

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Кафедра Лучевой диагностики и лучевой терапии, ядерной медицины и  
радиотерапии с курсами ИДПО

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
к практическим занятиям**

Дисциплина «Клиническая практика: ультразвуковая диагностика и рентгенология»

Специальность (код, название): 30.05.02 Медицинская биофизика

Курс: 5

Семестр: 10

Уфа – 2023

Рецензенты:

Главный врач

ГБУЗ Республиканский кардиологический центр, к.м.н., Николаева И.Е.

Зав. кафедрой общей физики

Уфимского университета науки и технологий

д.ф.-м.н., профессор

Балапанов М. Х.

Автор: доцент кафедры Лучевой диагностики

и лучевой терапии, ядерной медицины

и радиотерапии с курсами ИДПО, к.м.н.

Ишемгулов Р.Р.

Утверждение на заседании №3 кафедры Лучевой диагностики и лучевой  
терапии, ядерной медицины и радиотерапии с курсами ИДПО

от «30»марта 2023г.

## **Тема 1. Методы лучевой диагностики Современные методы лучевой диагностики (КТ, МРТ, интервенционная радиология). Физические основы ультразвуковой диагностики Методы и средства ультразвуковой диагностики**

**1. Актуальность.** Если у пациента подозревают недостаточность артериального кровообращения, то тело человека излучает тепло в меньшем количестве. Также при помощи таких измерений опытный грамотный специалист может обнаружить у пациента опухоль или воспалительный процесс. Раковые опухоли всегда излучают тепло в большом количестве, поэтому благодаря термографии можно обнаружить даже самые миниатюрные опасные новообразования. Важная особенность способа заключается в его абсолютной безопасности и отсутствии противопоказаний. Его применяют даже для профилактики раковых заболеваний и для наблюдения за ходом болезни и контролем правильности выбранного лечения. Компьютерная томография. Тема является актуальной в свете ее важности для быстрого и точного выявления патологий, которые могут привести к серьезным осложнениям или даже угрожать жизни пациента. Методы лучевой диагностики, такие как рентгенологический метод и компьютерная томография, позволяют получить информацию о состоянии внутренних органов и тканей, а также определить наличие опасных состояний. Овладение навыками проведения лучевой диагностики и умение интерпретировать результаты исследований является ключевым элементом профессиональной подготовки медицинских работников.

**2. Учебные цели:** овладение навыками проведения лучевой диагностики, умение интерпретировать результаты рентгенологических исследований.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен знать:

- анатомо-физиологические особенности органов и систем;
- методику исследования;
- методы лучевой диагностики;
- виды излучений, принципы получения лучевого изображения;
- понятие лучевой нагрузки;
- возрастные особенности. и др.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь:**

- работать со специализированным диагностическим оборудованием и настраивать параметры для проведения исследования;
- определять медицинские показания и противопоказания к проведению лучевых исследований;
- работать с медицинскими изделиями, используемыми при проведении

лучевых исследований, такими как контрастные вещества, датчики и т.д.;

- работать с программным обеспечением для обработки и анализа результатов лучевых исследований;

- выбирать оптимальный метод диагностики в зависимости от клинической ситуации;

- соблюдать правила профессиональной деонтологии при работе с коллегами, включая уважительное отношение к мнению других специалистов и эффективное решение конфликтных ситуаций;

- оценивать полученные результаты исследования, формулировать заключение.

- и овладеть следующими **компетенциями**: ОПК-3, ОПК-6, ОПК-8.

### **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

1. Перечислите известные вам источники света.
2. Является ли спектр лампочки накаливания непрерывным?
3. Какие операции нужно проделать с крупницей вещества, чтобы узнать её химический состав при помощи спектрального анализа?
4. Может ли быть равновесным излучение, возникающее за счёт химических реакций? Если не может, то почему?
5. Что собой представляет инфракрасное излучение?
6. В чем специфичность ультрафиолетового излучения?
7. Почему сушить окрашенные изделия лучше не в печах, а в инфракрасных сушилках?
8. Почему в облачную погоду на улице тепло?
9. Для чего спецодежду сталеваров покрывают прочным слоем фольги?
10. Почему в горах можно загореть значительно быстрее?
11. Осенью в садах белят стволы, а иногда и ветви деревьев. Для чего это делают?
12. Почему сварщики во время работы должны предохранять глаза темным стеклом?
13. Ртутные лампы ультрафиолетового излучения делают из кварцевого, а не из обычного стекла. Для чего?

