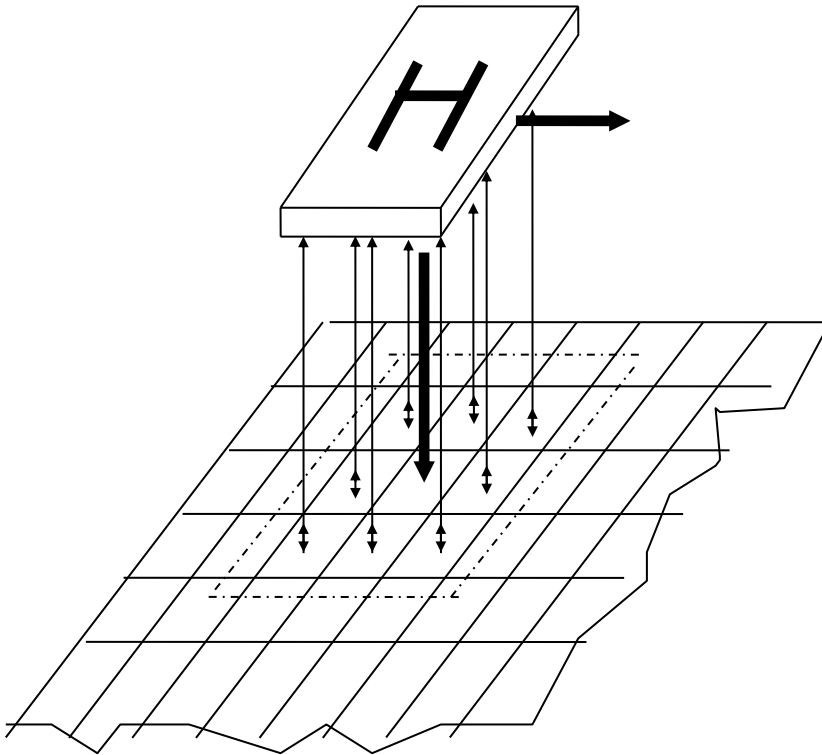


Рисунок 1.1 - Локальная обработка изображения

Операции свёртки в окнах широко применяются при обработке изображений, когда требуется, например, подчеркнуть контуры и мелкие детали или, наоборот, сгладить изображение для выявления крупных объектов, устранения помех. Таким образом, выходной массив  $G$  размером  $M_1 \times M_2$  формируется путём дискретной свёртки массива  $F$  размером  $N_1 \times N_2$  исходного изображения с маскирующим массивом  $H$ , размером  $L_1 \times L_2$  согласно формуле:

$$G(m_1, m_2) = \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \sum_{n_2=-\infty}^{\infty} F(n_1, n_2) H(m_1-n_1+1, m_2-n_2+1). \quad (1.1)$$

Для уяснения механизма взаимодействия элементов изображения и маскирующей последовательности рассмотрим в качестве примера взаимодействие двумерной последовательности конечной протяженности  $F(n_1, n_2)$ , значения отсчетов которой равны 1 внутри прямоугольной области  $0 \leq n_1 \leq N_1$ ,  $0 \leq n_2 \leq N_2$  и 0 вне её, с единичной двумерной маскирующей последовательностью, расположенными ниже и левее точек  $m_1, m_2$ .

Для вычисления значения выходного отсчета  $G(m_1, m_2)$ , с помощью выражения (1.1), образуем последовательность - произведение  $F(n_1, n_2) H(m_1-n_1+1, m_2-n_2+1)$ . В зависимости от конкретного значения  $(m_1, m_2)$  ненулевые области последовательностей  $F(n_1, n_2)$  и  $H(m_1-n_1+1, m_2-n_2+1)$  перекрываются в различной степени. Можно выделить пять случаев, представленных на рис. 1.2, где ненулевые области каждой последовательности заштрихованы, а нулевые отсчеты просто не показаны.

**Случай 1.**  $m_1 < 0$  или  $m_2 < 0$ . Из рис.1.2. видно, что для таких значений  $(m_1, m_2)$  последовательности  $H(m_1-n_1+1, m_2-n_2+1)$  и  $F(n_1, n_2)$  не перекрываются. Поэтому их произведение, как и значение таких отсчетов свертки, равны нулю.

**Случай 2.**  $0 \leq m_1 < N_1$ ,  $0 \leq m_2 < N_2$ . Имеет место частичное перекрытие. Вклад ненулевых значений отсчетов в последовательность - произведение имеет вид

$$G(m_1, m_2) = \sum_{n_1=0}^{m_1} \sum_{n_2=0}^{m_2} 1 = (m_1+1)(m_2+1) \quad (1.2)$$

**Случай 3.**  $m_1 \leq N_1$ ,  $0 \leq m_2 \leq N_2$ . Здесь можно написать

$$G(m_1, m_2) = \sum_{n_1=0}^{N_1-1} \sum_{n_2=0}^{m_2} 1 = N_1(m_2+1) \quad (1.3)$$

**Случай 4.**  $0 \leq m_1 < N_1$ ,  $m_2 \geq N_2$ . По аналогии со случаем 3 имеем

$$G(m_1, m_2) = N_2(m_1+1). \quad (1.4)$$

**Случай 5.**  $m_1 \geq N_1$ ,  $m_2 \geq N_2$

В этом последнем случае сдвинутая ступенчатая последовательность  $H(m_1-n_1+1, m_2-n_2+1)$  полностью перекрывает импульс  $F(n_1, n_2)$ . Тогда

$$G(m_1, m_2) = N_1 N_2 \quad (1.5)$$

В итоге полная свёртка имеет вид

$$G(m_1, m_2) = \begin{cases} 0 & \text{при } m_1 < 0 \text{ или } m_2 < 0 \\ (m_1+1)(m_2+1) & \text{при } 0 \leq m_1 < N_1, 0 \leq m_2 < N_2 \\ N_1(m_2+1) & \text{при } m_1 > N_1, 0 \leq m_2 < N_2 \\ N_2(m_1+1) & \text{при } 0 \leq m_1 < N_1, m_2 \geq N_2 \end{cases} \quad (1.6)$$



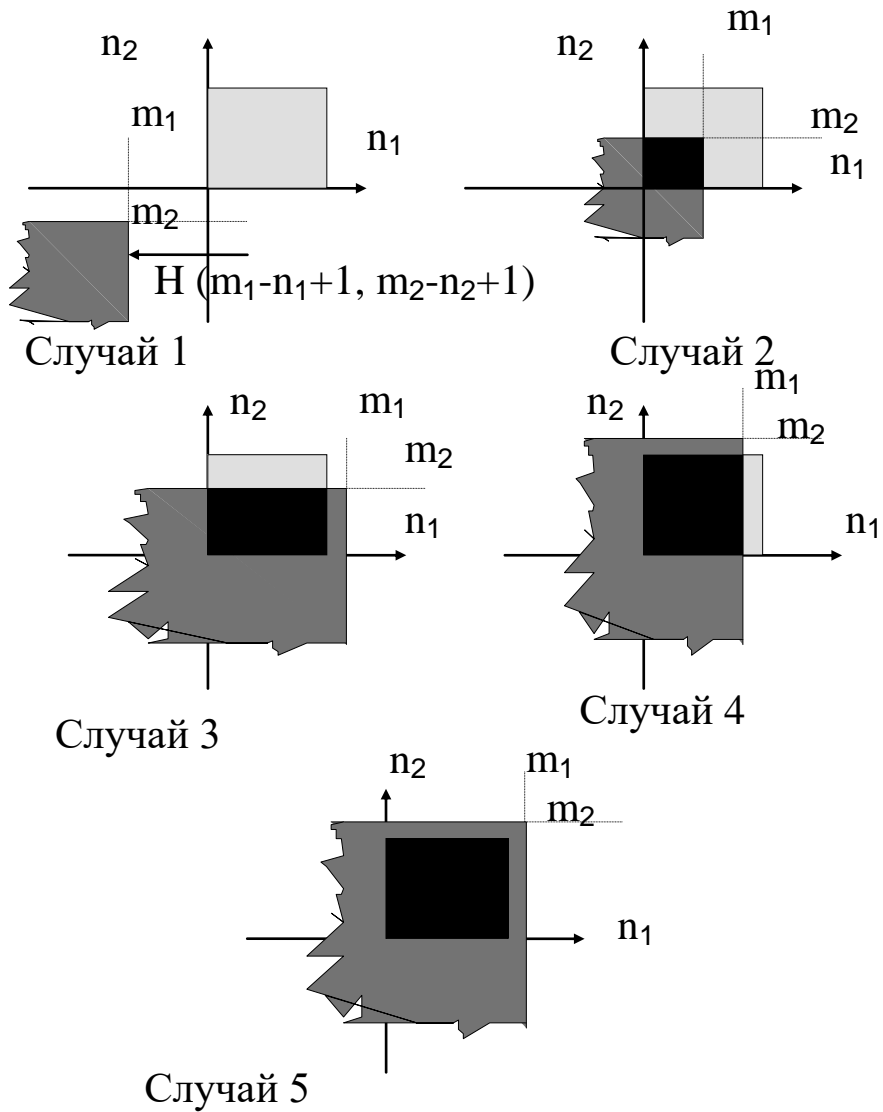
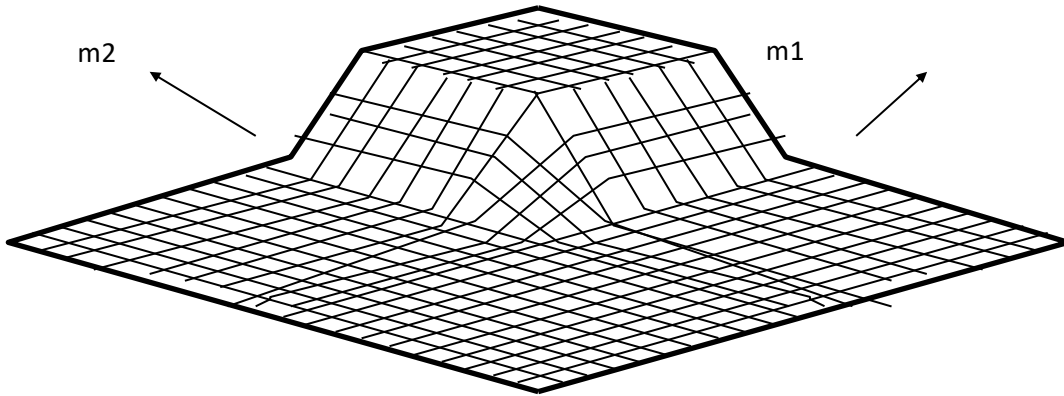
$N_1 \times N_2$ при  $m_1 \leq N_1, m_2 \leq N_2$ 

Рисунок 1.2 - Свертка квадратного импульса с двумерной ступенчатой последовательностью



Её графическое изображение показано на рисунок (1.3).

Рисунок 1.3 - Свертка двух последовательностей

Приведём примеры маскирующих последовательностей размерностью 3x3.

#### Сглаживающие маски

$$[H] = 1/9 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; \quad [H] = 1/10 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}; \quad [H] = 1/16 \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

Маски, подчёркивающие границы изображения

$$[H] = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}; \quad [H] = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}; \quad [H] = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix}$$

Эти маски подчеркивают границы независимо от их направления. Для выделения перепадов определенной ориентации, используются адаптированные маски:

"Север"

$$[H] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix};$$

"Северо-восток"

$$[H] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{bmatrix};$$

"Восток"

$$[H] = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

"Юго-восток"

$$[H] = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

"Юг"

$$[H] = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

"Юго-запад"

$$[H] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix};$$

"Запад"

$$[H] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \end{bmatrix};$$

"Северо-запад"

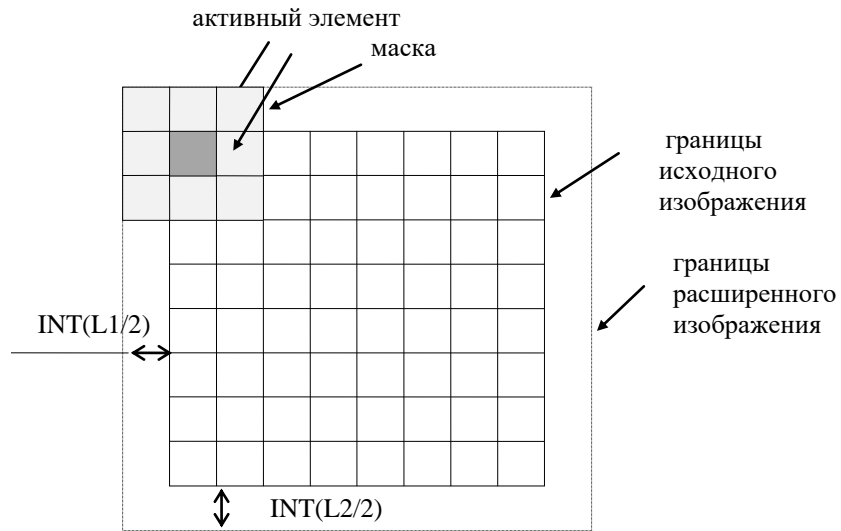
$$[H] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & -1 \\ 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}.$$

Название маски говорит о направлении перепада яркости, вызывающей наибольший отклик фильтра.

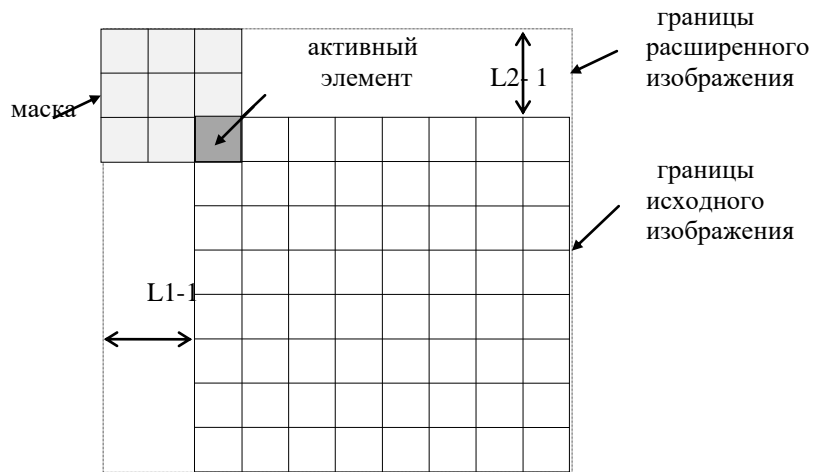
Из выражения (1.1) и рис.(1.4) следует, что существуют два способа выбора активного элемента (элемента с координатами  $m_1$ ,  $m_2$ ) на исходном изображении, которые приводят в общем случае к разным результатам. Это иллюстрируется рис.(1.4,а) и рис.(1.4,б).

Ранее мы договорились, что при выходе за кадр изображения мы имеем нулевые отсчёты. Однако в исходных данных эти отсчёты отсутствуют. Поэтому, чтобы программа, реализующая такое преобразование изображения, была работоспособна, необходимо расширить исходный массив, иначе говоря доопределить его до размерности  $(N_1+L_1-1)(N_2+L_2-1)$ . Чтобы исключить краевой эффект, доопределяемые элементы принимают не нулевые значения, а значения, равные соседним элементам исходного изображения [6].

Если изображение состоит из достаточно большого числа пикселей, то достаточно исключить из исходного изображения те активные элементы, в которых окно выходит за кадр изображения.



а)



б)

Рисунок 1.4 - Иллюстрация краевого эффекта

### 1.3. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследовать способы локальной обработки изображений.

### 1.4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Создайте базу данных изображений (можно с расширением .bmp)
2. Создайте базу данных маскирующих последовательностей
3. Запустите программы локальной обработки изображений и получите окно, показанное на рисунке 1.5.

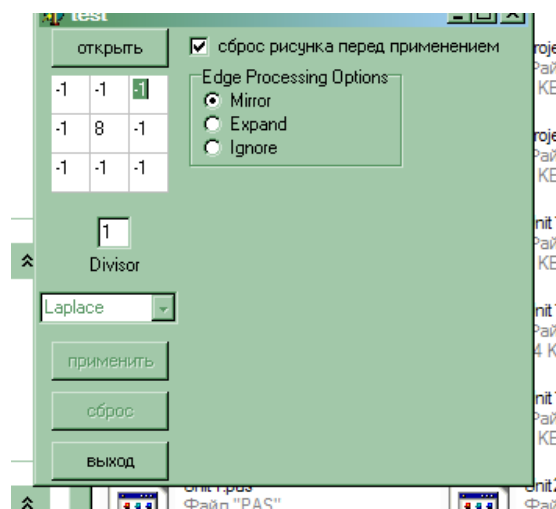


Рисунок 1.5 - Главное окно программы

4. Нажмите кнопку «открыть» и выберете из базы данных необходимый рисунок. При этом раскроется окно, показанное на рис. 1.6.

5. Нажмите кнопку «открыть» в этом окне и получите окно, показанное на рис. 1.7.

6. Нажмите кнопку «применить» в этом окне и проанализируйте и опишите те изменения, которые произошли с исходным изображением.

7. Повторите пункты 3-6 с другими масками и другими изображениями.

8. Сделайте выводы

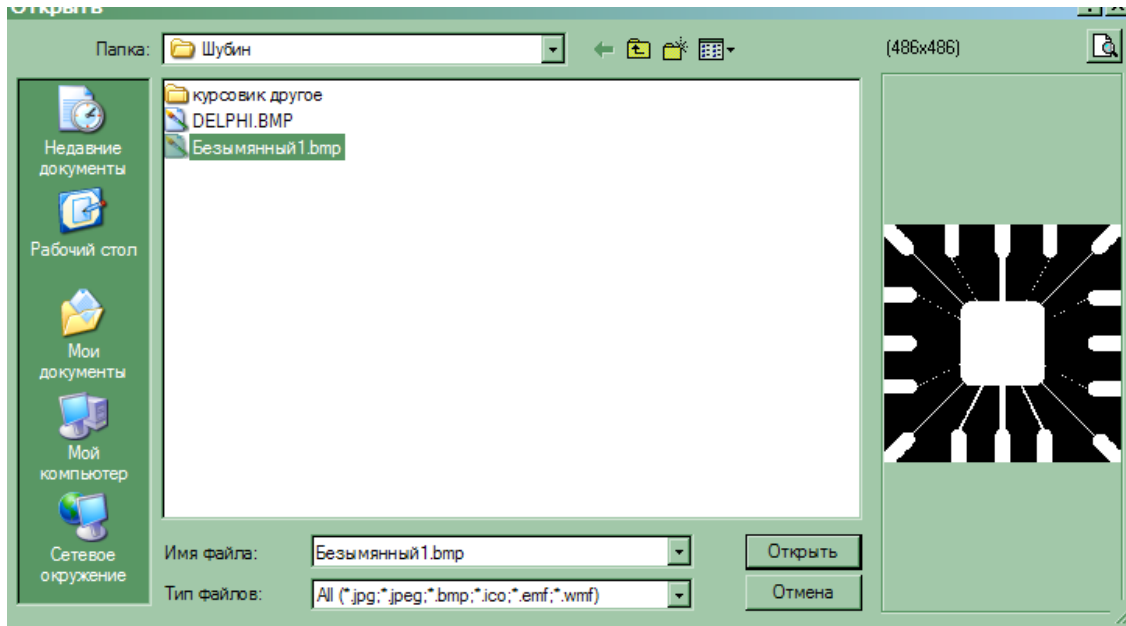


Рисунок 1.6

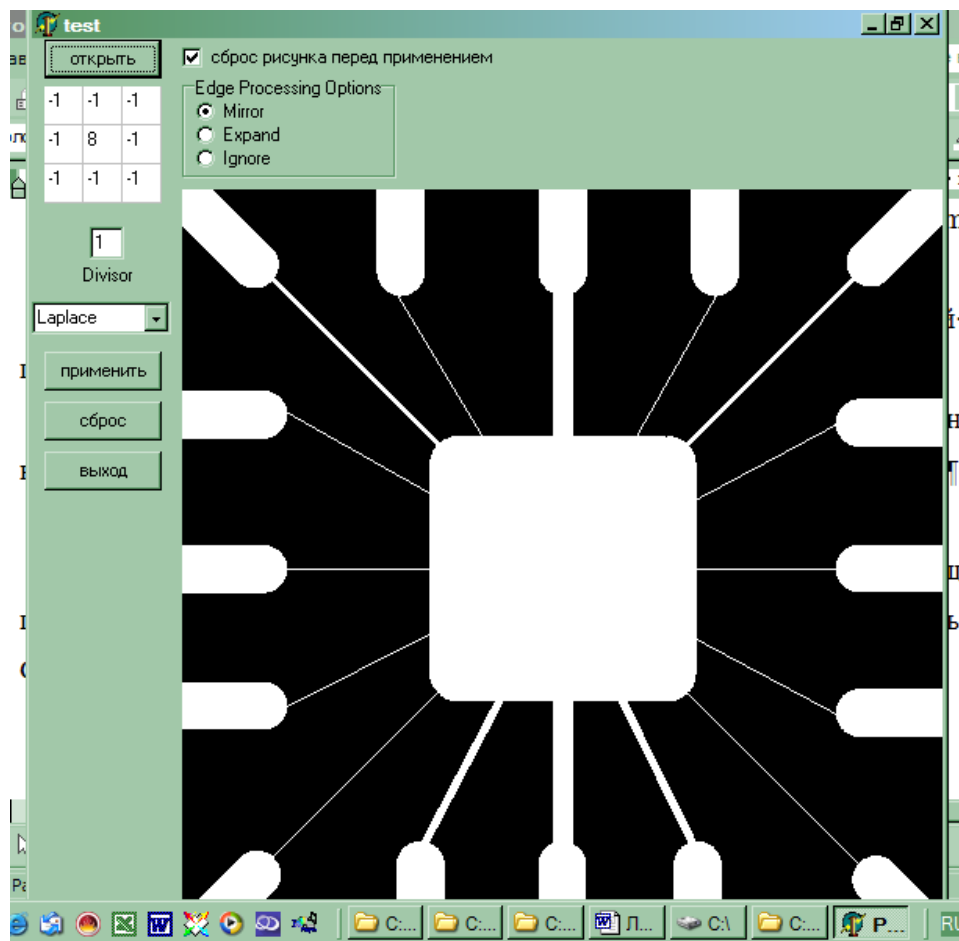


Рисунок 1.7.