14. Почему глаз зрительно не воспринимает волн короче 0,4 мкм?

**4. Вид занятия:** практическое занятие,

**5. Продолжительность занятия:** 6 часа

**6. Оснащение:**

6.1. Дидактический материал;

6.2. ТСО.

**7. Содержание занятия.**

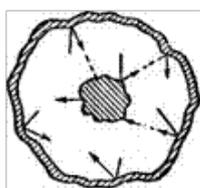


Рис. 1.  
Равновесное  
излучение

Энергия, расходуемая светящимся телом на излучение, может пополняться из различных источников. Окисляющийся на воздухе фосфор светится за счет энергии, выделяемой при химическом

превращении. Такой вид свечения называется **хемилюминесценцией**. Свечение, возникающее при различных видах самостоятельного газового разряда, носит название **электролюминесценции**. Свечение твердых тел, вызванное бомбардировкой их электронами, называют **катодолюминесценцией**. Испускание телом излучения некоторой характерной для него длины волны  $\lambda_1$  можно вызвать, облучая это тело (или облучив предварительно) излучением длины волны  $\lambda_2$ , меньшей чем  $\lambda_1$ . Такие процессы объединяются под названием **фотолюминесценции**.

Самым распространенным является свечение тел, обусловленное их нагреванием. Этот вид свечения называется тепловым (или температурным) излучением. Тепловое излучение имеет место при любой температуре, однако при невысоких температурах излучаются практически лишь длинные (инфракрасные) электромагнитные волны.

Окружим излучающее тело непроницаемой оболочкой с идеально отражающей поверхностью (рис. 154). Воздух из оболочки удалим. Отраженное оболочкой излучение, упав на тело, поглотится им (частично или полностью). Следовательно, будет происходить непрерывный обмен энергией между телом и заполняющим оболочку излучением. Если распределение энергии между телом и излучением остается неизменным для каждой длины волны, состояние системы тело — излучение будет равновесным. Опыт показывает, что единственным видом излучения, которое может находиться в равновесии с излучающими телами, является тепловое излучение. Все остальные виды излучения оказываются неравновесными.

Способность теплового излучения находиться в равновесии с излучающими телами обусловлена тем, что его интенсивность возрастает при повышении температуры. Допустим, что равновесие между телом и излучением (см. рис. 1) нарушено и тело излучает энергии больше, чем поглощает. Тогда внутренняя энергия тела будет убывать, что приведет к понижению температуры. Это в свою очередь обусловит уменьшение количества излучаемой телом энергии. Температура тела будет понижаться до тех пор, пока количество излучаемой телом энергии не станет равным количеству поглощаемой энергии. Если равновесие нарушится в другую сторону, т. е. количество излучаемой энергии окажется меньше, чем поглощаемой, температура тела будет возрастать до тех пор, пока снова не установится равновесие. Таким образом, нарушение равновесия в системе тело — излучение вызывает возникновение процессов, восстанавливающих равновесие.

Иначе обстоит дело в случае любого из видов люминесценции. Пока протекает обуславливающая излучение химическая реакция, излучающее тело все больше и больше удаляется от первоначального состояния.

Поглощение телом излучения не изменит направления реакции, а наоборот приведет к более быстрому (вследствие нагревания) протеканию реакции в первоначальном направлении. Равновесие установится лишь тогда, когда будет израсходован весь запас реагирующих веществ и свечение, обусловленное химическими процессами, заменится тепловым излучением.

Итак, из всех видов излучения равновесным может быть только тепловое излучение. К равновесным состояниям и процессам применимы законы термодинамики. Следовательно, и тепловое излучение должно подчиняться некоторым общим закономерностям, вытекающим из принципов термодинамики. К рассмотрению этих закономерностей мы и перейдем.

### **Источники теплового излучения, применяемые для лечебных целей. Понятие о термографии.**

Основным источником теплового излучения и видимого света в природе является Солнце. Поток солнечной энергии, приходящийся на  $1\text{ м}^2$  площади границы земной атмосферы, составляет 1350 Вт. Эту величину называют солнечной постоянной. общее количество энергии, полученное нашей планетой от Солнца за год составляет  $3,84 \cdot 10^{24}$  Дж, что в десятки тысяч раз больше энергии, полученной на Земле от всех других источников.