## 1.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Исходное полутоновое изображение.
2. Используемые маски для обработки изображений.
3. Изображения после обработки выбранными масками.
4. Выводы об эффективности используемых масок.

## 1.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы соотношения размеров исходного изображения, выходного изображения и маски?
2. Как влияет на выходное изображение высокочастотная маска? Для каких целей целесообразно ее использовать?
3. Как влияет на выходное изображение низкочастотная маска? Для каких целей целесообразно ее использовать?
4. Как изменится программа для обработки изображения, если маска имеет не прямоугольную форму, например форму «креста»?



## Практическое занятие №5

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И НОРМАЛЬНАЯ ЛУЧЕВАЯ АНАТОМИЯ КОСТНО-СУСТАВНОГО АППАРАТА. РАЗВИТИЕ СКЕЛЕТА В РЕНТГЕНОВСКОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

*Методы исследования.*

1. Рентгенография является основным методом исследования костносуставной системы. На рентгенограммах костей можно оценить их форму, положение, размеры. Дополнительными методами исследования являются продольная томография, МРТ.

Обзорные рентгенограммы костей и суставов:

- 1) прямая проекция - плечевой сустав, лопатка, таз и тазобедренный сустав, кисть, стопа;
- 2) прямая и боковая проекции - череп, позвоночник, локтевой, лучезапястный, коленный и голеностопный суставы, длинные кости.

При заболеваниях позвоночника, суставов помимо рентгенографии прибегают к магнитно-резонансной или компьютерной томографии. При анализе рентгенограмм костно-суставной системы обращают внимание на следующие признаки: определение объекта, проекции и метода исследования, возрастные особенности изображения, форму, положение, размеры и структуру кости, высоту рентгеновской суставной щели, замыкательных пластинок, конгруэнтность суставных поверхностей.

2. Томографическое исследование является дополнительным, позволяет выявить наличие, характер, протяженность костных деструкций.

3. РКТ - исследование костей и мягких тканей, РКТ - артрография.

4. МРТ - многослойное исследование мягких тканей (суставные хрящевые поверхности, капсулы, сухожилия, связки), костного мозга.

5. УЗИ (в первую очередь у младенцев и детей младшего возраст 1) - исследование мягких тканей (суставные хрящевые поверхности, суставные щели, сухожилия и связки), оценка суставной нестабильности. Контроль над выполнением тонкоигольной аспирации и биопсии.

6. Сцинтиграфия с  $^{99m}\text{Tc}$ , при необходимости - исследование всего скелета, например для выявления метастазов.

7. Артрография - введение в полость сустава контрастирующего вещества (выполняется при невозможности проведения МРТ, УЗИ).

8. Эндоскопические методы исследования полости сустава.

*Основы рентгеноанатомии и фазы развития скелета.*  
Короткие, длинные, плоские кости. Анатомические отделы кости эпифиз, метафиз, диафиз. Основные элементы кости: кортикальный слой, спонгиоза (губчатая кость), надкостница.

Задача 1. Для изучения мелких деталей костной структуры, неразличимых на обычных рентгенограммах, применяют рентгенографию с увеличением изображения. В качестве примера на рисунке представлена рентгенограмма концевой фаланги пальца. В чем суть этой методики?



Задача 2. Рассмотрите рисунок. Определите, какая методика рентгенологического исследования была использована. Попробуйте указать, каковы достоинства этой методики и почему она не

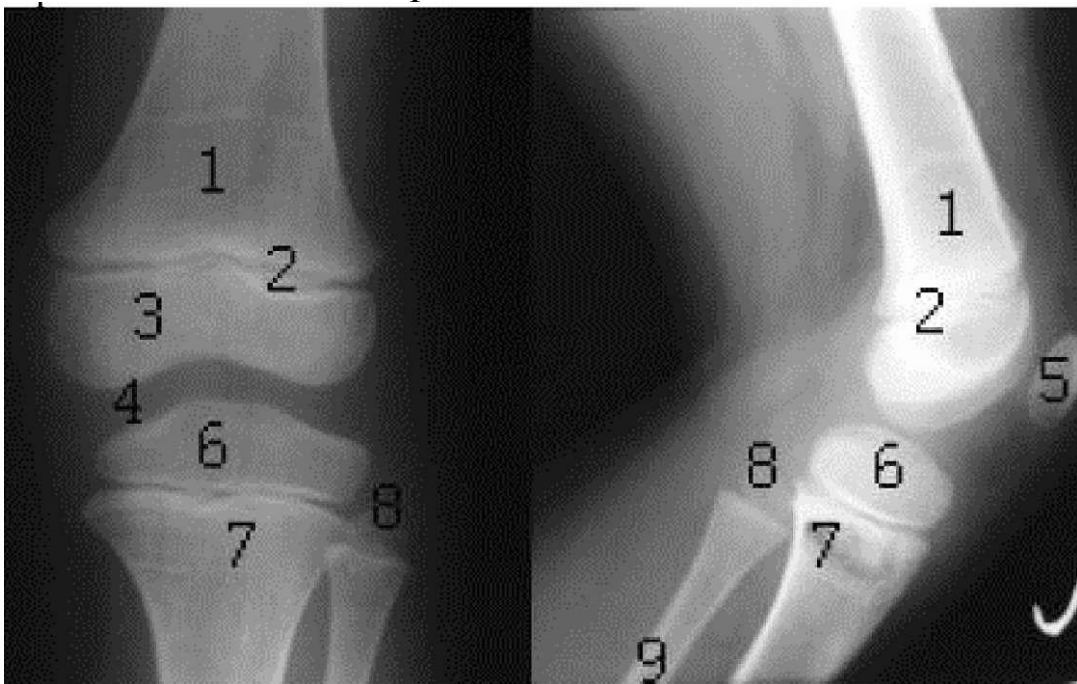
получила распространения в современной рентгенологической практике.



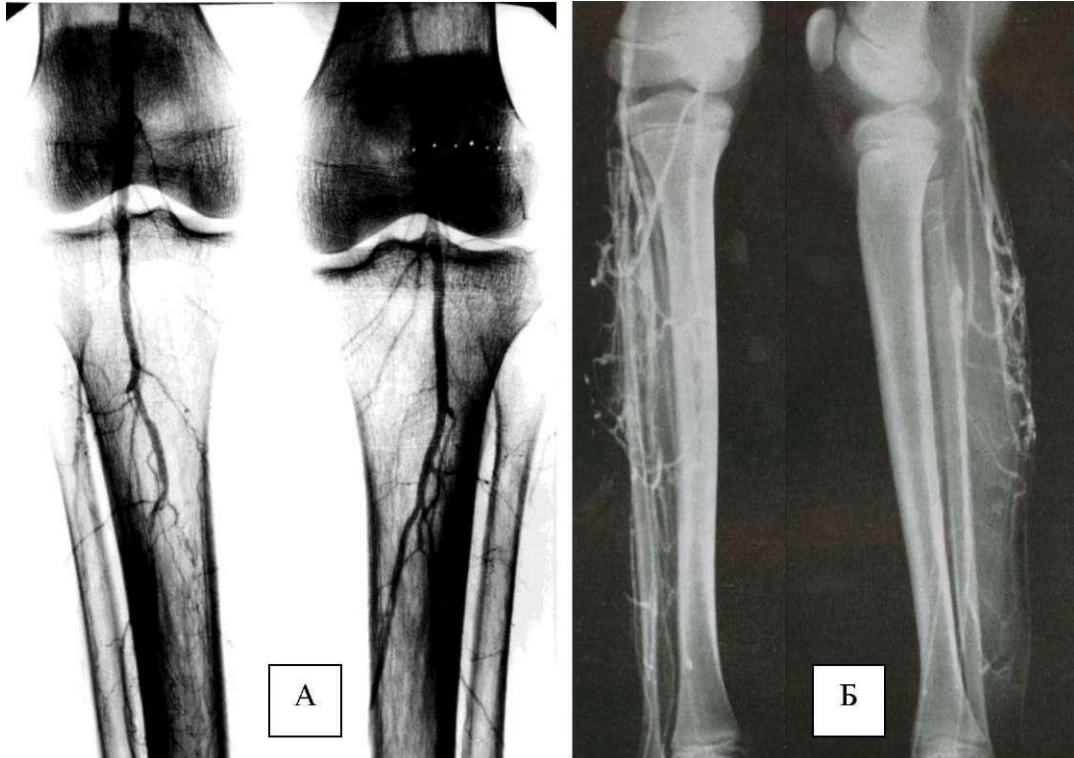
Задача 3. На рисунке представлено объемное изображение поясничных позвонков. На какой установке, причем с помощью рентгеновского излучения, было оно получено? Как называется подобная методика исследования?



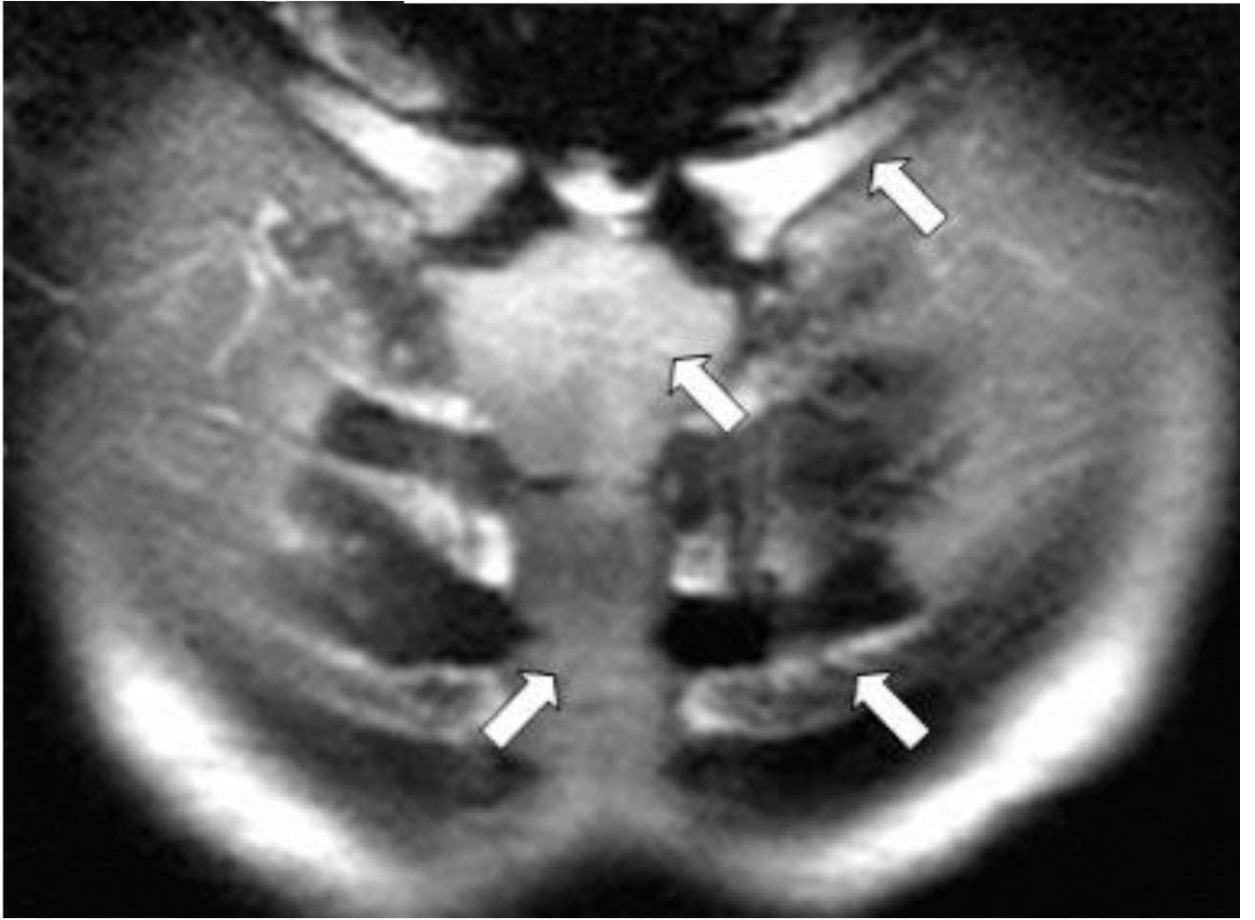
Задача 4. 1. Рассмотреть рентгенограммы. 2. Указать методику и область исследования. 3. Проекцию. 4. Определить обозначенные цифрами анатомические образования.



Задача 5. Рассмотреть рентгенограммы. Какой рентгенологический метод использован?



Задача 6. Укажите методику, анатомическую область, костные структуры, обозначенные стрелками.



## Практическое занятие №6

### ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА КОСТЕЙ И СУСТАВОВ

При заболеваниях костей изменяются следующие параметры:

- Изменение положения кости;
- Изменение формы (деформация) кости;
- Изменение размера кости;
- Изменение объема кости;
- Изменение структуры кости.

Заболевания костной ткани сопровождаются изменением костной структуры. К ним относят *остеопороз* (уменьшение количества костных балок), *остеосклероз* (увеличение количества костных балок), *деструкцию* (разрушение костных балок).

Часто при заболеваниях костей на рентгенограммах выявляется патологическая реакция надкостницы и мягких тканей. *Периостит* - реакция надкостницы на патологический процесс в кости) линейный. В зависимости от формы выделяют: линейный (отслоенный), бахромчатый (кружевной), козырьковый (козырек, треугольник Кодмена), спикулёзный (лучистый, игольчатый), слоистый («луковичный») периостит.

При рентгенологическом исследовании возможно обнаружить изменения в мягких тканях:

- увеличение объема мягких тканей;
- участки патологического обызвествления или костеобразования;
- воздух например, при межмышечной эмфиземе.

Достоверно изменения в мягких тканях выявляются только с помощью УЗИ и особенно МРТ.

*Остеомиелит* - гнойное воспаление костного мозга и всех элементов кости, вызванное заносом инфекции в кость из какого-либо очага инфекции (гематогенный остеомиелит) или возникшее в результате открытого повреждения (травматический или раневой остеомиелит). Остеомиелит может быть неспецифическим и специфическим (туберкулезный, сифилитический и др.). По

течению заболевания различают острый и хронический остеомиелиты.

*Гематогенный остеомиелит* - наиболее распространенная форма ост- сомиелитического процесса. Преимущественная локализация процесса - длинные трубчатые кости (до 85%). Обычно поражаются богатые хорошо васкуляризированные метадиафизарные отделы длинных трубчатых костей.

Достоверные рентгенологические симптомы появляются не ранее, чем через 10-14 дней с момента заболевания и проявляются появлением одного или нескольких очагов литической деструкции, которые имеют неправильно округлую или овальную формы, неровные очертания и нерезкие контуры.

В центре его может находиться секвестр, который представляет собой омертвевший костный фрагмент повышенной плотности и свободно лежащий в полости. Размеры и формы секвестра могут быть различными в зависимости от величины и локализации очага деструкции. Иногда секвестрируется значительная часть кости, иногда обнаруживаются очень мелкие секвестры. Тень секвестра всегда выглядит более интенсивной, чем окружающая костная ткань. Обязательно выявляются линейный, бахромчатый периостит.

В фазе ремиссии остеомиелита репаративные процессы преобладают над деструктивными, а разрушение и отторжение тканей прекращаются. Появляются дополнительные признаки, характеризующие это состояние. К ним относятся: 1) склеротическое отграничение еще существующих деструктивных очагов и склероз кости на месте уже исчезнувших очагов; 2) слияние периостальных наслоений с кортикальным слоем кости (ассимиляция пери- остальных наслоений); 3) склероз губчатого вещества и сужение костномозгового канала за счет избыточного восстановления костной ткани. Помимо этого в целом кость нередко становится утолщенной и деформированной. Гиперостоз.

При переходе процесса в хроническую форму с каждым новым обострением вновь образуются очаги деструкции, новые секвестры и появляется линейный периостит.

КТ позволяет выявить изменения костного мозга, разрушение костных балок, периостит и воспалительную инфильтрацию окружающих мягких тканей значительно раньше, чем



рентгенография, как в остром периоде болезни, так и при обострениях хронического процесса.

МРТ дает возможность выявить воспаление костного мозга (усиление МР-сигнала) до появления рентгенологических и компьютерно- томографических признаков этого процесса. Выявить ранние проявления остеомиелита, такие как отек и воспалительную инфильтрацию мягких тканей, отек, инфильтрацию надкостницы и поднадкостничные абсцессы.

*Туберкулез костей и суставов* - Выявляются поражение эпифиза и регионарное поражение сустава. Для туберкулезного поражения характерны деструкции, секвестры, разрушение замыкательных пластин суставных поверхностей, межсуставных хрящей, а также регионарный остеопороз.

Развивается заболевание чаще у детей и подростков. В начале клинические признаки не выражены, процесс развивается медленно. Туберкулезное поражение кости объясняется гематогенным распространением возбудителя. В костном мозге формируется туберкулезная гранулема, которая приводит к рассасыванию и разрушению костных балок (остит). Первичный очаг, как правило, локализуется в области эпифизов (метаэпифизов) длинных трубчатых костей или в телах позвонков. В дальнейшем в процесс могут вовлекаться суставы или межпозвоночные диски.

Рентгенография в начальном периоде (преартритическая стадия) - одиночный участок деструкции с неровными нечеткими контурами;

- постепенно формируется полость (каверна) с ободком незначительного склероза вокруг нее;
- в увеличивающейся каверне возникают губчатые секвестры и обызвествления;
- периостальная реакция отсутствует.
- разрушение суставных поверхностей;
- изменение (расширение, сужение, исчезновение) рентгеновской суставной щели;
- атрофия суставных концов костей, остеопороз;
- уплотнение окружающих мягких тканей;
- формирование гнойных натечников - «холодных абсцессов», распространяющихся по мягким тканям.

Постартритическая стадия:

- признаки вторичного артроза (неравномерное сужение рентгеновской суставной щели, краевые костные разрастания, уплотнение субхондральных отделов костей);
- вывихи (подвывихи);
- анкилоз при неблагоприятном течении.

РКТ. Все изменения при костно-суставном туберкулезе более четко и рано визуализируются при РКТ - формирование каверны, участки деструкции суставных концов костей, скопление экссудата в полости сустава, изменение околосуставных мягких тканей.

УЗИ - проводят для выявления выпота в суставе, оценки состояния периартикулярных тканей.

МРТ - помимо деструктивных изменений в костях позволяет выявить поражение оболочек сустава, выпот в полость сустава, поражение периартикулярных мягких тканей, наличие абсцессов и натечников.

*Опухоли.* По степени агрессивности различают доброкачественные и злокачественные опухоли. По характеру возникновения первичные и вторичные опухоли костей. Первичные опухоли развиваются из тканевых структур, участвующих в формировании кости. Это может быть костная, хрящевая, сосудистая, соединительная ткань.

Вторичные опухоли прорастают в костную ткань из окружающих тканей или развиваются в кости из метастатического очага. Вторичные опухоли всегда являются злокачественными.

Первичные опухоли могут быть как доброкачественными, так и злокачественными. Первичные опухоли в зависимости от ткани, из которой формируется опухоль, подразделяются: костные (остеома и остеогенная саркома), хрящевые (хондрома и хондросаркома), соединительнотканые (фиброма и фибросаркома) и т.д.

Доброкачественные опухоли рентгенологически обычно характеризуются локальной деформацией кости, увеличением объема кости с формированием симптома «вздутия». Опухоли медленно увеличиваются в размерах, имеют отчетливые границы между опухолевой и нормальной тканью. Четкая форма, структура и отсутствие изменений в соседней костной ткани, реакции

надкостницы и мягких тканей являются признаками доброкачественной опухоли.

Злокачественные опухоли характеризуются стремительным развитием процесса, наличием: костной деструкции, периоститов (игольчатого, ко- зырькового, слоистого), мягкотканого компонента.

Дополнительные дифференциально-диагностические критерии доброкачественных и злокачественных опухолей.

1. Локализация (для каждой опухоли типична определенная локализация).

2. Границы опухоли. Злокачественные опухоли имеют контуры без четкой границы, с распространением на переходную зону с нарушенной структурой кости. Доброкачественные опухоли, как правило, имеют четкие, ровные контуры.

3. Структура злокачественных опухолей беспорядочная, неоднородная; структура доброкачественных опухолей более упорядоченная.

4. Изменения окружающей костной ткани при злокачественных опухолях- мягкотканый компонент, очаги патологического костеобразования; доброкачественные новообразования, как правило, оттесняют окружающую ткань без ее изменения.

5. При злокачественных опухолях периостит - возникают спикулы, из-за разрушения надкостницы появляются периостальные козырьки. Периостальная реакция при доброкачественных опухолях отсутствует.

6. При злокачественных опухолях, как правило, происходят, разрушение поверхности кости и распространение опухоли на мягкие ткани.

*Остеома* - доброкачественная первичная опухоль скелета развивается из относительно зрелого *губчатого* или *компактного* вещества кости. В виде ограниченного образования на широкой ножке чаще всего располагается в компактном или губчатом веществе костей свода черепа, позвонков, челюстей.

Остеома, состоящая из компактной кости, без видимой границы переходит в компактное вещество материнской кости. Губчатая остеома состоит из костных балок разной степени зрелости, расположенных без учета функциональных требований. Компактная

остеома образуется из пластинчатой кости с хаотичным расположением остеонов.

*Хондрома* - доброкачественная опухоль, состоящая из эмбрионального гиалинового хряща. Встречается в виде солитарного узла в диафизарных отделах коротких трубчатых костей кистей и стоп, а также в ребрах, грудины, позвонках и костях таза и лопатки. Чаше развиваются *энхондромы* - солитарные опухоли, развивающиеся внутри кости.

Для хондромы характерен экспансивный рост. При этом компактное вещество материнской кости постепенно рассасывается, но одновременно по периферии опухоли формируется новая полоска компактного вещества и таким образом опухоль окружается новообразованной тканью и не выходит за пределы костной ткани.

*Остеохондрома* - хрящевая опухоль, в которой развиваются остеоидная ткань и костные структуры. Если превалирует не костная, а остеоидная ткань, опухоль называют *остеоидхондрмой*.

*Гемангиома* - доброкачественная опухоль кости сосудистого происхождения. Чаше всего локализуется в позвонках (одном или нескольких) и реже - в плоских и длинных трубчатых костях скелета. Опухоль возникает вследствие врожденного порока развития сосудов и в большинстве случаев протекает бессимптомно.

При рентгенологическом исследовании в теле пораженного позвонка определяются косо и вертикально направленные массивные трабекулы на фоне повышенной его прозрачности. Со временем позвонок теряет прочность, что приводит к возникновению компрессионного перелома. Межпозвоночные диски при этом зачастую не страдают.

Рентгенологическая картина при злокачественных опухолях кости существенно отличается от рентгенологической картины при доброкачественных новообразованиях. Ведущим ее признаком является деструкция кости. Интенсивно растущая опухоль вызывает появление в кости дефекта, который имеет чаше всего неправильную форму и неровные контуры. Кортикальный слой кости прерван, отмечается бурная реакция надкостницы либо в виде появления периостального "козырька", либо в виде игольчатого периостита. Последний представляет собой "спикулы" или иглы, радиарно отходящие от поверхности кости в толщу опухоли. Это результат

костеобразующей деятельности остеобластов, расположенных вокруг кровеносных сосудов надкостницы, оттесняемой опухолью от кости.

*Остеогенная саркома* — наиболее типичная злокачественная опухоль кости. Встречается чаще других злокачественных новообразований и развивается из элементов, участвующих в костеобразовании. Существуют склеротическая (остеобластическая) и остеолитическая (остеокластическая) и смешанная формы остеогенной саркомы.

*Саркома Юинга* - злокачественная опухоль неостеогенного происхождения неясной этиологии, чаще всего возникающая у детей и подростков. Опухоль преимущественно локализуется в длинных трубчатых костях, а именно, в верхней трети диафиза бедренной или большеберцовой костей. Плечевая кость и кости предплечья поражаются в основном в средней трети. Заболеванию нередко предшествует травма, после которой появляется усиливающаяся боль и деформация, увеличение в размере пораженной конечности.

*Дегенеративные заболевания* относятся к числу наиболее часто встречающихся поражений периферических суставов. Общепринятым термином для обозначения, данного патологического состояния является "*остеоарт-роз*", который представляет собой невоспалительную, локализованную дегенерацию гиалинового хряща. В противоположность ему "*остеоартрит*" - это поражение синовиальной оболочки (то есть синовит) с вторичным разрушением суставного хряща. У детей остеоартроз может наблюдаться как исход воспалительных процессов в суставах, остеохондропатии, врожденного вывиха бедра.

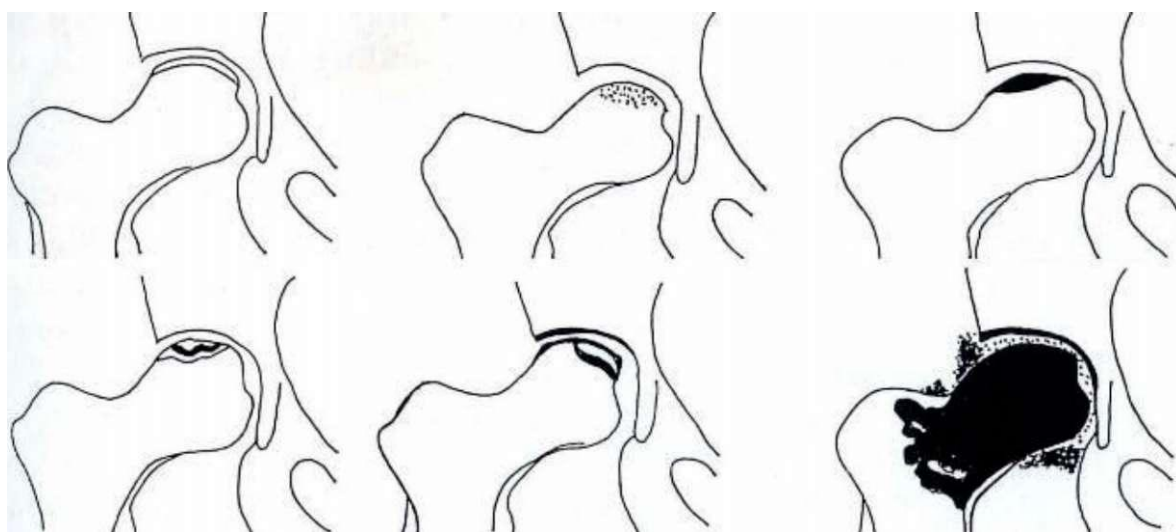
*Остеохондроз* - дистрофическое поражение межпозвоночных дисков, сопровождающееся вертеброгенным болевым синдромом.

*Рахит* - заболевание, в основе которого лежит дефицит витамина Д, поражаются дети до 2 лет. Отмечается остеопроз костей, расширение и уплощение метафизов. В тяжелых случаях характерная деформация черепа и грудной клетки.

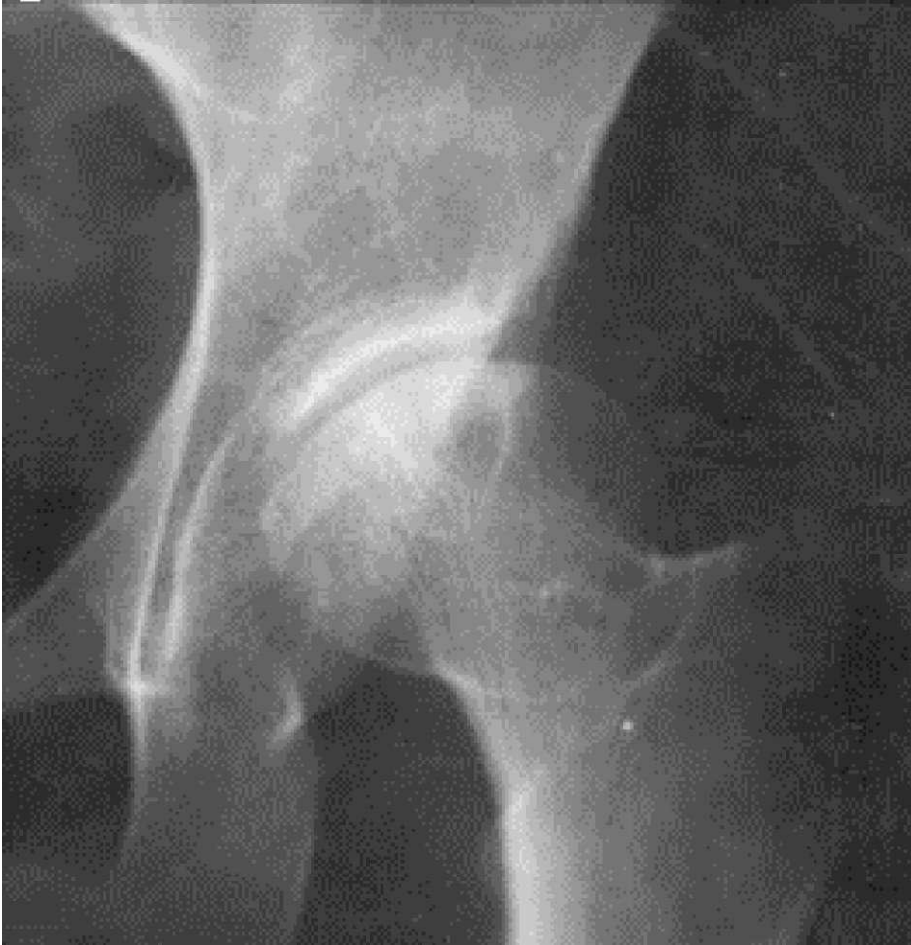
Задача. 1. Указать методику и область исследования. 2. Проекцию. 3. Выявить патологические изменения, охарактеризовать их. 4. Сформулировать заключение.



Задача 2. Стадии какого патологического процесса представлены на схеме:



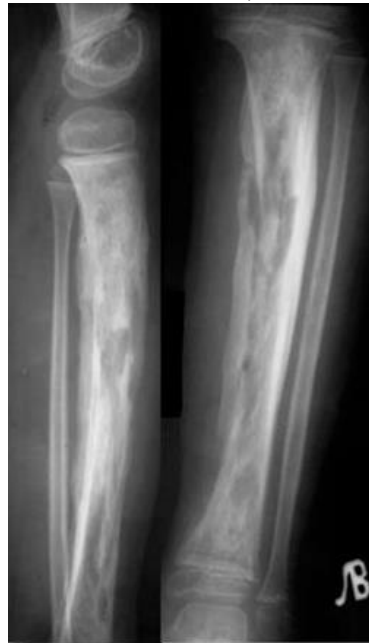
Задача 3. На рисунке даны результаты исследования пациента, наблюдавшегося по поводу болезни Легг-Кальве-Пертеса. Какая методика и область исследования представлены? Имеются ли изменения в настоящее время? Если да охарактеризовать их.



Задача 4. 1. Какая методика исследования и анатомические области представлены на рисунках? 2. Определить виды периостальных реакций. 3. Для какого патологического процесса они характерны?



Задача 5. Определить методику и область исследования. Найти и описать патологические изменения, если таковые имеются.

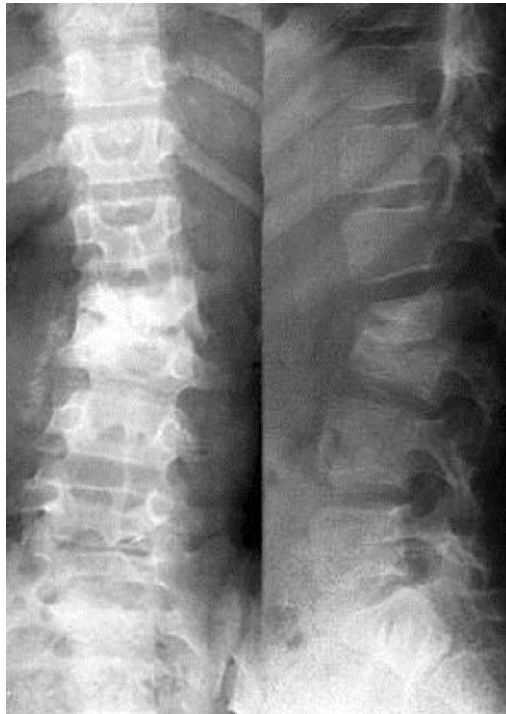


Задача 6. Определить методику и область исследования. Найти и описать патологические изменения, если таковые имеются.





Задача 7. Определить методику и область исследования. Найти и описать патологические изменения в позвонках, если таковые имеются.



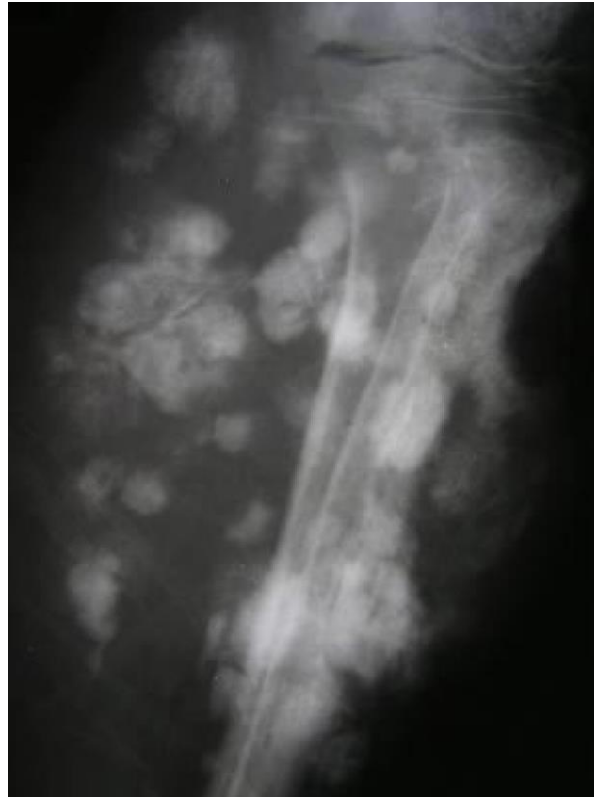
Задача 8. Определить методику и область исследования. Найти и описать патологические изменения, если таковые имеются.



Задача 9. Какая методика исследования и анатомические области представлены на рисунках? 3. Определить виды периостальных реакций. 4. Для какого патологического процесса они характерны?



Задача 10. Определить методику и область исследования. Найти и описать патологические изменения, если таковые имеются.



Задача 11. Определить методику и область исследования. Найти и описать патологические изменения, если таковые имеются, сформулировать заключение



## Практическое занятие №7

### **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУДНОЙ ПОЛОСТИ. НОРМАЛЬНАЯ РЕНТГЕНОАНАТОМИЯ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ У ДЕТЕЙ И ВЗРОСЛЫХ. ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ ЛЕГКИХ**

Методы исследования.

Обзорная рентгенография грудной клетки в прямой и боковой проекциях при вертикальном и горизонтальном положениях пациента позволяет выявить и локализовать патологический процесс. Рентгенография в атипичных проекциях (косые, в положении гиперлордоза, латеропозиции, в фазу форсированного вдоха или выдоха) - применяется для уточнения локализации (вне-, внутрилегочная) выявленных изменений, наличия жидкости в полости плевры и т. д.

Рентгеноскопия выполняется, по строгим показаниям после анализа обзорных рентгенограмм. Дает дополнительную информацию о топографии патологического процесса, функции диафрагмы, пульсации крупных сосудов. Может быть дополнена рентгенограммами в оптимальных проекциях.

Продольная томография проводится в случае невозможности выполнения РКТ. Позволяет уточнить характер патологического процесса (структура, контуры образования, состояние окружающих структур), проходимость трахеи, крупных бронхов, выявить увеличение внутригрудных лимфоузлов.

Рентгеновская компьютерная томография (РКТ) - является основным методом рентгенологического исследования заболеваний органов грудной полости. Обладает наибольшей информативностью в определении локализации патологических образований, оценке их структуры, плотности (кистозная, жировая, кальцинаты), распространенности процесса, выявлении образований

небольших размеров. РКТ с высокой разрешающей способностью позволяет получить изображение тонкой структуры легочной паренхимы.

Для визуализации сосудистых структур в средостении исследование дополняют внутривенным введением водорастворимого контрастирующего вещества. РКТ важна для определения глубины поражения перед выполнением игловой биопсии и планирования лучевой терапии.

Бронхография - метод контрастного исследования функционального и морфологического состояния бронхиального дерева. Показания - подозрение на бронхоэктазы, аномалии и пороки развития бронхолегочной системы. Может применяться для выявления послеоперационных осложнений (несостоятельность культи, бронхоэктазы), подтвердить достоверность культи бронха. В настоящее время использование метода ограничено вследствие широкого внедрения бронхоскопии и спиральной РКТ.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) - перспективный неинвазивный, несвязанный с ионизирующим излучением, метод исследования органов грудной полости. Преимущество МРТ - в возможности получения многоплоскостных изображений. Особенно информативна она при синдроме верхней полой вены, заболеваниях сосудов легких (пороки развития), при диагностике патологических образований средостения. Позволяет выявить инвазию грудной стенки, перикарда, сердца и сосудов, рецидив опухоли и фиброз после лучевого лечения.

Ультразвуковое исследование (УЗИ) - доступный, не связанный с ионизирующим излучением метод исследования. Применяется для диагностики свободной и осумкованной жидкости в полости плевры, перикарда с последующим дренированием под контролем ультразвука.

Ангиопульмонография - контрастный инвазивный метод визуализации сосудов легких. Показания: подозрение на эмболию легочной артерии, сосудистые аномалии или пороки развития.

Радионуклидное исследование - метод, связанный с введением в организм человека радионуклидных препаратов с последующей регистрацией их излучения и анализом их распределения и накопления в легких.

Рентгеноанатомия - деление легких на поля и зоны. Долевое строение легких. Особенности рентгенологического изображения костного остова грудной клетки, мягких тканей. Проекции основных анатомических структур бронхолегочной системы на рентгенограммах в прямой и боковой проекции.

Возрастные особенности рентгенологической картины легких.

Особенности рентгенологической картины органов грудной полости у детей до одного года:

- Костный скелет грудной клетки имеет черты, характерные для данного возрастного периода.
- Бифуркация трахеи находится на уровне III грудного позвонка.
- Корни легких располагаются на одном уровне.
- Срединная тень имеет относительно большие размеры.
- Широкая тень верхнего средостения обусловлена крупной вилочко-вой железой.
- Диафрагма - на уровне V-VI ребра, левый и правый купол - на одном уровне.
- Передний реберно-диафрагмальный синус в (боковой проекции) имеет тупой угол.
- Легочный рисунок представлен только артериями.
- Артерии незначительно суживаются к периферии.
- Имеется большое количество очаговоподобных теней, ортогогральных проекций сосудов.
- Бессосудистая плащевая зона может отсутствовать

Особенности легочного рисунка у детей в возрасте 4-5 лет:

- Сужение артерий к периферии хорошо выражено;
  - В средних и нижних отделах появляются вены;
  - Бессосудистая плащевая зона достигает 1-1.5 см;
  - Левый корень расположен выше правого на поперечнике одного ребра.
- К 7 летнему возрасту рентгенологическая картина органов грудной полости у ребенка ничем не отличается от таковой у взрослого человека.

Задача 1. Схема какого метода рентгенологического исследования представлена на схеме? Каковы ее преимущества?

Задача 2. Схема какого метода рентгенологического исследования представлена на схеме? Каковы ее преимущества?

Задача 3. В верхних отделах левого гемиторакса выявляется патологическое образование полусферической формы. Какая методика наиболее эффективна для его полной идентификации?

Задача 4. Найти границы и указать названия долей правого и левого легких.

Задача 5. Назвать методику и основные показания для ее проведения.

Задача 6. Назвать методику и основные показания для ее проведения.

Задача 7. Указать методику и основные показания для ее выполнения.

Задача 8. Найти и подписать на схеме прямой рентгенограммы грудной полости все анатомические элементы.

Задача 9. Укажите на рентгенограмме: Корень правого легкого. Корень левого легкого. Сердце. Передние отрезки ребер. Задние отрезки ребер. Диафрагму. Ключицу. Грудной отдел позвоночника. Лопатку.

Задача 10. Укажите правильно: Край лопатки. Заднюю поверхность правого легкого. Заднюю поверхность левого легкого. Тела позвонков. Задний отдел реберно-диафрагмального синуса. Передний отдел реберно-диафрагмального синуса. Трахею. Поперечное сечение правого верхнедолевого бронха Левый нижнедолевой бронх. Правый нижнедолевой бронх. Сосуды корня легкого. Нижнюю полую вену. Головку плечевой кости. Суставную впадину лопатки. Начало нисходящей части аорты. Рукоятку грудины.



## Практическое занятие №8

### **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕРДЦА И КРУПНЫХ СОСУДОВ. ОСОБЕННОСТИ ЛУЧЕВОГО ИЗУЧЕНИЯ СЕРДЦА И КРУПНЫХ СОСУДОВ У ДЕТЕЙ. ЛУЧЕВАЯ АНАТОМИЯ СЕРДЦА И КРУПНЫХ СОСУДОВ У ВЗРОСЛЫХ И ДЕТЕЙ**

Методы исследования.

1. Рентгенография грудной клетки в передней и левой боковой проекциях, которую предпочтительнее выполнять с контрастированием пищевода взвесью бария сульфата. Детям первого года жизни выполняется только задняя рентгенограмма грудной клетки при вертикальном положении. Анализ рентгенограмм позволяет дать комплексную оценку состояния сосудов малого круга кровообращения, формы и размеров сердца. Характеристика отдельных его полостей дается не в абсолютных величинах, а по косвенным признакам, исходя из учения о краеобразующих дугах. Кроме этого, существуют 2 дополнительные косые проекции (правая и левая), которые выполняются по индивидуальным показаниям.
2. Рентгеноскопия. В последнее время показания к ней строго ограничены. Она используется для обнаружения интракардиальных кальцификатов и выявления функциональных признаков.
3. Томография. Является дополнительным методом рентгенологического исследования. Она дает ценную информацию о состоянии сосудов малого круга кровообращения, грудного отдела аорты.
4. Эхокардиография - доступный, не связанный с ионизирующей радиацией, неинвазивный метод исследования. Двухмерная эхокардиография позволяет получить изображение сердца, отдельных его структур в реальном масштабе времени. Одномерная эхокардиография дает представление о движении различных структур сердца. Доплер-эхокардиография дает возможность оценить характер и скорость кровотока.

5. РКТ используется для уточнения локализации патологических образований (интракардиальных, паракардиальных), диагностики болезней перикарда, выявления аневризмы аорты любой локализации. РКТ со спиральным сканированием является эффективным методом для динамических исследований сердца.

6. МРТ позволяет отчетливо визуализировать все структуры сердца, оценивать сократимость сердца и функцию клапанов, определять характер изменений в миокарде.

7. Радионуклидное сканирование сердца представляет собой исследование, позволяющее получить информацию о функции левого желудочка, перфузии миокарда.

8. Ангиокардиография (АРКТ) является специальным инвазивным методом рентгенологического исследования и должна выполняться по строгим показаниям: для уточнения характера и оценки гемодинамических нарушений, для уточнения состояния коронарных артерий у больных с ишемической болезнью сердца, после инфаркта миокарда.

Основы рентгеноанатомии сердца.