При прохождении через атмосферу поток энергии излучения несколько уменьшается; солнечная постоянная в зависимости от состояния атмосферы (облачность) и высоты Солнца над горизонтом также уменьшается, и в наиболее благоприятных условиях составляет (900-1120) Вт. Изменяется и спектральный состав излучения. Ультрафиолетовое излучение с длиной волны короче 290 нм поглощается озоном верхних слоёв атмосферы, а часть инфракрасного излучения – водяным паром. График распределения энергии в спектре солнечного излучения приведён на рисунке XXX (кривая 1 – на границе земной атмосферы, 2 – на поверхности Земли) Кривая 1 близка к спектру чёрного тела, её максимум соответствует длине волны 470 нм. Кривая 2 имеет несколько линий поглощения, её максимум расположен около 555 нм.

Для измерения интенсивности теплового излучения применяются приборы, называемые актинометрами. Основу приборов составляет термобатарея – система из нескольких термопар, соединённых последовательно и расположенных так, что исследуемое излучение действует на их рабочие спаи.

Дозированную солнечную радиацию применяют как солнцелечение (гелиотерапия), а также как средство закаливания организма.

Для лечебных целей используют искусственные источники теплового излучения: лампы накаливания (соллюкс) и инфракрасные излучатели.

Тело человека имеет определённую температуру благодаря терморегуляции, существенной частью которой является теплообмен организма с окружающей средой. Теплообмен происходит посредством теплопроводности, конвекции, испарения и излучения (поглощения).

У здоровых людей распределение температуры по различным точкам поверхности тела достаточно характерно. Однако воспалительные процессы, опухоли могут изменить местную температуру.

Температура вен зависит от состояния кровообращения, а также от охлаждения или нагревания конечностей. Таким образом, регистрация излучения различных участков человеческого тела и определение их температуры являются диагностическим методом. Такой метод, называемый томографией, находит всё большее применение в клинической практике.

Термография абсолютно безвредна и в перспективе может стать методом массового профилактического обследования населения.

Определение различия температуры поверхности тела при термографии в основном осуществляется двумя методами. В одном случае используют жидкокристаллические индикаторы, оптические свойства которых очень чувствительны к небольшим изменениям температуры. Помещая эти индикаторы на тело больного, можно визуально по изменению их цвета определить местное различие температуры. Другой метод – технический, основан на том, что если сигнал с электронно – оптического преобразователя подать в виде развёртки на телевизионную систему, то на экране телевизора можно получить «тепловое» изображение предметов. Части тела, имеющие разные температуры различаются на экране либо цветом при цветном изображении, либо светом, если изображение чёрно-белое. Такая техническая система называется тепловизором.

**Задания для самостоятельной аудиторной работы студентов по указанной теме:**

1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературой.

2) Ответить на вопросы для самоконтроля:

1). Объяснить природу теплового излучения.

2). Что такое спектральная плотность энергетической светимости?

3). Что такое монохроматический коэффициент поглощения?

- 4). Какие тела называются черными, абсолютно черными. Серыми?
- 6) Почему закон Вина называется законом смещения?
- 7). Объяснить смысл формулы Планка.
- 8). Каково значение излучения Солнца? Его характеристика.
- 9). Какие тепловые источники применяются в медицине для лечебных целей?
- 10). В чем заключается метод термографии?
- 11). Что такое тепловизоры?
- 12). Какова природа и свойства ИК- излучения?
- 13) Биологическое действие ИК-излучения и его применение.
- 14) Какова природа и свойства УФ-излучения?
- 15) Биологическое действие УФ-излучение и его применение в медицине.
- 16) Как ИК-излучение Солнца влияет на тепловой баланс Земли?