Сердце орган, имеющий неправильную форму, напоминающую овал, крупные сосуды также по форме напоминают овал только расположенный над тенью сердца вертикально. Поэтому контуры сердца на рентгенограмме рассматривают в виде дуг

Правый контур сердечно-сосудистой тени состоит из двух дуг: верхняя дуга является контуром восходящей аорты (в некоторых случаях - верхней полой вены), а нижняя - контуром правого предсердия. Угол между этими двумя дугами называют правым атриовазальным углом.

Левый контур сердечно-сосудистой тени образован в прямой проекции четырьмя дугами. Верхняя (первая) дуга соответствует дуге аорты и началу ее нисходящей части. Вторая дуга, принадлежит основному стволу и левой ветви легочной артерии. Еще ниже короткая третья дуга ушка левого предсердия. Нижняя (четвертая) дуга образована левым желудочком. Угол между второй и третьей дугами левого контура называют левым атриовазальным углом.

Описанную форму сердца с четко выраженными дугами именуют обычной, или нормальной, формой. Она зависит от телосложения человека, положения его тела, глубины дыхания, но

нормальные соотношения между дугами сердца сохраняются. Показатели обычной формы сердца: 1) правый атриовазальный угол расположен посередине высоты сердечно-сосудистого силуэта, то есть верхняя и нижняя дуги приблизительно одинаковы по протяженности; 2) длина второй и третьей дуг левого контура одинакова и примерно равна 2 см; 3) край четвертой дуги слева (левого желудочка) находится на расстоянии 1,5-2 см кнутри от левой срединно-ключичной линии.

Возрастные особенности. Сердце здорового ребёнка в рентгеновском изображении.

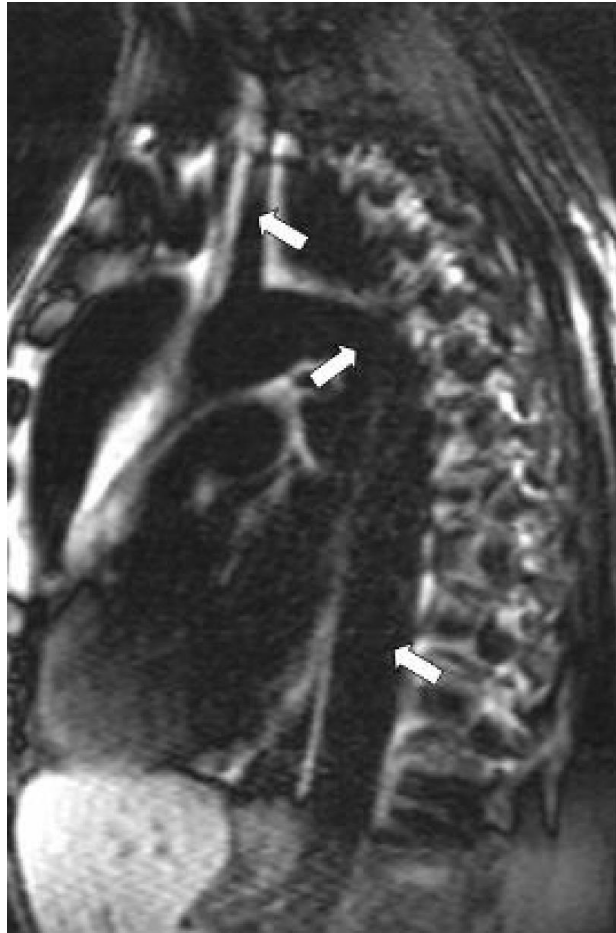
У новорожденного сердце:

- Расположено горизонтально, вследствие высокого расположения купола диафрагмы;
- *Расположено симметрично*, (у взрослого -1/3 справа и 2/3 слева);
- Величина сердца относительно большая по сравнению с поперечником грудной клетки;
- Конфигурация сердца - округлая, поперечник сердечной тени больше, чем её длинник.
- Границы сердца. После рождения левая граница выходит за левую среднеключичную линию. К 6 мес она располагается 2 см кнаружи от левой средне-ключичной линии. Правая граница со временем располагается по правой парастернальной линии. Верхняя граница опускается вниз до 2-го ребра к году.
- У новорожденных на рентгенограмме сердце образует справа две, слева три дуги (аорта, легочная артерия, левый желудочек).
- Талия сердца выражена из-за западения дуги левого предсердия и увеличения дуги левого желудочка.
- Сосудистый пучок - иногда справа видна тень верхней полой вены. Сосудистая тень часто прикрыта тенью увеличенной вилочковой железы.

Задача 1. Какая анатомическая область представлена на снимке. Как называется метод исследования? Можно ли его отнести к методам искусственного контрастирования?



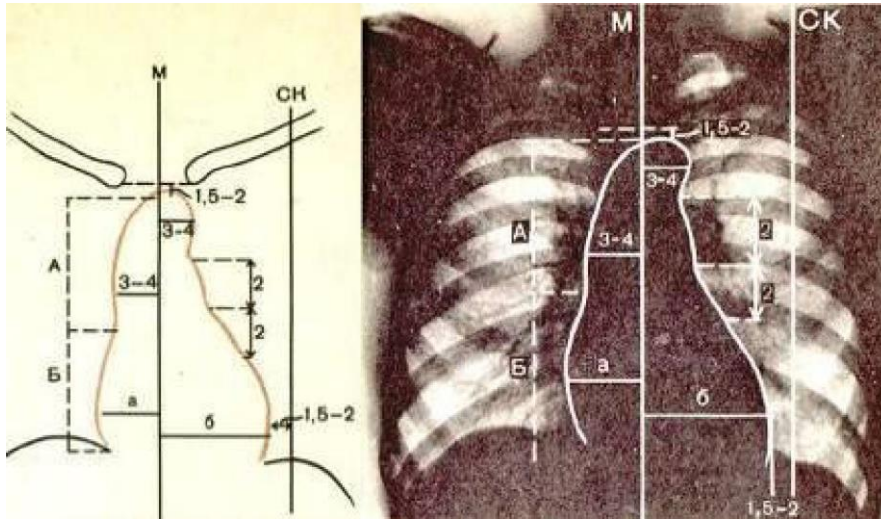
Задача 2. Какая анатомическая область представлена на снимке. Как называется метод исследования? Можно ли его отнести методам искусственного контрастирования? Указать анатомические образования, отмеченные стрелками.



Задача 3. На рисунке представлено рентгенологическое исследование с применением искусственного контрастирования. Как называется эта методика? Каковы показания к ее использованию?



Задача 4. Рассмотреть схему и рисунок. Найти и правильно подписать дуги сердечной тени.



## Практическое занятие №9

### ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНОВ ПИЩЕВАРЕНИЯ У ДЕТЕЙ И ВЗРОСЛЫХ

#### ПИЩЕВОД

Основные заболевания и подозрения на них: дисфункция, ахалазия, аномалии развития, дивертикулы, опухоли, воспалительные заболевания, варикозное расширение вен. Этапы исследования.

1. Прием внутрь до 200 мл взвеси бария сульфата. Полипозиционное просвечивание и рентгенография.
2. В необходимых случаях исследование выполняется в условиях искусственной гипотонии, с применением фармакологических препаратов (нитроглицерин, атропин).
3. При трудностях дифференциальной диагностики показаны: УЗИ с использованием специальных датчиков, РКТ, МРТ.

Подготовка к исследованию: накануне бесшлаковая диета, легкий ужин не позднее 19 ч, в день исследования запрещается есть, пить, принимать лекарства.

Неотложные состояния: перфорация пищевода и подозрение на нее, инородные тела пищевода, кровотечение и подозрение на него.

Этапы исследования.

1. Рентгенография грудной клетки, шейного отдела позвоночника и носоглотки в передней и боковой проекциях при вертикальном положении пациента.
2. Рентгеноскопия и рентгенография пищевода после приема водорастворимого контрастирующего вещества (урографин, верографин) или жидкой взвеси бария сульфата.
3. Эндоскопические методы исследования.

*Аномалии развития пищевода* - атрезии, пищеводно-трахеальные соустья, циркулярные или мембранные сужения пищевода, врожденный короткий пищевод с образованием грудного желудка и врожденные кисты пищевода.

Рентгенологическое исследование: равномерное сужение просвета пищевода, обычно в средней трети грудного отдела, с

незначительным супрастенотическим расширением; контуры сужения ровные, эластичность сохранена; при мембранозной форме треугольное втяжение расположено асимметрично. При атрезиях - слепо заканчивающийся пищевод. При пищеводно-трахеальных соустьях - проникновение бариевой взвеси в трахеобронхиальное дерево.

*Врожденный короткий пищевод* - Рентгенологическое исследование: пищевод имеет ровные, прямые контуры; пищеводно-желудочный переход и часть желудка расположены над диафрагмой, угол Гиса увеличен, в горизонтальном положении возникает рефлюкс.

*Дивертикулы* - выпячивание слизистой оболочки вместе с подслизистыми слоями или без них. В соответствии с расположением делятся на глоточно-пищеводные, бифуркационные, наддиафрагмальные. В зависимости от механизма возникновения различают пульсионные, тракционные и смешанные. Рентгенологическое исследование: пульсионный дивертикул имеет форму округлого мешка, связанного с пищеводом шейкой; тракционный дивертикул неправильной треугольной формы, шейка отсутствует, вход в дивертикул широкий.

Осложнение: дивертикулит, при котором в дивертикуле скапливаются жидкость, слизь, пища с симптомом трехслойности (барий, жидкость, газ).

*Кардиоспазм (ахалазия пищевод 1)* - Рентгенологическое исследование: на обзорной рентгенограмме груди - расширение тени средостения вправо; при контрастировании — относительно равномерное расширение пищевода на всем протяжении, конусовидное сужение абдоминального отдела пищевода, пища в пищеводе, нарушение сократительной функции пищевода, отсутствие газового пузыря желудка, утолщение складок слизистой оболочки пищевода.

*Эзофагит* - Рентгенологическое исследование: прохождение контрастной массы по пищеводу замедлено; складки слизистой оболочки неравномерно утолщены, в пищеводе - слизь; контуры пищевода мелковолнистые, зубчатые; имеются вторичные и третичные сокращения, спазмы.



*Ожоги пищевода* - Рентгенологическое исследование, в остром периоде применяются водорастворимые контрастные вещества. При этом на 5-6-й день после ожога определяются признаки язвенно-некротического эзофагита (утолщение и извитый ход складок слизистой оболочки, язвенные «ниши» различных размеров, слизь); На более поздних этапах в фазе формирования рубцовых изменений для рентгенологического исследования возможно применение бариевой взвеси. При развитии рубцовых осложнений выявляются стойкие сужения в виде «песочных часов» или узкой трубки; контуры сужения ровные, переход к непораженной части постепенный, без дефектов наполнения; выше сужения определяется супрастенотическое расширение.

*Внутрипросветные доброкачественные опухоли (полипы.)*  
Рентгенологическое исследование: округлой или овальной формы дефект наполнения с четкими контурами; если есть ножка, то возможно смещение опухоли; перистальтика на уровне опухоли не нарушена; крупная опухоль вызывает веретенообразное расширение пищевода, контрастная масса обтекает опухоль по сторонам; складки слизистой оболочки уплощены, сохранены; супрастенотическое расширение отсутствует.

### ЖЕЛУДОК И ДВЕНАДЦАТИПЕРСТНАЯ КИШКА

Основные заболевания и подозрения на них: дисфункции, хронический гастрит, грыжи пищеводного отверстия диафрагмы, аномалии развития, язвенная болезнь, инородные тела.

Этапы исследования.

1. Рентгенологическое исследование с применением контрастирующих веществ (бария сульфат и газ): традиционная методика, первичное двойное контрастирование, двухфазная методика, исследование микрорельефа слизистой оболочки. Выполнение рентгеноскопии и рентгенограмм.

2. УЗИ

3. РКТ для дифференциальной диагностики желудочной и внежелудочной локализации патологического образования, а также экстраорганного направления роста.

Противопоказания: перфоративная гастродуоденальная язва и подозрение на нее.

Подготовка к исследованию: накануне бесшлаковая диета, легкий ужин до 19 ч, в день исследования запрещается есть, пить, принимать лекарства.

*Нарушение секреции желудка* - Рентгеноскопия: присутствие жидкости натошак, увеличение ее количества в процессе исследования, избыточное количество слизи.

*Острый гастрит* - Рентгенологическое исследование: утолщение и нечеткость складок слизистой оболочки; нарушения моторной и эвакуаторной функций желудка. При эрозивном гастрите складки слизистой оболочки подушкообразны.

*Хронический гастрит* - Рентгенологическое исследование: утолщение и нечеткость складок слизистой оболочки со значительным нарушением функции желудка. При хроническом атрофическом гастрите слизистая оболочка истончена, складки сглажены, желудок гипотоничен. При полипоподобном (бородавчатом) гастрите определяются неравномерные бородавчатые возвышения различной формы на слизистой оболочке желудка.

*Язва желудка.* Рентгенологическое исследование выявляет прямые (морфологические) и косвенные (функциональные) признаки. Прямые рентгенологические признаки язвы желудка - это симптом «ниши» и рубцово-язвенная деформация. Ниша - рентгенологическое отображение язвенного дефекта в стенке Полого органа и краевого вала вокруг.

### ТОНКАЯ КИШКА

Основные заболевания и подозрения на них: хронический энтерит, болезнь Крона, туберкулез кишечника, дивертикулы, спайки, опухоли, функциональные нарушения.

Этапы исследования.

1. Рентгенологическое исследование после приема 200 мл взвеси бария сульфата (возможно с 20 г сорбит 1) через 1, 2, 3, 4 ч с выполнением рентгенограмм.

2. Зондовая энтерография в условиях искусственной гипотонии после парентерального введения 1 мл 0,1% раствора атропина.

Противопоказания: к зондовой энтерографии - глаукома, непереносимость атропина, аденома предстательной железы.

Подготовка к исследованию: за 12 ч до исследования запрещается есть, пить, принимать лекарства.

Неотложные состояния: непроходимость кишечника или подозрение на нее.

Этапы исследования.

1. Обзорная рентгенограмма брюшной полости в вертикальном или латеральном положении.

2. В необходимых случаях ирригоскопия или прием внутрь взвеси бария сульфата и наблюдение за ее пассажем по кишечнику.

*Энтерит* - Рентгенологическое исследование: выраженные функциональные нарушения в виде дискинезии и дистонии; отек складок слизистой оболочки (симптом «крапчатости»); газ и жидкость в просвете кишки, образующие горизонтальные уровни.

*Болезнь Крона* - Ирригоскопия - часто выявляется в терминальном отделе тонкой кишки в сочетании с поражением толстой кишки. Рентгенологическое исследование: при контрастировании кишечника через рот и с помощью контрастной клизмы основным рентгенологическим признаком является выраженное сужение кишки на ограниченном участке; остаточная эластичность кишки сохранена; контуры сужения зазубрены из-за язв; часто выявляются межкишечные и наружные свищи; слизистая оболочка, изменена по типу «брусчатки» или «булыжной мостовой»; переход от пораженного участка к здоровому постепенный. УЗИ проводится с целью выявления утолщения кишечной стенки (симптом «мишени»). КТ, МРТ: утолщение стенки кишки, сморщивание брыжейки и иногда увеличение лимфатических узлов. Используется для диагностики осложнений болезни Крона, в первую очередь абсцессов, свищей.

*Туберкулез кишечника* - Рентгенологическое исследование: выявляются инфильтративно-язвенные изменения терминального отдела тонкой кишки; слепая кишка спазмирована (симптом Штирлин1). Диагностику облегчает первичный очаг туберкулеза (обычно в легких). КТ, МРТ: утолщение кишечной стенки; туберкулезный асцит и гиперплазия лимфатических узлов.

## ТОЛСТАЯ КИШКА

Заболевания и подозрения на них: дисфункция кишки, воспалительные заболевания, неспецифический язвенный колит, дивертикулы, болезнь Гиршпрунга, аномалии развития.

Этапы и методы исследования.

1. Ирригоскопия. При необходимости исследование выполняется в условиях гипотонии (атропин). Дополняется методом досмотра. Противопоказания: перфорация кишки. Подготовка к исследованию (ирригоскопия): перед исследованием в течение 3 дней бесшлаковая диета; накануне исследования: около 12 ч прием слабительного, не ужинать, в течение дня принять дополнительно (сверх обычной нормы) жидкость (вода, чай, морс), около 20 ч очистительная клизма; в день исследования около 7 ч повторная очистительная клизма. Исследование проводится натощак.

2. Эндоскопические методы исследования.

3. УЗИ.

*Долихосигма* - Ирригоскопия: длинная, имеющая дополнительные петли сигмовидная кишка.

*Подвижная слепая кишка* - При рентгенологическом исследовании слепая кишка может определяться в проекции малого таза, на уровне прямой кишки, на уровне печени. Знание особенностей положения подвижной слепой кишки имеет значение для выявления атипичного аппендицита.

*Атрезии кишки, ануса* - аномалия развития, при рентгенологическом исследовании выявляется слепо заканчивающийся конец кишки, проксимальнее этого участка уровни жидкости, значительное расширение просвета кишки.

*Аганглиоз (болезнь Гиршпрунга)* - Ирригоскопия: резко расширенная и удлинённая толстая кишка, ректосигмоидный отдел сужен.

*Колит* - Ирригоскопия: выраженный отек складок слизистой оболочки, преимущественно в дистальных отделах кишки; ход складок изменен (продольный).

*Хронический неспецифический язвенный колит* - Рентгенологическое исследование: перестройка слизистой оболочки в виде утолщенных отечных псевдополипозных складок, сужение

просвета кишки, сглаженность или отсутствие гаустрации, снижение эластичности стенок.

Неотложные состояния при заболеваниях кишечника: перфорация кишки, кишечная непроходимость, в том числе и инвагинация

Инвагинация кишечника - разновидность кишечной непроходимости, развивается из-за внедрения одной части кишечника в просвет другой. Локализация-

1. тонко-толстокишечная, инвагинация в области илеоцекального угла.
2. тонко-тонкокишечная;
3. тонко-слепокишечная (илеоцекальная); 4. толсто-толстокишечная.

Этапы исследования.

1. Рентгенография грудной клетки и брюшной полости в вертикальном и латеральном положениях больного.
2. При необходимости (подозрение на кишечную непроходимость) - ирригоскопия, метод досмотра (пассаж взвеси бария сульфата).
3. Возможно использование РКТ.

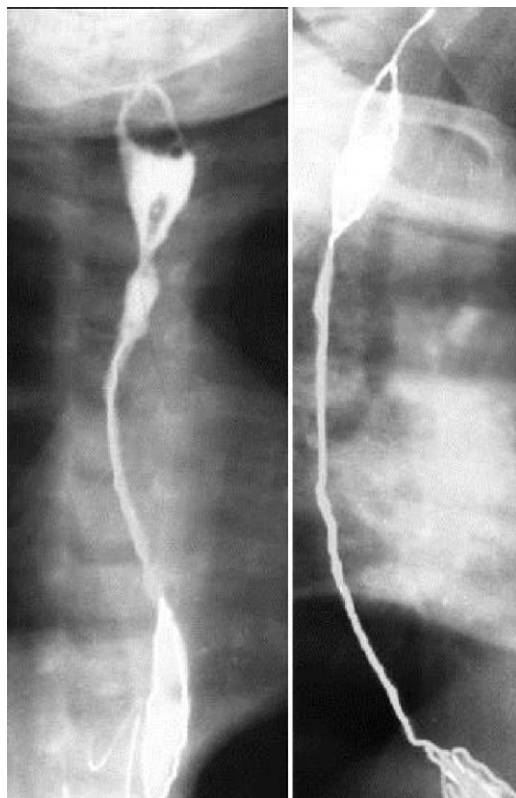
Задача 1. Тщательно изучите рисунок, определите методику, область, проекцию исследования опишите патологические изменения, если они имеются.



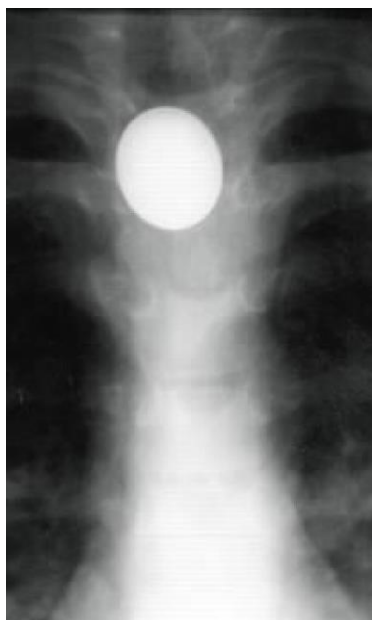
Задача 2. Рассмотрите рентгенограмму. Какой отдел желудочно-кишечного тракта представлена на снимке, какая фаза контрастирования представлена? Можно ли сразу поставить диагноз (если да, то сформулируйте его), или требуются какие-либо дополнительные исследования?



Задача 3. У ребенка в анамнезе химический ожог пищевода. Рассмотрите рентгенограмму пищевода в прямой и боковой проекции определите фазу контрастирования, опишите рентгеновскую картину свиделением ведущего синдрома.



Задача 4. Тщательно изучите рисунок, определите методику, область, проекцию исследования опишите патологические изменения, если они имеются.



Задача 5. Рассмотреть рисунок указать область исследования, фазу контрастирования, положение тела пациента во время исследования. Найти патологию. Может ли ее причиной быть аномалия развития?



Задача 6. На рисунке – рентгенологическое исследование толстой кишки с применением искусственного контрастирования. Назовите эту методику. Опишите рентгеновскую картину, сформулируйте заключение.





Задача 7. На рисунке представлено рентгенологическое исследование толстой кишки у шестилетнего мальчика – ирригоскопия, фаза тугого заполнения. Клиническая симптоматика складывается из проявлений метеоризма, упорного запора, периодической рвоты. Опишите рентгеновскую картину, сформулируйте заключение, сделав вывод о природе заболевания.



## **Практическое занятие №10**

### **Физические и биологические основы лучевых методов исследования**

Задача: изучение физических и биологических основ лучевых методов исследования.