3) Проверить свои знания с использованием тестового контроля:

#### Тест 1

1. Энергетической светимостью называется:
  - а) энергия излучения, испускаемая  $1 \text{ м}^2$  поверхности;
  - б) интенсивность света, излучаемая  $1 \text{ м}^2$  поверхности;
  - в) поток излучения, испускаемый  $1 \text{ м}^2$  поверхности.
2. Спектральной плотностью энергетической светимости тела называется:
  - а) произведение энергетической светимости к ширине узкого интервала спектра;
  - б) отношение энергетической светимости узкого участка спектра к ширине этого участка;
  - в) отношение ширины узкого участка спектра к энергетической светимости тела.
3. Серым телом называют:
  - а) тело, коэффициент поглощения которого меньше единицы и зависит от длины волны падающего света;
  - б) тело, коэффициент поглощения которого равен единице и не зависит от длины волны падающего света;
  - в) тело, коэффициент поглощения которого меньше единицы и не зависит от длины волны света, падающего на него;
4. Правильное определение закона Кирхгофа:
  - а) при одинаковой температуре отношение спектральной плотности энергетической светимости к монохроматическому коэффициенту поглощения одинаково

для любых тел, в том числе и для чёрных;

б) при одинаковой температуре отношение спектральной плотности энергетической светимости к коэффициенту поглощения одинаково для любых тел, в том числе и для чёрных;

в) при одинаковой температуре отношение спектральной плотности энергетической светимости к длине волны его излучения одинаково для любых тел, в том числе и для чёрных.

5. Правильное определение закона Стефана-Больцмана:

а) энергетическая светимость чёрного тела пропорциональна его термодинамической температуре;

б) энергетическая светимость чёрного тела пропорциональна четвёртой степени его термодинамической температуры;

в) энергетическая светимость чёрного тела обратно пропорциональна четвёртой степени его термодинамической температуры.

6. Правильное определение закона Вина:

а) длина волны, соответствующая максимуму излучения абсолютно чёрного тела, пропорциональна его абсолютной температуре;

б) длина волны, соответствующая максимуму поглощения абсолютно чёрного тела, обратно пропорциональна его абсолютной температуре;

в) длина волны, соответствующая максимуму излучения абсолютно чёрного тела, обратно пропорциональна его абсолютной температуре;

## Тест 2

1. Какой интервал длин волн соответствует ИК-излучению?

а) (380-760) нм; б) ( $10^2$ -0,4) мкм; в) (760- $10^6$ ) нм

2. Какой интервал длин волн соответствует УФ – излучению?

а) 760 нм – 2 мм; б) (380- $10^6$ ) нм; в) (10-400) нм.

3. Выражение закона Кирхгофа:

а)  $\frac{r_\lambda}{\alpha_\lambda} = \varepsilon_\lambda$ ; б)  $r_\lambda \alpha_\lambda = \varepsilon_\lambda$ ; в)  $\frac{\alpha_\lambda}{r_\lambda} = \varepsilon_\lambda$ .

4. Выражение монохроматического коэффициента поглощения:

а)  $r_\lambda = \frac{\Phi_0}{\Phi_i}$ ; б)  $\alpha_\lambda = \frac{\Phi_i}{\Phi_0}$ ; в)  $\alpha_\lambda = \frac{\Phi}{\lambda}$ .

5. Выражение закона Стефана-Больцмана:

а)  $R_e = \lambda \sigma T^4$  ; б)  $R_e = \lambda \sigma T$  ; в)  $R_e = \alpha \sigma T^4$

6. Выражение закона Вина:

а)  $\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$  ; б)  $\lambda_{\max} = \frac{b}{\alpha T}$  ; в)  $\lambda_{\min} = bT$  .

7. Выражение энергетической светимости тела

а)  $R_e = \int_0^{\infty} \alpha_{\lambda} d\lambda$  ; б)  $r_{\lambda} = \int_0^{\infty} R_e d\lambda$  ; в)  $R_e = \int_0^{\infty} r_{\lambda} d\lambda$  .

8) Определить антирадитную зону УФ излучения

а) (200-280) нм; б) (315-400) нм; в) (280-315) нм.

9. Определить наиболее выраженную длину волны эритемной зоны УФ-излучения.

а)  $\lambda=296$  нм; б)  $\lambda=400$  нм; в)  $\lambda=250$  нм.

10. Какая длина волны соответствует зоне бактерицидного действия

а)  $\lambda=296$  нм; б)  $\lambda=320$  нм; в)  $\lambda=253$  нм.

4). Решить задачи:

1. Какое количество теплоты излучает  $0,5 \text{ м}^2$  поверхности тела человека за час, если температура воздуха в комнате  $22^{\circ} \text{ С}$ , а температуру кожи принять в среднем за  $37^{\circ} \text{ С}$ . Приведённый коэффициент излучения кожи равен  $4,7 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \text{ К}^4$ .