Теоретическая часть:

Лучевая диагностика – наука о применении различного вида излучений, а также звуковых колебаний высокой частоты для изучения структуры и функции внутренних органов в норме и при патологии. Лучевая диагностика включает в себя рентгенодиагностику или рентгенологию (сюда относятся и рентгеновская компьютерная томография – РКТ), магнитно-резонансную томографию (МРТ), ультразвуковую диагностику (УЗД), радионуклидную диагностику, а также интервенционную радиологию.

Рентгенодиагностика (рентгенология) основана на применении рентгеновского излучения; в основе использования магнитно-резонансной томографии находятся электромагнитные волны радиочастотного диапазона и постоянное магнитное поле; ультразвуковая диагностика (сонография) – в основе – использование ультразвуковых волн. К методам лучевой диагностики относится также радионуклидная диагностика, основанная на принципе регистрации излучений от введенных в организм препаратов, содержащий определенный радионуклид (радиофармацевтических препаратов – РФП). К лучевым методам примыкает интервенционная радиология, которая включает в себя выполнение диагностических и лечебных манипуляций с использованием лучевых методов.

### **ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ**

Методы рентгенодиагностики получили наибольшее распространение среди всех лучевых методов и до настоящего времени занимают лидирующие позиции по количеству

исследований. Именно они по-прежнему являются основой для диагностики травматических повреждений и заболеваний скелета, болезней легких, пищеварительного тракта и др. Это связано с относительно небольшой стоимостью рентгеновских аппаратов, простотой, надежностью и уже давно сложившейся традиционной школой рентгенологии. Практически все специалисты в той или иной степени сталкиваются с необходимостью интерпретации рентгеновских снимков. Ультразвуковые, магнитно-резонансные и изотопные исследования развились до уровня полезных для медицинской практики методов диагностики в 70-80 годах XX ст., в то время как рентгеновское излучение было открыто и нашло применение в медицине еще в конце XIX века

Контрольные вопросы:

1. Что такое лучевая диагностика?
2. На чем основана рентгенодиагностика (рентгенология)?
3. Что включает в себя интервенционная радиология?
4. Что включает в себя лучевая диагностика?

## Практическое занятие №11

### Рентгеновский способ (физико-технические основы, методы, методики).

Задача: изучить рентгеновский способ компьютерной томографии.

#### Теоретическая часть

Рентгеноскопия и рентгенография являются основными методами рентгенологического исследования. Для изучения различных органов и тканей создан целый ряд специальных аппаратов и методов (рис. 1). Рентгенография по-прежнему очень широко используется в клинической практике. Рентгеноскопия применяется реже из-за относительно высокой лучевой нагрузки. К рентгеноскопии вынуждены прибегать там, где рентгенография или неионизирующие методы получения информации недостаточны. В связи с развитием КТ роль классической послойной томографии снизилась. Методика послойной томографии применяется при исследовании легких, почек и костей там, где отсутствуют кабинеты КТ.

Рентгеноскопия (греч. *scopeo* - рассматривать, наблюдать) - исследование, при котором рентгеновское изображение проецируется на флюоресцирующий экран (или систему цифровых детекторов). Метод позволяет проводить статическое, а также динамическое, функциональное изучение органов (например, рентгеноскопия желудка, экскурсия диафрагмы) и контролировать проведение интервенционных процедур (например, ангиографии, стентирования). В настоящее время при использовании цифровых систем изображения получают на экране компьютерных мониторов.

К основным недостаткам рентгеноскопии относятся относительно высокая лучевая нагрузка и трудности в дифференциации «тонких» изменений.

Рентгенография (греч *grapho* - писать, изображать) - исследование, при котором получают рентгеновское изображение объекта, фиксированное на пленке (прямая рентгенография) или на специальных цифровых устройствах (цифровая рентгенография).

Различные варианты рентгенографии (обзорная рентгенография, прицельная рентгенография, контактная рентгенография, контрастная рентгенография, маммография, урография, фистулография, артрография и пр.) используются с целью улучшения качества и увеличения количества получаемой диагностической информации в каждой конкретной клинической ситуации. Например, контактную рентгенографию используют при снимках зубов, а контрастную - для проведения экскреторной урографии.



**Рис. 1.** Современный рентгеновский аппарат

Методики рентгенографии и рентгеноскопии могут применяться при вертикальном или горизонтальном положении тела пациента на стационарных или палатных установках.

Традиционная рентгенография с использованием рентгенологической пленки или цифровая рентгенография остается одной из основных и широко применяемых методик исследования. Это связано с высокой экономичностью, простотой и информативностью получаемых диагностических изображений.

При фотографировании объекта с флюоресцирующего экрана на пленку (обычно небольшого размера - фотопленка специального формата) получают рентгеновские изображения, применяющиеся обычно для массовых обследований. Эта методика называется флюорографией. В настоящее время она постепенно выходит из употребления вследствие замены ее цифровой рентгенографией.

Недостатком любого вида рентгенологического исследования является его невысокая разрешающая способность при исследовании малоконтрастных тканей. Применявшаяся для этой цели ранее классическая томография не давала желаемого результата. Именно для преодоления этого недостатка и была создана КТ.

Контрольные вопросы:

1. Что такое рентгенография?
2. В каком положении тела пациента (вертикальном, горизонтальном) могут применяться методики рентгенографии и рентгеноскопии?
3. Что является основными методами рентгенологического исследования?
4. Что такое рентгеноскопия?

## **Практическое занятие №12**

### **Ультразвуковой способ томографических исследований (физико-технические основы, методы, методики).**

**Задача:** изучить ультразвуковой способ томографических исследований

**Теоретическая часть:**

Ультразвуковая диагностика (сонография, УЗИ) - метод лучевой диагностики, основанный на получении изображения внутренних органов с помощью ультразвуковых волн.

УЗИ широко используется в диагностике. За последние 50 лет метод стал одним из наиболее распространенных и важных, обеспечивающих быструю, точную и безопасную диагностику многих заболеваний.

Ультразвуком называют звуковые волны с частотой свыше 20 000 Гц. Это форма механической энергии, имеющей волновую природу. Ультразвуковые волны распространяются в биологических средах. Скорость распространения ультразвуковой волны в тканях постоянна и составляет 1540 м/сек. Изображение получается при анализе отраженного от границы двух сред сигнала (эхо-сигнала). В медицине наиболее часто используются частоты в диапазоне 2-10 МГц.

Ультразвук генерируется специальным датчиком с пьезоэлектрическим кристаллом. Короткие электрические импульсы создают механические колебания кристалла, в результате чего генерируется ультразвуковое излучение. Частота ультразвука определяется резонансной частотой кристалла. Отраженные сигналы записываются, анализируются и отображаются визуально на экране прибора, создавая изображения исследуемых структур. Таким образом, датчик работает последовательно как излучатель, а затем - как приемник ультразвуковых волн. Принцип работы ультразвуковой системы представлен на рис. 1.



**Рис. 1.** Принцип работы ультразвуковой системы

Чем больше акустическое сопротивление, тем больше отражение ультразвука. Воздух не проводит звуковые волны, поэтому для улучшения проникновения сигнала на границе воздух/кожа на датчик наносят специальный ультразвуковой гель. Это позволяет устранить прослойку воздуха между кожей пациента и датчиком. Сильные артефакты при исследовании могут возникнуть от структур, содержащих воздух или кальций (легочные поля, петли кишки, кости и кальцинаты). Например, при исследовании сердца последнее может быть практически полностью прикрыто тканями, отражающими или не проводящими ультразвук (легкие, кости). В этом случае исследование органа возможно только через небольшие области на

поверхности тела, где исследуемый орган контактирует с мягкими тканями. Такая область называется ультразвуковым «окном». При плохом ультразвуковом «окне» исследование может быть невозможно или малоинформативно.

Современные ультразвуковые аппараты - это сложные цифровые устройства. В них используются датчики, работающие в режиме реального времени. Изображения динамичны, на них можно наблюдать такие быстрые процессы, как дыхание, сокращения сердца, пульсацию сосудов, движение клапанов, перистальтику, движения плода. Положение датчика, подключаемого к



ультразвуковому прибору гибким кабелем, может изменяться в любой плоскости и под любым углом. Генерируемый в датчике аналоговый электрический сигнал оцифровывается, и создается цифровое изображение.

Очень важной при ультразвуковом исследовании является методика доплерографии. Допплер описал физический эффект, согласно которому частота звука, генерируемого движущимся объектом, изменяется при ее восприятии неподвижным приемником в зависимости от скорости, направления и характера движения. Метод доплерографии используют для измерения и визуализации скорости, направления и характера движения крови в сосудах и камерах сердца, а также движения любых других жидкостей.

При доплеровском исследовании кровеносных сосудов через исследуемую область проходит непрерывно-волновое или импульсное ультразвуковое излучение. При пересечении ультразвуковым лучом сосуда или камеры сердца ультразвук частично отражается эритроцитами. Так, например, частота отраженного эхо-сигнала от крови, движущейся в направлении датчика, будет выше, чем исходная частота волн, излучаемых датчиком. Наоборот, частота отраженного эхо-сигнала от крови, движущейся от датчика, будет ниже. Разница между частотой принятого эхо-сигнала и частотой генерируемого датчиком ультразвука называется доплеровским сдвигом. Этот частотный сдвиг пропорционален скорости кровотока. Ультразвуковой прибор автоматически преобразует доплеровский сдвиг в относительную скорость кровотока.

Исследования, объединяющие в себе двухмерное ультразвуковое исследование в масштабе реального времени и импульсную доплерографию, называют дуплексными. При дуплексном исследовании направление доплеровского луча накладывается на двухмерное изображение в В-режиме.

Современное развитие техники дуплексного исследования привело к появлению методики цветowego доплеровского картирования кровотока. В пределах контрольного объема окрашенный кровоток накладывается на двухмерное изображение. При этом кровь отображается цветом, а неподвижные ткани - в серой шкале. При движении крови к датчику используются красно-желтые цвета, при движении от датчика - сине-голубые. Такое цветное изображение не несет дополнительной информации, но дает хорошее визуальное представление о характере движения крови.

В большинстве случаев с целью проведения УЗИ достаточно использовать датчики для чрескожного исследования. Однако в части случаев необходимо приблизить датчик к объекту. Например, у крупных пациентов для исследования сердца применяются датчики, помещенные в пищевод (чреспищеводная эхокардиография), в других случаях для получения высококачественного изображения применяют внутривагинальные или внутривагинальные датчики. Во время операции прибегают к использованию операционных датчиков.

В последние годы все шире используется трехмерное УЗИ. Спектр ультразвуковых систем очень широк - есть портативные устройства, аппараты для интраоперационного УЗИ и УЗ-системы экспертного класса (рис. 2).

В современной клинической практике метод ультразвукового исследования (сонография) распространен исключительно широко. Это объясняется тем, что при применении метода отсутствует ионизирующее излучение, есть возможность проведения функциональных и нагрузочных тестов, метод информативен и относительно недорог, аппараты компактны и просты в использовании.



**Рис. 2.** Современный ультразвуковой аппарат

Однако метод сонографии имеет свои ограничения. К ним относятся высокая частота артефактов на изображении, небольшая глубина проникновения сигнала, малое поле обзора, высокая зависимость интерпретации результатов от оператора.

С развитием ультразвукового оборудования информативность этого метода повышается.

Контрольные вопросы:

1. Что такое ультразвуковая диагностика?
2. Звуковые волны с какой частотой называются ультразвуком?
3. Какие исследования называют дуплексными?
4. Что такое эхо-сигнал?

## Практическое занятие №13

### Радионуклидные способы томографических исследований

Задача: изучить радионуклидные способы томографических исследований

Теоретическая часть:

Радионуклидная диагностика или ядерная медицина - метод лучевой диагностики, основанный на регистрации излучения от введенных в организм искусственных радиоактивных веществ.

Для радионуклидной диагностики применяется широкий спектр меченых соединений (радиофармпрепаратов (РФП)) и способов их регистрации специальными сцинтилляционными датчиками. Энергия поглощенного ионизирующего излучения возбуждает в кристалле датчика вспышки видимого света, каждая из которых усиливается с помощью фотоумножителей и преобразуется в импульс тока.

Анализ мощности сигнала позволяет определить интенсивность и положение в пространстве каждой сцинтилляции. Эти данные используются для реконструкции двухмерного изображения распространения РФП. Изображение может быть представлено непосредственно на экране монитора, на фотоили мультимедийной пленке или записано на компьютерный носитель.

Выделяют несколько групп радиодиагностических приборов в зависимости от способа и типа регистрации излучений:

- радиометры - приборы для измерения радиоактивности всего тела;

- радиографы - приборы для регистрации динамики изменения радиоактивности;

- сканеры - системы для регистрации пространственного распределения РФП;

- гамма-камеры - приборы для статической и динамической регистрации объемного распределения радиоактивного индикатора.

В современных клиниках большинство приборов для радионуклидной диагностики составляют гамма-камеры различных типов.

Современные гамма-камеры представляют собой комплекс, состоящий из 1-2 систем детекторов большого диаметра, стола для позиционирования пациента и компьютерной системы для накопления и обработки изображений (рис. 1).

Следующим шагом в развитии радионуклидной диагностики стало создание ротационной гамма-камеры. С помощью этих приборов удалось применить методику послойного исследования распределения изотопов в организме - однофотонную эмиссионную компьютерную томографию (ОФЭКТ).



**Рис. 1.** Схема устройства гамма-камеры

Для ОФЭКТ используются ротационные гамма-камеры с одним, двумя или тремя детекторами. Механические системы томографов позволяют вращать детекторы вокруг тела пациента по разным орбитам.

Пространственное разрешение современных ОФЭКТ составляет порядка 5-8 мм. Вторым условием выполнения радиоизотопного исследования, помимо наличия специального оборудования, является использование специальных радиоактивных индикаторов - радиофармпрепаратов (РФП), которые вводятся в организм пациента.

Радиофармпрепарат - радиоактивное химическое соединение с известными фармакологическими и фармакокинетическими характеристиками. К РФП, применяемым в медицинской диагностике, предъявляются достаточно строгие требования: тропность к органам и тканям, легкость приготовления, короткий период полураспада, оптимальная энергия гамма-излучения (100-300 кЭв) и низкая радиотоксичность при относительно высоких допустимых дозах. Идеальный радиофармпрепарат должен поступать только в предназначенные для исследования органы или патологические очаги.

Понимание механизмов локализации РФП служит основой адекватной интерпретации радионуклидных исследований.

Использование современных радиоактивных изотопов в медицинской диагностической практике безопасно и безвредно. Количество активного вещества (изотопа) настолько мало, что при введении в организм это не вызывает физиологических эффектов или аллергических реакций. В ядерной медицине используются РФП, испускающие гамма-лучи. Источники альфа- (ядра гелия) и бета-частиц (электроны) в настоящее время не используются в диагностике из-за высокой степени поглощения тканями и высокой лучевой нагрузки.

Наиболее применяемым в клинической практике является изотоп технеций-99т (период полураспада - 6 ч). Этот

искусственный радионуклид получают непосредственно перед исследованием из специальных устройств (генераторов).

Радиодиагностическое изображение, независимо от его типа (статика или динамика, планарное или томографическое), всегда отражает специфическую функцию исследуемого органа. По сути, это отображение функционирующей ткани. Именно в функциональном аспекте заключается принципиальная отличительная особенность радионуклидной диагностики от других методов визуализации.

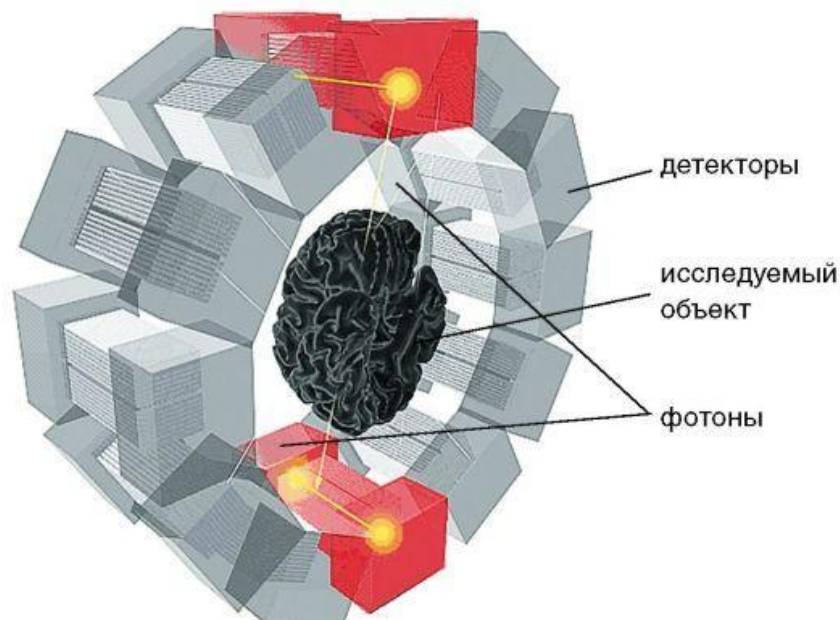
РФП вводят обычно внутривенно. Для исследований вентиляции легких препарат вводится ингаляционно.

Одной из новых томографических радиоизотопных методик в ядерной медицине является позитронная эмиссионная томография (ПЭТ).

Метод ПЭТ основан на свойстве некоторых короткоживущих радионуклидов при распаде испускать позитроны. Позитрон - частица, равная по массе электрону, но имеющая положительный заряд. Позитрон, пролетев в веществе 1-3 мм и потеряв в столкновениях с атомами полученную в момент образования кинетическую энергию, аннигилирует с образованием двух гамма-квантов (фотонов) с энергией 511 кэВ. Эти кванты разлетаются в противоположных направлениях. Таким образом, точка распада лежит на прямой - траектории двух аннигилированных фотонов. Два детектора, расположенные друг против друга, регистрируют совмещенные аннигиляционные фотоны (рис. 2).

ПЭТ позволяет проводить количественную оценку концентрации радионуклидов и обладает более широкими возможностями для изучения метаболических процессов, чем сцинтиграфия, выполняемая с помощью гамма-камер.

Для ПЭТ используются изотопы таких элементов, как углерод, кислород, азот, фтор. Меченные этими элементами РФП являются естественными метаболитами организма и включаются в обмен



**Рис. 2.** Схема устройства ПЭТ

веществ. В результате можно изучать процессы, происходящие на клеточном уровне. С этой точки зрения ПЭТ является единственной (кроме МР-спектроскопии) методикой для оценки метаболических и биохимических процессов *in vivo*.

Все позитронные радионуклиды, используемые в медицине, являются сверхкороткоживущими - период их полураспада исчисляется минутами или секундами. Исключение составляют фтор-18 и рубидий-82. В этой связи наиболее часто используется меченная фтором-18 деоксиглюкоза (фтордеоксиглюкоза - ФДГ).

Несмотря на то, что первые системы для ПЭТ появились еще в середине XX в., их клиническое применение тормозится из-за некоторых ограничений. Это технические сложности, возникающие при устройстве в клиниках ускорителей для производства короткоживущих изотопов, высокая их стоимость, трудность в трактовке результатов. Одно из ограничений - плохое



пространственное разрешение - было преодолено совмещением ПЭТ-системы с МСКТ, что, правда, еще больше удорожает систему (рис. 3). В этой связи ПЭТ-исследования проводятся по строгим показаниям, когда другие методы оказываются неэффективными.

Основными достоинствами радионуклидного метода являются высокая чувствительность к различным видам патологических процессов, возможность оценки метаболизма и жизнеспособности тканей.

К общим недостаткам радиоизотопных методов относят невысокое пространственное разрешение. Использование радиоактивных препаратов в медицинской практике связано с трудностями их транспортировки, хранения, фасовки и введения пациентам.



**Рис. 3.** Современная система ПЭТ-КТ

Устройство радиоизотопных лабораторий (особенно для ПЭТ) требует специальных помещений, охраны, сигнализации и других мер предосторожности.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите методы лучевой диагностики, в которых ионизирующее излучение не используется.
2. Что такое радиофармпрепарат?

3. Что такое радионуклидная диагностика (ядерная медицина)?

4. Сколько выделяют групп радиодиагностических приборов в зависимости от способа и типа регистрации излучений?

## Практическое занятие №14

### Магнитно-резонансный способ томографических исследований

Задача: изучить магнитно-резонансный способ томографических исследований

Теоретическая часть:

Магнитно-резонансная томография (МРТ) - метод лучевой диагностики, основанный на получении послойных и объемных изображений органов и тканей любой ориентации с помощью явления ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Первые работы по получению изображений с помощью ЯМР появились в 70-х гг. прошлого века. К настоящему времени этот метод медицинской визуализации неузнаваемо изменился и продолжает развиваться. Совершенствуются техническое и программное обеспечение, улучшаются методики получения изображений. Раньше область использования МРТ ограничивалась лишь изучением ЦНС. Сейчас метод с успехом применяется и в других областях медицины, включая исследования сосудов и сердца.

После включения ЯМР в число методов лучевой диагностики прилагательное «ядерный» перестали использовать, чтобы не вызывать у пациентов ассоциации с ядерным оружием или ядерной энергетикой. Поэтому в наши дни официально используется термин «магнитнорезонансная томография» (МРТ).

ЯМР - это физическое явление, основанное на свойствах некоторых атомных ядер, помещенных в магнитном поле, поглощать внешнюю энергию в радиочастотном (РЧ) диапазоне и излучать ее после прекращения воздействия радиочастотного импульса. Напряженность постоянного магнитного поля и частота радиочастотного импульса строго соответствуют друг другу.

Важными для использования при магнитно-резонансной томографии являются ядра  $^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{23}\text{Na}$  и  $^{31}\text{P}$ . Все они обладают магнитными свойствами, что отличает их от немагнитных

изотопов. Протоны водорода ( $^1\text{H}$ ) наиболее распространены в организме. Поэтому для МРТ используется именно сигнал от ядер водорода (протонов).

Ядра водорода можно представить как маленькие магниты (диполи), имеющие два полюса. Каждый протон вращается вокруг собственной оси и обладает небольшим магнитным моментом (вектором намагниченности). Вращающиеся магнитные моменты ядер называют спинами. Когда такие ядра помещают во внешнее магнитное поле, они могут поглощать электромагнитные волны определенных частот. Этот феномен зависит от типа ядер, напряженности магнитного поля, физического и химического окружения ядер. При этом поведение ядра можно сравнивать с вращающимся волчком. Под действием магнитного поля вращающееся ядро совершает сложное движение. Ядро вращается вокруг своей оси, а сама ось вращения совершает конусообразные круговые движения (прецессирует), отклоняясь от вертикального направления.

Во внешнем магнитном поле ядра могут находиться либо в стабильном энергетическом состоянии, либо в возбужденном состоянии. Разность энергий этих двух состояний настолько мала, что количество ядер на каждом из этих уровней почти идентично. Поэтому результирующий сигнал ЯМР, зависящий именно от различия населенностей этих двух уровней протонами, будет очень слабым. Чтобы обнаружить эту макроскопическую намагниченность, необходимо отклонить ее вектор от оси постоянного магнитного поля. Это достигается с помощью импульса внешнего радиочастотного (электромагнитного) излучения. При возвращении системы к равновесному состоянию излучается поглощенная энергия (МР-сигнал). Этот сигнал регистрируется и используется для построения МР-изображений.

Специальные (градиентные) катушки, расположенные внутри главного магнита, создают небольшие дополнительные магнитные поля таким образом, что сила поля линейно увеличивается в одном

направлении. Передавая радиочастотные импульсы с установленным заранее узким диапазоном частот, можно получать МР-сигналы только от выбранного слоя ткани. Ориентация градиентов магнитного поля и соответственно направление срезов могут быть легко заданы в любом направлении. Получаемые от каждого объемного элемента изображения (воксель) сигналы имеют свой, единственный, распознаваемый, код. Этим кодом являются частота и фаза сигнала. На основании этих данных можно строить двух- или трехмерные изображения.

Для получения сигнала магнитного резонанса используются комбинации радиочастотных импульсов различной длительности и формы. Сочетая различные импульсы, формируют так называемые импульсные последовательности, которые используются для получения изображений. К специальным импульсным последовательностям относятся МР-гидрография, МР-миелография, МР-холангиография и МР-ангиография.

Ткани с большими суммарными магнитными векторами будут индуцировать сильный сигнал (выглядят яркими), а ткани с малыми магнитными векторами - слабый сигнал (выглядят темными). Анатомические области с малым количеством протонов (например, воздух или компактная кость) индуцируют очень слабый МР-сигнал и, таким образом, всегда представляются на изображении темными. Вода и другие жидкости имеют сильный сигнал и на изображении выглядят яркими, причем различной интенсивности. Изображения мягких тканей также имеют различную интенсивность сигнала. Это обусловлено тем, что, помимо протонной плотности, характер интенсивности сигнала при МРТ определяется и другими параметрами. К ним относятся: время спин-решетчатой (продольной) релаксации ( $T_1$ ), спин-спиновой (поперечной) релаксации ( $T_2$ ), движение или диффузия исследуемой среды.

Время релаксации тканей -  $T_1$  и  $T_2$  - является константой. В МРТ используются понятия « $T_1$ -взвешенное изображение», « $T_2$ -взвешенное изображение», «протонно-взвешенное изображение»,

обозначающие, что различия между изображениями тканей преимущественно обусловлены преимущественным действием одного из этих факторов.

Регулируя параметры импульсных последовательностей, рентгенолаборант или врач могут влиять на контрастность изображений, не прибегая к помощи контрастных средств. Поэтому в МР-томографии существует значительно больше возможностей для изменения контраста на изображениях, чем при рентгенографии, КТ или УЗИ. Однако введение специальных контрастных веществ еще более может изменить контрастность между нормальными и патологическими тканями и улучшить качество визуализации.

Принципиальная схема устройства МР-системы и внешний вид прибора показаны на рис. 1 и 2.

Обычно МР-томографы классифицируются в зависимости от напряженности магнитного поля. Сила магнитного поля измеряется в теслах (Тл) или гауссах ( $1\text{Тл} = 10\,000\text{ гаусс}$ ). Сила магнитного поля Земли колеблется от 0,7 гаусса на полюсе до 0,3 гаусса на экваторе. Для клинической МР-томографии используются магниты с полями от 0,2 до 3 тесла. В настоящее время для диагностики чаще всего используются МР-системы с полем 1,5 и 3 Тл. Такие системы составляют до 70% мирового парка оборудования. Линеинной зависимости между силой поля и качеством изображений нет. Однако приборы с такой силой поля дают лучшее по качеству изображение и имеют большее количество программ, применяемых в клинической практике.

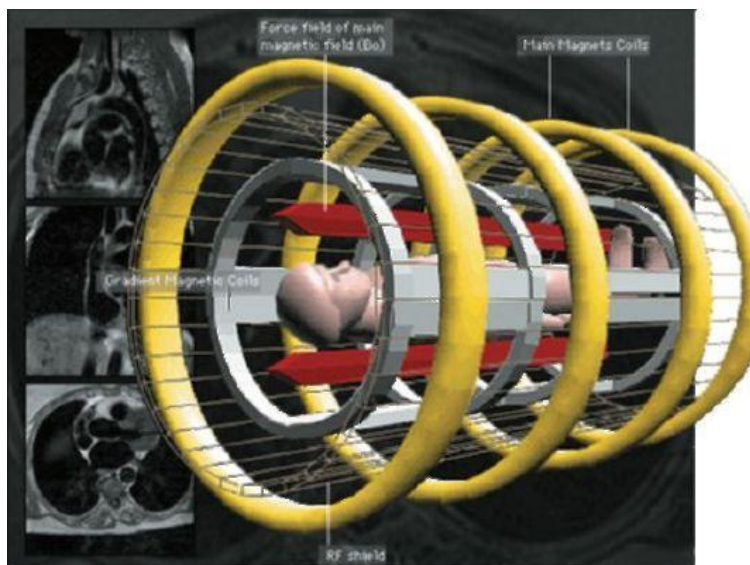


Рис. 1. Схема устройства МРТ



Рис. 2. Современная система МРТ с полем 1,5 тесла

Основной областью применения МРТ стал головной, а затем и спинной мозг. Томограммы головного мозга позволяют получить великолепное изображение всех структур мозга, не прибегая к дополнительному введению контраста. Благодаря технической возможности метода получать изображение во всех плоскостях, МР-томография произвела революцию в исследовании спинного мозга и межпозвонковых дисков.

В настоящее время МР-томография все шире используется для исследования суставов, органов малого таза, молочных желез, сердца и сосудов. Для этих целей разработаны дополнительные специальные катушки и математические методы построения изображения.

Специальная техника позволяет записать изображения сердца в разные фазы сердечного цикла. Если исследование проводится при

синхронизации с ЭКГ, то можно получить изображения функционирующего сердца. Такое исследование называется кино-МРТ.

Магнитно-резонансная спектроскопия (МРС) - это неинвазивный метод диагностики, который позволяет качественно и количественно определять химический состав органов и тканей, используя ядерный магнитный резонанс и феномен химического сдвига.

МР-спектроскопия чаще всего проводится с целью получения сигналов от ядер фосфора и водорода (протонов). Однако из-за технических трудностей и длительности проведения она все еще редко применяется в клинической практике. Не следует забывать, что все более широкое применение МРТ требует особого внимания к вопросам безопасности пациентов. При обследовании с помощью МР-спектроскопии пациент не подвергается действию ионизирующего излучения, однако на него действуют электромагнитные и радиочастотные излучения. Находящиеся в теле обследуемого человека металлические предметы (пули, осколки, крупные имплантаты) и все электронно-механические устройства (например, водитель сердечного ритма) могут повредить пациенту из-за смещения или нарушения (прекращения) нормальной работы.

Многие пациенты испытывают боязнь закрытых пространств - клаустрофобию, что приводит к невозможности выполнить исследование. Таким образом, все пациенты должны быть информированы о возможных нежелательных последствиях



исследования и о характере процедуры, а лечащие врачи и врачирентгенологи перед исследованием обязаны опрашивать пациента на предмет наличия указанных выше предметов, ранений и операций. Перед исследованием пациент должен полностью переодеться в специальный костюм для исключения попадания металлических вещей из карманов одежды внутрь канала магнита.

Важно знать относительные и абсолютные противопоказания к проведению исследования.

К абсолютным противопоказаниям к исследованию относят состояния, при которых его проведение создает угрожающую для жизни больного ситуацию. К такой категории относятся и все пациенты с наличием электронно-механических устройств в теле (кардиостимуляторов), и пациенты с наличием металлических клипс на артериях головного мозга. К относительным противопоказаниям к исследованию относятся состояния, которые могут создавать определенные опасности и трудности при проведении МРТ, но оно в большинстве случаев все-таки возможно. Такими противопоказаниями являются наличие кровоостанавливающих скобок, зажимов и клипс прочей локализации, декомпенсации сердечной недостаточности, первый триместр беременности, клаустрофобия и необходимость в физиологическом мониторинге. В таких случаях решение о возможности проведения МРТ решается в каждом индивидуальном случае исходя из соотношения величины возможного риска и ожидаемой пользы от выполнения исследования.

Большинство небольших металлических объектов (искусственные зубы, хирургический шовный материал, некоторые виды искусственных клапанов сердца, стенты) не являются противопоказанием к проведению исследования. Клаустрофобия является препятствием для проведения исследования в 1-4% случаев.

Как и другие методики лучевой диагностики, МРТ не лишена недостатков.

К существенным недостаткам МРТ относятся относительно длительное время исследования, невозможность точного выявления мелких камней и кальцинатов, сложность оборудования и его эксплуатации, специальные требования к установке приборов (защита от помех). С помощью МРТ трудно обследовать пациентов, нуждающихся в оборудовании, которое поддерживает их жизнедеятельность.

Контрольные вопросы:

1. Что такое магнитно-резонансная томография (МРТ)?
2. Что такое ядерный магнитный резонанс (ЯМР)?
3. Назовите недостатки МРТ.
4. Какие противопоказания для проведения МРТ существуют?

## Практическое занятие №15

### Тепловизионный способ томографических исследований (физико-технические основы, методы, методики).

Задача: изучить тепловизионный способ томографических исследований.

Теоретическая часть:

Методы и методики тепловизионного исследования:

Методы делятся на:

1. Контактные
2. Дистанционные (телетермография)

Дистанционные в свою очередь на:

1. радиометрию
2. Термографию
3. Термоскопию

По диапазону, на каком работает аппаратура:

1. Микронный
2. Миллиметровый
3. СВ-частотный

Телетермография основана на преобразовании инфракрасного излучения тела человека в электрический сигнал, который визуализируется на экране тепловизора.

Контактная холестерическая термография опирается на оптические свойства холестерических жидких кристаллов, которые проявляются изменением окраски в радужные цвета при нанесении их на термоизлучающие поверхности. Наиболее холодным участкам соответствует красный цвет, наиболее горячим—синий. Нанесенные на кожу композиции жидких кристаллов, обладающая термочувствительностью в пределах 0.001 С, реагируют на тепловой

поток путем перестройки молекулярной структуры. Падающий на кристаллы рассеянный дневной свет разделяется на две компоненты, у одной из которых электрический вектор поворачивается по часовой стрелке, а другой—против.

Котактная термография опирается на оптические свойства холестерических жидких кристаллов, которые проявляются изменением окраски в радужные цвета при нанесении их на термоизлучающие поверхности

Принципы получения изображения:

Кадр изображения формируется, как в телевидении, путем перемещения луча по горизонтали и вертикали. Получение поэлементарной развертки обеспечивают оптико-механическое сканирование. в результате на выходе преобразователя формируется видеосигнал. Основное усиление сигнала осуществляется линейным усилителем, выходные сигналы с которого поступают на сумматор, на другой вход сумматора подается серия пилообразных импульсов от блока формирования шкалы температур. Т.о. формируется видеосигнал, обеспечивающий получение основного изображения с яркостью отметкой, где наибольшая плотность потока излучения соответствует наиболее яркому свечению экрана (позитивное изображение). Изображение, получаемое тепловизором, может быть зафиксировано и обработано с помощью средств вычислительной техники.

Контрольные вопросы:

1. На какие группы делятся методы тепловизионного исследования?
2. На чем основана телетермография?
3. Как формируется кадр изображения?
4. Как осуществляется основное увеличение видеосигнала при получении изображения?

## Практическое занятие №16

### Компьютерные томографические исследования при заболеваниях костей и суставов

Задача: Знать диагностические возможности видов (способов), методов, методик лучевого исследования костей и суставов, нормальную возрастную рентгенанатомию костей и суставов. Знать рентгенологические симптомы поражения костей и суставов. Изучить схему анализа рентгенограмм костно-суставного аппарата.

Теоретическая часть:

Диагностические возможности специальных рентгенологических методов:

А) без применения контраста – томография ( позволяет на ранних этапах заболевания выявить структурные изменения, не видимые на обычных рентгенограммах; увидеть за выраженным остеосклерозом очаги деструкции; получить более отчетливые морфологические признаки патологии);

Б) с применением контраста ( водные – кардиотраст, сергози; масляные – подлинол, липоидин; газообразные – кислород. Закись азота, углекислый газ – (фистулография ) для определения направления свищевого хода, артрография (контрастируется полость сустава и завороты, при артропневмографии становятся видными сумка и мениски.

Рентгенанатомия костей и суставов (взрослых и детей)

Длинная трубчатая кость взрослых и детей различного возраста имеет диафиз, проксимальный и дистальный эпифиз и метафиз. Костно-мозговой канал диафиза, содержащий костный мозг ( не задерживает рентгеновских лучей) окаймлен стенками из компактной костной ткани, которая имеет вид полосообразной тени высокой интенсивности, однородной структуры с ровными четкими контурами. По направлению к метафизу кортикальный слой постепенно истончается и превращается на эпифизе в очень тонкую замыкательную пластинку. Снаружи кортикальный слой покрыт надкостницей, которая в норме на рентгенограмме не видна.

Метафизы – начинаются там, где не прослеживается костно-мозговой канал и появляется губчатое вещество. У детей и подростков метафизы отделены от эпифизов зоной росткового хряща, который выглядит как полоса просветления. У взрослых на месте росткового хряща – эпифизарный шов. Эпифиз состоит из губчатого вещества, его поверхность покрыта хрящом, компактная пластинка под ним – замыкательная или субхондральная.

Состояние губчатого вещества эпифизов и метафизов имеет на рентгенограмме трабекулярный, сетчатый рисунок с четкими ячейками разного размера. Апофизы, бугры, бугристости, шероховатости могут иметь свои точки окостенения, которые могут не сливаться с костью, что следует учитывать при диф.диагностике травматических повреждений. Чтобы избежать диагностических ошибок, следует обращаться к справочным руководствам о сроках появления точек окостенения и синостозирования эпифизов и апофизов.

Рентгенологические компоненты сустава: замыкательные пластины суставных концов и суставная щель. Состояние субхондральной пластины в норме – ровная, четкая, непрерывная, полосовидная тень. Замыкательная пластинка в норме всегда толще субхондральной пластины. Рентгенологически суставная щель - в виде полосы просветления той или иной формы и высоты, которая проекционно соответствует суставным хрящам, дискам, менискам, внутрисуставным связкам, а также истинной анатомической суставной щели. Важно помнить, что любое изменение рентгеновской суставной щели говорит о патологии суставного хряща.

Состояние мягких тканей в норме представлено однородной тенью значительно меньшей интенсивности чем кость. Важно помнить, что появление интенсивных теней, сопоставимых с костью, свидетельствует о патологии.

#### Рентгеносемиотика заболеваний костей и суставов

Изменение формы, величины, объема, контуров костей и суставов

Изменение структуры костей:

А) Изменение структуры костей – процессы, связанные с убылью костной ткани

Б) Изменение структуры костей – процессы, связанные с прибылью костной ткани

3. Изменение мягких тканей.

1. Изменение формы, величины, объема, контуров костей и суставов:

А) изменение формы (искривление) – Х-образное, спиралеобразное, дугообразное, угловое и другие.

Б) изменение длины – удлинение (возникает в период роста костей, когда имеется ростковой хрящ), укорочение (преждевременное синостозирование, травмы)

В) изменение объема: 1) утолщение – всегда связано с дополнительным костесозиданием на поверхности кости. Утолщение кости функционального характера называют гипертрофией. Утолщение кости патологического характера называют гиперостозом. Особый вид утолщения – вздутие. Формально при вздутии объем кости увеличен, но количество костной ткани не увеличено, а наоборот уменьшено за счет замещения костной ткани каким-либо патологическим образованием, расширяющим и вздувающим кость изнутри. Корковый слой кости истончается и смещается кнаружи, на уровне вздутия костная ткань разрежена; 2) истончении кости – атрофия – это уменьшение костного вещества с уменьшением объема кости, ее толщины. Различают концентрическую и эксцентрическую атрофию. Концентрическая атрофия – кость рассасывается со стороны периоста и создается со стороны костно-мозгового канала. В результате равномерно уменьшается поперечник всей кости и поперечник костно-мозгового канала. Эксцентрическая атрофия – кость рассасывается одновременно со стороны периоста и костно-мозгового канала. В результате поперечник всей кости уменьшается, а ширина костно-мозгового канала увеличивается. Эксцентрическая

атрофия сочетается с диффузным остеопорозом. Атрофию следует отличить от врожденного недоразвития костей – гипоплазии. При гипоплазии отсутствует динамика изменения кости.

Г) изменение контуров костей – могут быть нечеткими ( в фазе острого воспаления или злокачественных опухолях), неровными – (краевая деструкция или экзостоз – избыточное разрастание костной ткани на ограниченном участке, выступающее за пределы кости). Чаще всего изменение контуров кости связано с появлением различного рода периостальных наслоений. Периостальные наслоения – это ответная реакция надкостницы на какое-либо раздражение. Периостальные наслоения воспалительной природы называют периоститами; всякой другой – периостозами. Надкостница у детей более активна и обызвествление ее возникает раньше, чем у взрослых.

Виды периостальных наслоений:

Отслоенный линейный периостит – рентгенологически имеет вид дополнительной линейной тени на поверхности кости, отделенной от кортикального слоя светлым промежутком. Линейный периостит свидетельствует о начале воспалительного процесса. Со временем происходит ассимиляция оссифицированной надкостницы с костью, что ведет к утолщению коркового слоя.

Слоистый, луковичный периостит – несколько дополнительных теней – параллельно поверхности кости. Возникают при патологических процессах имеющих ремитирующее течение.

Бахромчатый периостит – на поверхности кости дополнительные тени причудливой формы, ориентированные вдоль длинника кости. Возникают при разрыве в отдельных местах надкостницы с последующим неравномерным обызвествлением.

Спикулообразный или игольчатый периостоз (как правило встречается при злокачественных новообразованиях) - на поверхности кости дополнительные линейные тени, ориентированные перпендикулярно поверхности кости.



Образование связывают с обызвествлением по ходу сосудов, выходящей за пределы кости опухоли.

Периостальные наслоения по типу «козырька» (патогномический признак злокачественных опухолей) – опухоль, прорастая корковый слой, отслаивает и приподнимает надкостницу. Рентгенологически проявляется дополнительной линейной тенью под углом к длиннику кости.

## 2. Изменение структуры костей:

А) Изменение структуры костей – процессы связанные с убылью костной ткани:

1. Деструкция - разрушение кости с замещением ее какой-либо патологической тканью (воспалительной, опухолевой, дегенеративно-дистрофической и другими тканями). Рентгенологически имеет вид очага, участка просветления, которому обязательно дается рентгеноморфологическая характеристика (локализация, форма, размеры, контуры, структура, состояние окружающих тканей). Только тщательный анализ особенностей рентгеновского изображения симптома деструкции позволяет установить его морфологическую сущность.

2. Остеопороз – уменьшение костного вещества на единицу объема кости, без изменения объема кости (если остеопороз не осложняется атрофией) с сохранением обычной структуры кости.

Рентгенологические признаки остеопороза:

А) разрежение костной структуры и уменьшение интенсивности кости

Б) истончение, разволокнение кортикального слоя кости

В) расширение костно-мозгового канала

Г) истончение костных балок трабекул, расширение межтрабекулярных пространств и как следствие этого появление крупнопетлистого рисунка губчатого вещества.

По степени распространения различают местный (вокруг очага), региональный (захватывает анатомическую область), распространенный (вся конечность), системный (весь скелет) остеопороз.

По этиологии различают функциональный (от бездеятельности), старческий и патологический остеопороз.

По рентгенологической картине различают очаговый (очаг округлой, овальной формы с нечеткими контурами) и диффузный остеопороз. Отличительным критерием деструкции от остеопороза является полное отсутствие балок, трабекул, ячеистого рисунка кости.

Остеолизис (остеолиз) – полное рассасывание кости без замещения ее, в отличие от деструкции, какой-либо патологической тканью. Остеолиз возникает в результате глубокого нарушения нейрогуморальных трофических процессов. Рентгенологически проявляется так же, как и деструкция, просветлением кости различной формы и величины. Характерной особенностью остеозиза является его локализация – остеолизу подвергаются самые периферические свободные участки скелета, ногтевые фаланги, суставные концы костей. Деструкция располагается в любом отделе кости и скелета. При остеолизе рассасывается вся кость: и корковый слой, и губчатое вещество, и субхондральная пластинка. Исчезнувшая при остеолизе кость никогда не восстанавливается.

Остеонекроз – омертвление участка кости вследствие нарушения питания или полного прекращения его. Некротизированные участки кости уплотняются, происходит как бы высушивание кости. Поэтому на снимках он дает более интенсивную тень. Различают асептические и септические некрозы.

Рентгенологические признаки остеонекроза:

А) повышенная интенсивность тени некротизированной кости

Б) омертвевшая кость отделена от здоровой от здоровой полосой просветления (следствие развития на границе соединительнотканной прослойки)

В) перерыв костных балок на границе уплотненного участка и полосы просветления

Г) остеопороз окружающей здоровой ткани.

Рентгенологически различить септический и асептический остеонекроз трудно. Отличительным критерием остеонекроза и остеосклероза является полоса просветления на границе здоровой и некротизированной кости. Исходом остеонекроза может быть: полное рассасывание, вживление, септический остеонекроз – некротизированный участок подвергается отторжению или секвестрации.

Секвестрация и секвестры. Это процесс отторжения омертвевшего участка кости. Секвестр – некротизированный костный фрагмент, находящийся в полости (секвестральная коробка), содержащий гной или грануляционную ткань. Рентгенологически имеет вид свободно расположенного костного фрагмента, окруженного со всех сторон полосой просветления. При повторных исследованиях секвестр изменяет свое положение. Тень секвестра интенсивнее окружающей его костной ткани. В зависимости от костной ткани, из которой происходит секвестр, их делят на губчатые и кортикальные.

В) изменение структуры костей – процессы связанные с прибылью костной ткани:

1. Остеосклероз – изменение костной структуры, противоположное остеопорозу, т.е увеличение костной ткани в единице объема кости без увеличения ее размера.

Рентгенологические признаки остеосклероза:

А) появление мелкопетливой, груботрабекулярной структуры губчатого вещества

Б) в выраженных случаях утрачивается балочное строение

В) утолщение изнутри кортикального слоя кости с неровным внутренним контуром

Г) сужение просвета костномозгового канала, иногда с полным закрытием его

Д) увеличение интенсивности кости.

По этиологии различают функциональный (в зонах роста на суставных впадинах) и патологический (воспалительный), посттравматический (реактивный) остеосклероз. По распространенности – местный, региональный, распространенный, системный. По рентгенологической картине – пятнистый и равномерный.

Эностоз – этим термином обозначают участки ограниченного склероза.

Гиперостоз – остеосклероз в сочетании с утолщением кости за счет периостального костесозидания, состояние, прямо противоположное атрофии.

Эбурниация (слоновость) – высшая степень остеосклероза. Вся кость состоит как бы из компактной костной ткани без признаков наличия костно-мозгового канала.

### 3. Изменения мягких тканей

1. Увеличение объема мягких тканей с одновременным увеличением интенсивности (воспалительные изменения, гематома, мягкотканый компонент опухолей костей)

2. Изменение структуры мягких тканей в виде дополнительных теней известковой плотности (непатогенного характера: обызвествление стенок сосудов, связок в местах прикрепления сухожилий, лимфатических узлов; патогенного характера: флеболиты, ангиолиты, оссифицирующий миозит и др.)

3. Наличие металлических инородных тел.

### 5. Схема анализа рентгенограмм костей и суставов

#### 1. Подготовительный этап

А) изучить анамнез, клиническую картину, ознакомиться с результатами предыдущих исследований

Б) определить укладку (обзорная, прицельная), метод исследования, объект исследования, проекцию, паспортные данные, регистрационный номер снимка

В) оценить качество рентгенограммы, полноту охвата, четкость или резкость, жесткость, структуру, контрастность.

Вывод: подготовительный этап выполнен достаточно, недостаточно. При недостаточном выполнении подготовительного этапа указать:

а) неполные данные анамнеза, клинической картины, результатов, предыдущих исследований, б) не полностью выполнена методика рентгенологического исследования (указать что не сделано), в) качество рентгенограммы: удовлетворительное, неудовлетворительное (что именно не удовлетворяет)

## 2. Отличие нормы от патологии

А) состояние мягких тканей: изменены или нет (структура, объем, газ, оссификация, известковые включения)

Б) положение (локализация) костей анатомической области: изменены, не изменены, указать какие именно

В) число количества костей анатомической области – увеличено, уменьшено

Г) форма костей – изменена или нет, указать что именно

Д) размеры костей а) длина костей – укорочена, удлинена, б) ширина – гипертрофия, вздутие, атрофия

Е) структура костей: а) убыль костной ткани – остеопороз, деструкция, остеолит, остеонекроз, б) прибывь костной ткани – остеосклероз, гиперостоз, эностоз, эбурниация

Ж) контуры костей – ровные, четкие, разрушенные, перерыв контура, наличие периостальных наслоений

З) смещаемость отделов костей (в случае переломов, переломовывихов)

И) субхондральные пластинки суставов – склерозированны, истончены, разрушены

К) суставная щель суставов – расширена, сужена

Вывод: изменений костей и суставов данной области не выявлено. Выявлена патология костей и суставов данной области – перечислить обнаруженные элементы патологии (состояние мягких тканей, положение, число, форма, размеры, структура, контуры, смещаемость, состояние субхондральных пластинок и суставной щели)

3. Определение группы заболеваний или симптома заболевания.

Характеризуя при описании выявленную патологию костей и суставов, необходимо руководствоваться определенной последовательностью анализа рентгеноморфологических симптомов патологии.

За основу берется один из ведущих рентгеноморфологический симптом «изменение структуры кости» а) убыль – прирост костной ткани, б) изменение формы, величины, контуров, в) изменения в мягких тканях, г) другие определяющие суть отдельных групп заболеваний. Другие обнаруженные рентгеноморфологические симптомы поражения костей и суставов описываются в разделе «состояние окружающих тканей»

А) Положение (локализация) – отдел кости (эпифиз, метафиз, диафиз), центрально, медиально, латерально.

Б) Число (количество) – указать количество.

В) Форма – округлая, овальная и др.

Г) Размеры – указываются в сантиметрах или отдел кости.

Д) Интенсивность – оценка прироста, убыли (высокая, средняя).

Е) Рисунок (структура) – гомогенная, гетерогенная, ячеистая, многокамерная.

Ж) Контуры – ровные, четкие.

3) Смещаемость – определяется для переломов.

И) Состояние окружающих тканей – изменены или нет, а) рентгеноморфологические признаки имеющие отношение к анализируемому признаку симптома патологии, б) рентгеноморфологические признаки имеющие не отношение к анализируемому признаку симптома патологии, имеющих значение для рентгенологического заключения.

Вывод: группа заболеваний – травматические, воспалительные, дегенеративно-дистрофические, доброкачественные или злокачественные опухоли и др.

#### 4. Дифференциальная диагностика.

Зная заболевания, входящие в группу заболеваний костей и суставов по одинаковым различающимся рентгеноморфологическим признакам проводит их диф. диагностику. Построив дифференциальный ряд рентгеноморфологических признаков устанавливаем нозологическую форму заболевания.

Заключение:

Устанавливаем основную и сопутствующую нозологическую форму заболевания, их локализацию, осложнения, остаточные явления или диагностический ряд.

Рекомендации

Практическая проверка и уточнение рентгеноморфологических симптомов патологии, нозологических форм заболевания с помощью дополнительных исследований, наблюдения в динамике

А) лучевые методы (рентгенологические, УЗИ, ЯМР и др.)

Б) не лучевые (лабораторные, гистологические, инструментальные)

Контрольные вопросы:

1. Назовите диагностические возможности специальных рентгенологических методов.

2. Что такое остеосклероз?
3. Назовите рентгенологические признаки остеосклероза?
4. Что такое эбурниация (слоновость)?
5. Назовите виды периостальных наслоений.



## Практическое занятие №17

Компьютерные томографические исследования легких, сердца и крупных сосудов (лучевая анатомия, семиотика). Схема анализа, протокол рентгеновского исследования

Задача: изучить компьютерные и томографические исследования легких, сердца и крупных сосудов.

Теоретическая часть:

Лучевое исследование сердца и крупных сосудов включает:

1) неинвазивные методы (рентгеноскопия и рентгенография, УЗИ, КТ, МРТ) и 2) инвазивные методы (ангиокардиография, вентрикулография, коронарография, аортография и др.).

Радионуклидные методы позволяют судить о гемодинамике. Следовательно, сегодня лучевая диагностика в кардиологии переживает свою зрелость.

Рентгенологическое исследование сердца и магистральных сосудов.

Значение метода. Рентгенологическое исследование является частью общего клинического исследования больного. Цель установить диагноз и характер гемодинамических нарушений (от этого зависит выбор метода лечения - консервативного, оперативного). В связи с применением УРИ в сочетании с катетеризацией сердца и ангиографией открылись широкие перспективы в изучении нарушений кровообращения.

Методики исследования

1) Рентгеноскопия - методика, с которой начинается исследование. Она позволяет составить представление о морфологии и дать функциональную характеристику тени сердца в целом и отдельных ее полостей, а также крупных сосудов.

2) Рентгенография объективизирует морфологические данные, полученные при рентгеноскопии. Ее стандартные проекции:

а) передняя прямая

б) правая передняя косая (45°)

в) левая передняя косая (45°)

г) левая боковая

Признаки косых проекций:

1) Правая косая - треугольная форма сердца, газовый пузырь желудка спереди, по заднему контуру сверху располагается восходящая аорта, левое предсердие, внизу - правое предсердие; по переднему контуру сверху определяется аорта, затем идет конус легочной артерии и, нищ - дуга левого желудочка.

2) Левая косая - форма овальная, желудочный пузырь сзади, между позвоночником и сердцем, хорошо видна бифуркация трахеи и определяются все отделы грудной аорты. Все камеры сердца выходят на контур - сверху предсердия, внизу желудочки.

3) Исследование сердца с контрастированным пищеводом (пищевод в норме располагается вертикально и на значительном протяжении прилежит к дуге левого предсердия, что позволяет ориентироваться о его состоянии). При увеличении левого предсердия наблюдается оттеснение пищевода по дуге большого или малого радиуса.

4) Томография - уточняет морфологические особенности сердца и крупных сосудов.

5) Рентгенокимография, электрокимография - методы функционального исследования сократительной способности миокарда.

6) Рентгенокинематография - кино съемка работы сердца.

7) Катетеризация полостей сердца (определение насыщения крови кислородом, измерение давления, определение минутного и ударного объема сердца).

8) Ангиокардиография с большей точностью определяет анатомические и гемодинамические нарушения при пороках сердца (особенно врожденных).

## 2. Лучевая анатомия сердца

Сердце- орган сложной формы. На рентгенограммах, при рентгеноскопии и на компьютерных томограммах получается лишь плоскостное двухмерное изображение его. Для того чтобы получить представление о сердце как объемном образовании, при рентгеноскопии прибегают к постоянным поворотам пациента за экраном, а при КТ выполняют 8-10 срезов и более. Их совокупность и дает возможность реконструировать трехмерное изображение объекта. Здесь уместно отметить два вновь возникших обстоятельства, которые изменили традиционный подход к рентгенологическому исследованию сердца.

Во-первых, с развитием ультразвукового метода, обладающего великолепными возможностями анализировать функцию сердца, потребность в рентгеноскопии как методе исследования деятельности сердца практически отпала. Во-вторых, в настоящее время созданы ультразвуковые компьютерные рентгеновские и магнитно-резонансные томографы, позволяющие проводить трехмерную реконструкцию сердца. Аналогичными, но менее «продвинутыми» возможностями обладают некоторые новые модели ультразвуковых сканеров и аппаратов для эмиссионной томографии. В результате этого врач имеет реальную, а не мнимую, как при рентгеноскопии, возможность судить о сердце как о трехмерном объекте исследования.

основной проекцией рентгенографии сердца является одна - прямая передняя, при которой обследуемый прилегает к кассете грудью. Для того чтобы избежать проекционного увеличения сердца, его съемку выполняют при большом расстоянии трубка-кассета (телерентгенография). При этом для увеличения резкости изображения время рентгенографии предельно уменьшают - до нескольких миллисекунд. Однако для того чтобы получить представление о рентгенологической анатомии сердца и магистральных сосудов, необходим многопроекционный анализ изображения этих органов.

На рентгенограмме в прямой проекции сердце дает однородную интенсивную тень, располагающуюся посередине, но

несколько асимметрично: примерно  $1/3$  сердца проецируется правее срединной линии тела, а  $V_i$  - левее этой линии. Контур тени сердца иногда выступает на 2-3 см вправо от правого контура позвоночника, контур верхушки сердца слева не доходит до срединно-ключичной линии. В целом тень сердца напоминает косо расположенный овал. У лиц гиперстенической конституции он занимает более горизонтальное положение, а у астеников - более вертикальное. Краниально изображение сердца переходит в тень средостения, которая на этом уровне представлена в основном крупными сосудами - аортой, верхней полой веной и легочной артерией. Между контурами сосудистого пучка и сердечным овалом образуются так называемые сердечно-сосудистые углы - выемки, которые создают талию сердца. Внизу изображение сердца сливается с тенью брюшных органов. Углы между контурами сердца и диафрагмы называют сердечно-диафрагмальными.

контуры сердечной тени, в норме ровные и четкие, имеют форму дуг. Каждая дуга представляет собой отображение выходящей на контур поверхности того или иного отдела сердца.

Все дуги сердца и сосудов отличаются гармоничной закругленностью. Выпрямленность дуги или какого-либо ее участка свидетельствует о патологических изменениях в стенке сердца или прилежащих тканях.

Форма и положение сердца у человека переменны. Они обусловлены конституциональными особенностями пациента, положением его во время исследования, фазой дыхания. Был период, когда очень увлекались измерениями сердца на рентгенограммах. В настоящее время обычно ограничиваются определением сердечно-легочного коэффициента - отношения поперечника сердца к поперечнику грудной клетки, которое в норме у взрослых колеблется в пределах от 0,4 до 0,5 (у гиперстеников больше, у астеников меньше). Основным же методом, определяющим параметры сердца, является ультразвуковой. С его помощью точно измеряют не только размеры сердечных камер и сосудов, но и толщину их стенок. Измерить камеры сердца, причем в различные фазы сердечного цикла, можно также посредством

синхронизированной с электрокардиографией компьютерной томографии, дигитальной вентрикулографии или сцинтиграфии.

У здоровых людей тень сердца на рентгенограмме однородна. При патологии могут обнаруживаться отложения извести в клапанах и фиброзных кольцах клапанных отверстий, стенках коронарных сосудов и аорты, перикарде. В последние годы появилось немало больных с имплантированными клапанами и водителями ритма сердца. Отметим, что все эти плотные включения, как естественные, так и искусственные, наглядно выявляются при сонографии и компьютерной томографии.

Компьютерную томографию производят при горизонтальном положении пациента. Основной срез сканирования выбирают таким образом, чтобы его плоскость проходила через центр митрального клапана и верхушку сердца. На томограмме этого слоя вырисовываются оба предсердия, оба желудочка, межпредсердная и межжелудочковая перегородки. На этом же срезе дифференцируются венечная борозда, место прикрепления сосочковой мышцы и нисходящая аорта. Последующие срезы выделяют как в краниальном, так и в каудальном направлении. Включение томографа синхронизировано с записью ЭКГ. Для того чтобы получить четкое изображение полостей сердца, томограммы выполняют после быстрого автоматического введения контрастного вещества. На полученных томограммах выбирают два изображения, сделанных в конечные фазы сокращения сердца - систолическую и диастолическую. Сопоставив их на экране дисплея, можно рассчитать регионарную сократительную функцию миокарда.

Новые перспективы в изучении морфологии сердца открыла МРТ, особенно выполняемая на последних моделях аппаратов - ультраскоростных. При этом можно наблюдать сокращения сердца в реальном времени, производить съемку в заданные фазы сердечного цикла и, естественно, получать параметры функции сердца.

Ультразвуковое сканирование в разных плоскостях и при различном положении датчика позволяет получить на дисплее изображение структур сердца: желудочков и предсердий, клапанов,

папиллярных мышц, хорд; кроме того, удается выявить и дополнительные патологические внутрисердечные образования. Как уже отмечалось, важным достоинством сонографии является возможность оценить с ее помощью все параметры сердечных структур.

Допплерэхокардиография позволяет регистрировать направление и скорость движения крови в полостях сердца, выявлять участки турбулентных завихрений на месте возникающих преград нормальному кровотоку.

Инвазивные методики исследования сердца и сосудов связаны с искусственным контрастированием их полостей. Эти методики применяют как для изучения морфологии сердца, так и для исследования центральной гемодинамики. При ангиокардиографии 20-40 мл рентгено-контрастного вещества вводят с помощью автоматического шприца через сосудистый катетер в одну из полых вен или в правое предсердие. Уже во время введения контрастного вещества начинают видеосъемку на кинопленку или магнитный носитель. За все время исследования, которое продолжается 5 - 7 с, контрастное вещество последовательно заполняет правые отделы сердца, систему легочной артерии и легочные вены, левые отделы сердца и аорту. Однако из-за разбавления контрастного вещества в легких изображение левых отделов сердца и аорты оказывается нечетким, поэтому ангиокардиографию используют преимущественно для изучения правых отделов сердца и малого круга кровообращения. С ее помощью удается выявить патологическое сообщение (шунт) между камерами сердца, аномалию сосудов, приобретенное или врожденное препятствие на пути кровотока.

Для детального анализа состояния желудочков сердца контрастное вещество вводят непосредственно в них. Исследование левого желудочка сердца (левая вентрикулография) производят в правой косой передней проекции под углом 30°. Контрастное вещество в количестве 40 мл вливают автоматически со скоростью 20 мл/с. Во время введения контрастного вещества начинают выполнять серию кинокадров. Съемку продолжают спустя некоторое время после окончания введения контрастного вещества,

вплоть до полного его вымывания из полости желудочка. Из серии кадров выбирают два, сделанные в конечно-систолическую и конечно-диастолическую фазы сокращения сердца. Сопоставив эти кадры, определяют не только морфологию желудочка, но и сократительную способность сердечной мышцы. Таким методом можно выявить как диффузные нарушения функции сердечной мышцы, например при кардиосклерозе или миокардиопатии, так и локальные зоны асинергии, которые наблюдаются при инфаркте миокарда.

Для исследования коронарных артерий контрастное вещество вводят непосредственно в левую и правую коронарные артерии (селективная коронарография). На снимках, выполненных в различных проекциях, изучают положение артерий и их основных ветвей, форму, контуры и просвет каждой артериальной ветви, наличие анастомозов между системами левой и правой венечных артерий. Необходимо отметить, что в подавляющем большинстве случаев коронарографию выполняют не столько для диагностики инфаркта миокарда, сколько в качестве первого, диагностического этапа интервенционной процедуры - коронарной ангиопластики.

В последнее время для исследования полостей сердца и сосудов в условиях их искусственного контрастирования все чаще применяют *дигитальную субтракционную ангиографию (ДСА)*. ДСА на основе компьютерной технологии позволяет получать изолированное изображение сосудистого русла без теней костей и окружающих мягких тканей. При соответствующих финансовых возможностях ДСА со временем полностью заменит обычную аналоговую ангиографию.

Контрольные вопросы:

1. Назовите признаки косых проекций.
2. Что включает в себя лучевое исследование сердца и крупных сосудов?
3. Назовите стандартные проекции рентгенографии.
4. Для изучения чего используют ангиокардиографию?

## Практическое занятие №18

### Компьютерные томографические исследования пищеварительного тракта

(виды /способы/, методы, методики; лучевая анатомия, семиотика). Схема анализа, протокол рентгеновского исследования пищеварительного тракта.

Задача: изучить компьютерные томографические исследования пищеварительного тракта.

#### Теоретическая часть:

Рентгенологическое исследование органов пищеварения производят в мире уже почти 100 лет, а в Саратове - с 1907 г., когда впервые были открыты сразу два рентгеновских кабинета. Со временем, особенно в последние годы, появляются всё новые и новые диагностические технологии. Так, с 70-х годов XX столетия стали применять эндоскопический метод, позволяющий видеть слизистую оболочку пищевода, желудка и кишечника. В 1972 г. Хаунсфилдом был сконструирован первый компьютерный томограф, с помощью которого можно было визуализировать мало доступные для рентгенологического исследования паренхиматозные пищеварительные органы: печень, поджелудочную железу. Этой же возможностью обладают и такие достаточно новые методы лучевой диагностики, как УЗИ и МРТ. И все-таки именно рентгенологическое исследование остаётся основным методом в диагностике заболеваний пищевода, желудка и кишечника. Материалы, представленные в данной главе, позволят выяснить, с чем это связано, в какой мере новые лучевые методы помогают уточнить патологические изменения пищеварительных органов и в чём ограничение этих методов. В результате в каждом случае можно будет выбрать оптимальные методы и методики лучевой диагностики и установить алгоритм их применения для получения наиболее полной информации о состоянии пищевода, желудка, кишечника, печени и поджелудочной железы.



Особенности рентгенологического исследования пищевода, желудка и кишечника состоят в следующем.

- Для визуализации пищевода, желудка и кишечника *необходимо введение контраста* в их полость, так как по плотности эти органы не отличаются от окружающих тканей и сливаются с ними.

- До введения контраста необходимо *обзорное рентгенологическое исследование брюшной полости* для обнаружения неотложных состояний: перфорации полых органов, непроходимости кишечника, гнойников, инородных тел и т.д.

- Исследование пищевода, желудка и кишечника проводят с помощью метода рентгеноскопии, в процессе которой отдельные моменты исследования фиксируются на рентгенограммах (метод рентгенографии). Таким образом, во всех случаях *рентгеноскопия и рентгенография неотделимы друг от друга*, оба метода осуществляет один врач-рентгенолог. Именно поэтому отдельно взятые рентгенограммы пищевода, желудка и кишечника не описывает другой рентгенолог, их нельзя консультировать. Описание исследования проводит только врач-рентгенолог, который смотрел больного

за экраном. Если нужна консультация, то врач-консультант проводит повторное исследование.

- Для полноценного изучения пищевода, желудка и кишечника необходимо получение *двух фаз наполнения* органа контрастом.

- *Фаза слабого наполнения*, когда контраст обмазывает слизистую оболочку, и исследуют её складки.

- *Фаза тугого наполнения*, при котором орган полностью заполнен сульфатом бария, и можно характеризовать следующие его параметры:

- расположение;

- форму;
- размеры;
- контуры;
- функциональное состояние органа: перистальтику, сроки эвакуации контраста, эластичность, т.е. изменяемость стенок.

Нормальные рентгеноанатомические параметры пищевода и желудка в рентгеновском изображении следующие. Пищевод

- Располагается в заднем средостении.
- Подразделяется на отделы:
  - шейный;
  - грудной;
  - абдоминальный (ниже диафрагмы).
- Форма его в виде лентовидной прямолинейной тени.
- Диаметр до 1,5-2 см.
- Имеется четыре физиологических сужения:
  - на уровне шеи в зоне перстневидного хряща (на уровне VI шейного позвонка);
  - на уровне дуги аорты;
  - на уровне бифуркации трахеи;
  - в месте перехода через диафрагму.
- Контур пищевода ровные.
- Складки слизистой оболочки продольные в количестве 2-3.

- Стенки эластичны, видны перистальтические волны, за счёт чего диаметр пищевода меняется в процессе исследования.

### Желудок

- Располагается в левой половине брюшной полости.
- В желудке различают следующие отделы (сверху вниз):
  - *свод* (располагается на 1 см ниже левого купола диафрагмы, при вертикальном положении заполнен воздухом, при горизонтальном - барием);
  - *кардиальный отдел* (в месте перехода пищевода в желудок по малой кривизне);
  - *тело* (располагается вертикально, вдоль позвоночника);
  - *антральный отдел* (располагается горизонтально);
  - *угол* (в месте перехода тела в антральный отдел по малой кривизне);
  - *синус* (напротив угла на границе тела и антрального отдела по большой кривизне, это самый низко расположенный отдел, он на 3-4 см выше гребешка подвздошной кости).
- Форма желудка (зависит от телосложения пациента):
  - у нормостеников в виде крючка;
  - у гиперстеников в виде рога;
  - у астеников в виде чулка.
- Контуры желудка ровные за исключением большой кривизны тела, где видна зубчатость за счёт складок слизистой.
- Складки слизистой оболочки идут в продольном направлении вдоль малой кривизны, а косое направление имеют вблизи большой кривизны, на которой образуют зубчатость контура в области тела.

- Перистальтические волны видны и определяются в виде симметричных вдавлений по обеим кривизнам, уменьшая просвет желудка в норме наполовину.

*Тонкая кишка* располагается в центральных отделах брюшной полости, имеет в своём составе три отдела: двенадцатиперстную, тощую и подвздошную кишки.

Двенадцатиперстная кишка расположена за желудком (ниже привратника), представлена двумя отделами:

- Луковица - начальный отдел треугольной формы, основание её обращено к привратнику, складки слизистой оболочки имеют продольное направление, поэтому контуры ровные.

- Дуга, которая охватывает головку поджелудочной железы в виде подковы и имеет диаметр 2-3 см, складки слизистой оболочки в ней поперечные, образуют равномерную зазубренность контуров.

#### Тощая и подвздошная кишка

Различить их можно только *по расположению*: петли *тощей кишки* занимают преимущественно левую половину брюшной полости, а петли *подвздошной кишки* располагаются срединно в малом тазу, хотя дистальный отдел уходит вправо, впадая в слепую кишку.

Анатомическое строение и рентгенологическая картина их одинаковые:

- форма в виде извилистой трубки;
- складки слизистой имеют поперечное направление (керкринговы складки), они создают так называемый «перистый» рельеф и образуют равномерную зубчатость по контурам;

- на слизистой оболочке лимфоидная ткань образует одиночные лимфоидные фолликулы, которые в дистальных отделах сливаются в пейеровы бляшки (в норме не видны).

Толстая кишка занимает периферические отделы брюшной полости; состоит из следующих отделов (последовательно справа налево):

- слепая (расположена в правой подвздошной области), по её нижнему контуру - червеобразный отросток, его положение variabelно;

- восходящая;

- печёночный угол (переход восходящей в поперечную кишку);

- поперечная;

- селезёночный угол (располагается выше печёночного) - место перехода поперечной в нисходящую кишку;

- нисходящая;

- сигмовидная (в левой подвздошной области);

- прямая, заканчивающаяся анусом.

Контурсы равномерно волнисты за счёт гаустр (перетяжек, из-за чего кишка имеет характерный вид «гармошки»).

Складки слизистой оболочки в правой половине смешанного направления, в левой - преимущественно продольные.

Сроки эвакуации бария сульфата по пищеводу, желудку и кишечнику при пероральном контрастировании следующие.

- По пищеводу барий проходит в течение нескольких секунд и поступает в желудок.

- Желудок после тугого его наполнения бариевой взвесью в количестве 250 мл, эвакуирует половину контраста в течение 30 мин, а другую - в течение следующего часа, т.е. для полного опорожнения желудка требуется в общем 1,5 ч.

- Поступление бария сульфата в двенадцатиперстную кишку начинается через 30 с после приёма контраста, быстро проходя через неё, при этом барий порционно продолжает эвакуироваться из желудка по мере его тугого наполнения, а затем полного опорожнения.

- Через 40 с контраст поступает в тощую кишку.

- Через 1,5 ч контраст начинает заполнять подвздошную кишку.

- Через 3-4 ч визуализируются илеоцекальный переход и слепая кишка.

- Все отделы толстой кишки контрастируются через 24 ч после перорального приёма бария сульфата.

*Знать о сроках эвакуации по ЖКТ необходимо для того, чтобы правильно оценить функцию этих органов, разобраться в методиках контрастного исследования пищевода, желудка и кишечника, правильно назначить тот или иной метод и представлять информацию, которую можно при этом получить.*

Контрастные вещества подразделяют на следующие группы, использующиеся при рентгенологическом исследовании пищевода, желудка и кишечника.

- Высококонтрастные вещества

- *Бария сульфат* - основной контраст, который используют в виде отдельного препарата, а также в составе бар-ВИПС\*. Выпускают в виде порошка, расфасованного в пакетах, продают в аптеках. Для исследования ЖКТ готовят водную взвесь, которую

можно принимать перорально или вводить через прямую кишку с помощью контрастной клизмы.

- *Водорастворимые контрастные вещества* - натрия амидотризоат (верографин\*, урографин\*) применяют:

- у новорождённых при подозрении на различные аномалии развития ЖКТ;
- в любом возрасте, когда подозревают перфорацию полого органа или внутренние свищи.

Контраст можно вводить следующими путями:

- перорально;
- через прямую кишку (контрастная клизма);
- через наружный свищевой ход при наличии на коже свищевого отверстия - метод *фистулографии*, при этом выявляется направление свища, сообщение его с пищеводом, желудком или кишечником и т.д.

• *Низкоконтрастные вещества* - воздух, который вводят:

- в пищевод и желудок перорально через желудочный зонд;
- в толстую кишку через анальное отверстие;
- в свободную брюшную полость путём пункции.

Основная методика рентгенологического исследования пищевода, желудка и двенадцатиперстной кишки называется «рентгеноскопия желудка». Методику проводят путём перорального приёма водной взвеси бария сульфата или «бар-ВИПСа<sup>®</sup>» в среднем в количестве 250 мл, изучают параметры исследуемых органов в фазах слабого и тугого наполнения их контрастом, а также их функциональное состояние (перистальтическая и эвакуаторная функции).

### Контрольные вопросы:

1. В чём состоят особенности рентгенологического исследования пищевода, желудка и кишечника?

2. Каковы нормальные рентгеноанатомические параметры пищевода и желудка (расположение, отделы, форма, диаметр, контуры, складки слизистой оболочки, перистальтика) в рентгеновском изображении?

3. Как располагаются в брюшной полости тонкая и толстая кишка, какие имеют отделы и другие рентгеноанатомические параметры?

4. Каковы сроки эвакуации контрастного вещества (бария сульфат) по пищеводу, желудку и кишечнику после перорального его приёма, для чего их необходимо знать?

5. На какие группы подразделяют контрастные вещества, используемые при рентгенологическом исследовании пищевода, желудка и кишечника, в каких случаях их применяют и какими путями вводят?

6. Как называется основная методика рентгенологического исследования пищевода, желудка и двенадцатиперстной кишки, как её проводят, что при этом изучается?



## Практическое занятие №19

### Компьютерные томографические исследования печени и желчевыводящих путей (виды /способы/, методы, методики; лучевая анатомия, семиотика).

Задача: изучить компьютерные томографические исследования печени и желчевыводящих путей.

#### Теоретическая часть:

Печень - самая большая железа человека, ее масса составляет в среднем 1,5 кг у взрослых мужчин и 1,2 кг у женщин. По некоторым данным, печень выполняет более 500 различных функций (детоксикационная, ферментативная, экскреторная, участие в процессах энергетического обмена и др.). При обследовании пациента чрезвычайно важно изучить и морфологическую структуру, и функциональное состояние печени. Современные методы лучевой диагностики позволяют в значительной степени решить обе эти задачи. Однако перед тем как перейти непосредственно к методам лучевой диагностики, необходимо четко представлять себе анатомо-физиологическое строение печени.

Печень располагается в правой поддиафрагмальной области полости живота и прикрепляется связками к диафрагме, брюшной стенке, желудку и кишечнику.

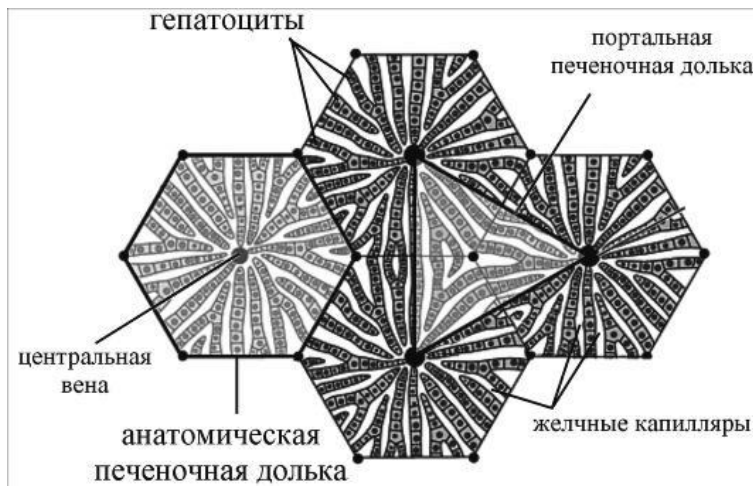
Структурно-функциональной единицей органа является печеночная долька, которая имеет форму шестигранной призмы диаметром 1-1,5 мм и высотой 1,5-2 мм. Долька образована гепатоцитами (85 % всех клеток печени), расположенными вокруг центральной вены. Таких долек в печени около 500 тыс. (рис. 11.1).

С развитием хирургии большое значение стало приобретать деление печени на более крупные единицы. В настоящее время печень подразделяют на 2 доли (более крупную правую и меньшую левую), которые, в свою очередь, делятся на 8 сегментов (по 4 в каждой доле). 1-й сегмент также называют хвостатой долей печени, а 4-й - квадратной долей. В основу этого деления (схема Куино,

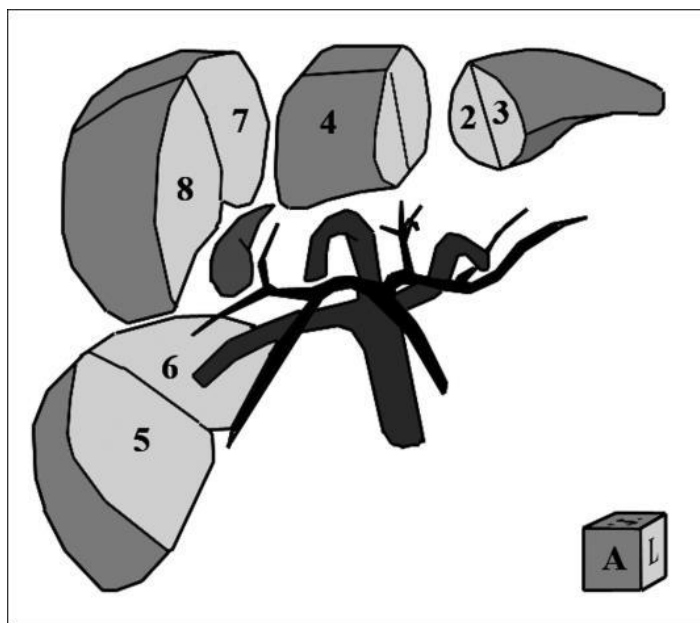
1957) было положено ветвление воротной вены, которая, разделившись в воротах печени на правую и левую ветви, далее отдает ветви 2-го порядка (рис. 1). Участки, в которых разветвляются вены 2-го порядка, а вместе с ними ветви печеночной артерии и желчные протоки, называют сегментами печени.

Печень имеет так называемое двойное кровоснабжение: приток крови осуществляют воротная вена (70-80% общего объема поступающей крови)

и печеночная артерия (20-30%). Отток крови происходит через печеночные вены, впадающие в нижнюю полую вену.



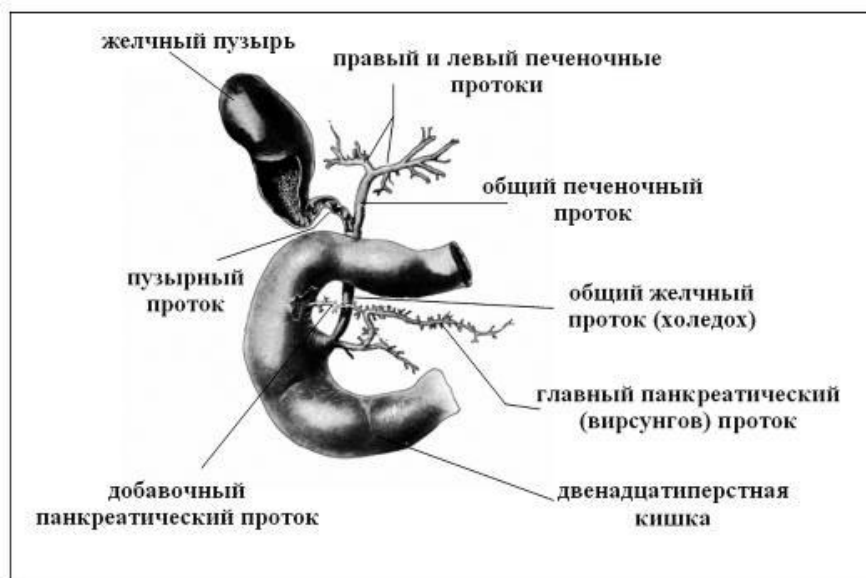
**Рис. 1.** Структурно-функциональной единицей печени является печеночная долька, которая имеет форму шестигранной призмы диаметром 1 - 1,5 мм и высотой 1,5 - 2 мм. Долька образована гепатоцитами, расположенными вокруг центральной вены



**Рис. 2.** Схема Куино (Couinaud, 1957 г.). В основу этого деления было положено ветвление воротной вены, которая, разделившись в воротах печени на правую и левую ветви, далее отдает ветви 2-го порядка. Участки печени, в которых разветвляются вены 2-го порядка, а вместе с ними ветви печеночной артерии и желчные протоки, рассматриваются в качестве сегментов печени

Одна из основных функций печени - образование и выделение желчи, которая необходима для эмульгирования жиров и превращения жирных кислот

в водорастворимые формы. Желчь вырабатывается гепатоцитами и по системе желчных путей выделяется в просвет двенадцатиперстной кишки. Выделяют внутрипеченочные и внепеченочные желчные пути. Внутрипеченочные желчные протоки начинаются с желчных капилляров - тончайших бороздок (диаметром около 1 мкм) на поверхности гепатоцитов (желчные капилляры собственной стенки не имеют), которые на периферии печеночных долек сливаются в междольковые желчные протоки, а те - в сегментарные, секторальные и долевы. С долевых (правого и левого) печеночных протоков и начинаются внепеченочные желчные пути (рис. 3).



**Рис. 3.** Внепеченочные желчевыводящие пути

Объединившись в области ворот печени, правый и левый печеночный протоки образуют общий печеночный проток, который, слившись с пузырным протоком, переходит в общий желчный проток, или холедох. В половине случаев общий желчный проток далее соединяется с панкреатическим (вирсунговым) протоком и, образовав печеночно-поджелудочную ампулу, открывается в двенадцатиперстную кишку большим дуоденальным (фатеровым) сосочком. В остальных случаях холедох и вирсунгов проток впадают в кишечник раздельно.

Желчь вырабатывается печенью непрерывно (от 3 до 4,5 л/сут первичной желчи), но лишь ее часть из печени попадает сразу в кишечник. Другая часть желчи через пузырный проток попадает в желчный пузырь - полый мышечный орган, необходимый для накопления и концентрирования желчи. В нем различают дно - самую дистальную часть, тело - среднюю часть, и шейку. По мере необходимости при приеме пищи или при накоплении в желчном пузыре более 40 см<sup>3</sup> желчи она рефлексивно выбрасывается в двенадцатиперстную кишку.

Контрольные вопросы:

1. Что такое общий печеночный проток?

2. Какими органами вырабатывается желчь?
3. Где в организме человека располагается печень?
4. Что такое сегменты печени?

## Практическое занятие №20

### Компьютерные томографические исследования почек и мочевыделительной системы (виды /способы/, методы, методики; лучевая анатомия, семиотика).

Задача: изучить компьютерные томографические исследования почек и мочевыделительной системы.

Теоретическая часть:

Рентгенологическая компьютерная томография мочевыводящих путей включает в себя диагностическое обследование почек, мочевого пузыря и мочеточников. Данный метод исследования позволяет выявить:

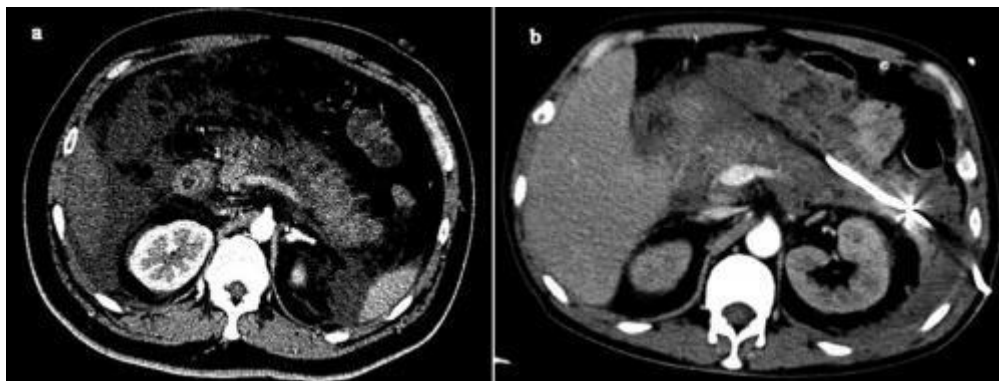
процесс камнеобразования (в почках и мочевом пузыре)

патологическое изменение (непроходимость) мочевыводящих путей

наличие опухолевых образований

инфекционные заболевания и др.

В урологии большое значение имеет метод КТ органов мочевыделения, способный с высокой точностью диагностировать различные патологические (структурные) изменения, выявлять ранние признаки заболеваний с возможностью определения стадии их развития. Такая информативность метода исследования позволяет провести полный анализ полученных данных и выстроить схему индивидуального лечения.



## ПОКАЗАНИЯ И ОБЛАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ.

Существует ряд заболеваний, распознать которые можно лишь проведя опрос пациентов и выслушав жалобы, но при наличии определенных симптомов, во избежание осложнений, лечащий врач посоветует обследовать мочевой пузырь на МРТ или КТ томографе. К таким симптомам можно отнести:

Частое и затрудненное мочеиспускание

Недержание мочи

Ночное мочеиспускание

Болевой синдром в процессе опорожнения мочевого пузыря

Боли в нижней области живота

Качественные и патологические изменения мочи (цвет, запах, консистенция, например, если моча становится мутной)

Гематурия (наличие примеси крови в моче)  
 Появление крови в моче является наиболее типичным симптомом, свидетельствующим о произошедшем в организме сбое, связанном с рядом заболеваний (урологических и нефрологических) опасных для здоровья и жизни человека. В такой ситуации врач-уролог назначит пройти высокоточную магнитно-резонансную томографию мочевыводящих путей для

подтверждения или опровержения наличия возможных заболеваний, имеющих в своей симптоматике гематурию:

инфекция мочевых путей

цистит

венерические заболевания, передающиеся половым путем

нефрит

гломерулонефрит

Наличие крови в моче может быть результатом инфицирования органов мочеполовой системы, а также появиться из-за ранения или повреждения слизистой оболочки, вызванного прохождением камня по мочеточнику. Ввиду этого, мочекаменная болезнь является одной из наиболее частых причин появления гематурии.

## МОЧЕКАМЕННАЯ БОЛЕЗНЬ



Данное заболевание сопровождается приступами острой боли в области поясницы, но если камень не двигается, пациент не испытывает никакого дискомфорта. В любом случае, необходимо проведение диагностического обследования КТ мочевыделительной системы, с целью выявления процесса камнеобразования. Развитие мочекаменной болезни чревато тяжелыми осложнениями, ведь миграция камней может привести как к обструкции (острой непроходимости) мочеточника, так и к расширению мочевого канала. При этом гладкая мускулатура мочеточника подвергается сильным спазмам и, как результат, развитие почечной колики. В данном случае многие специалисты выбирают КТ при мочекаменной болезни, как метод современного и надежного



диагностирования, способного визуализировать наличие заболевания без применения контрастного усиления. Проведение компьютерной томографии мочеточников при наличии спорной ситуации, а также при необходимости оперативного лечения позволяет получить детальную информацию о положении камня, его размерах для принятия врачом решения о дальнейших действиях. Такие данные помогут свести к минимуму возможность травмирования операбельного органа во время удаления камней. Не зависимо от того, что является причиной гематурии (появления крови в моче), следует незамедлительно обратиться к специалисту в области урологии и пройти все необходимые манипуляции и диагностические процедуры. В случае же неясной клинической картины или при особо сложных случаях, когда быстрота и точность диагностики играют решающее значение, используется мультиспиральная компьютерная томография мочевого пузыря.

Контрольные вопросы:

1. Что позволяет выявить диагностическое обследование почек, мочевого пузыря и мочеточников?
2. В каких случаях используется мультиспиральная компьютерная томография мочевого пузыря?
3. Назовите симптомы мочекаменной болезни.
4. Что такое гематурия?