2. Инфракрасные лучи длинноволнового диапазона вызывают ощущение резкой боли при падении на кожу при интенсивности  $6 \text{ Дж/см}^2 \cdot \text{мин}$ . На каком расстоянии создаёт ощущение резкой боли лампа мощностью  $1,5 \text{ кВт}$ , если её световой КПД составляет  $3\%$ , а остальная часть энергии расходуется на создание ИК – излучения?

3. Опыт показывает, что облучение куриных яиц в инкубаторе наиболее эффективно при длине волны  $4,1 \text{ мкм}$ . К какой области спектра относится эта длина волны? Какова должна быть температура проволочной спирали в нагревательной лампе? Какое количество энергии излучает в секунду спираль лампы, если её поверхность равна  $20 \text{ мм}^2$ ?

4. Найти температуру печи, если известно, что из отверстия в ней площадью  $S=6 \text{ см}^2$  излучается  $7 \text{ кал}$  в  $1 \text{ сек}$ . Считать излучение близким к излучению чёрного тела.

5. Вследствие изменения температуры серого тела максимум спектральной плотности энергетической светимости сместился с  $\lambda_1=2400 \text{ нм}$  на  $\lambda_2=800 \text{ нм}$ . Во сколько раз изменится энергетическая светимость тела?

6. На сколько сместится максимум спектральной плотности энергетической светимости при изменении температуры поверхности тела человека от  $t_1=30^{\circ} \text{ С}$  до  $t_2=31^{\circ}$

С? Тело человека считать серым.

7. Определите массу, энергию и импульс фотонов излучения: а) красного ( $\lambda_1=700$  нм), б) фиолетового ( $\lambda_2=400$  нм) и в) рентгеновского ( $\lambda_3=0,5\cdot 10^{-10}$  м).

**Задания для самостоятельной аудиторной/внеаудиторной работы студентов по указанной теме:**

1) Ознакомиться с теоретическим материалом по теме занятия с использованием конспектов лекций, рекомендуемой учебной литературы.

2) Решить задачи: Сборник задач по медицинской и биологической физике.

Ремизов А.Н., Максина А.Г., М., Дрофа, 2013-189 с. № 2.24, 2.29, 2.36, 2.57, 2.58, 2.60, 2.69, 2.78, 2.81, 2.83, 2.88, 2.92, 2.93, 2.94, 2.96, 2.98, 2.101.

**Формы контроля освоения заданий по самостоятельной аудиторной/внеаудиторной работы студентов по данной теме:** тестовые задания и контрольные вопросы.

**8. Литература:** см. в приложении

## **Тема 2. Лучевая диагностика органов дыхания.**

**1. Актуальность.** Рентгеновское излучение — электромагнитные волны, энергия фотонов которых лежит на шкале электромагнитных волн между ультрафиолетовым излучением и гамма-излучением. Рентгеновское излучение стали применять в медицине в связи с его большой проникающей способностью. КТ и МРТ, X-ray диагностика заболеваний органов дыхания. Лучевая диагностика органов дыхания является одним из наиболее важных методов обследования пациентов с заболеваниями дыхательной системы. Этот метод основан на использовании различных видов излучения, таких как рентгеновские лучи, компьютерная томография и магнитно-резонансная томография, для получения изображений внутренних структур легких, бронхов и других органов дыхания. Раннее обнаружение и точная диагностика заболеваний являются крайне важными для успешного лечения и предотвращения возможных осложнений.

**2. Учебные цели:** овладение навыками проведения лучевой диагностики, умение интерпретировать результаты рентгенологических исследований.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен знать:

- анатомо-физиологические особенности органов и систем;
- методику исследования;
- методы лучевой диагностики;
- виды излучений, принципы получения лучевого изображения;
- понятие лучевой нагрузки;
- возрастные особенности. и др.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь:**

- работать со специализированным диагностическим оборудованием и настраивать параметры для проведения исследования;
- определять медицинские показания и противопоказания к проведению лучевых исследований;
- работать с медицинскими изделиями, используемыми при проведении лучевых исследований, такими как контрастные вещества, датчики и т.д.;
- работать с программным обеспечением для обработки и анализа результатов лучевых исследований;
- выбирать оптимальный метод диагностики в зависимости от клинической ситуации;
- соблюдать правила профессиональной деонтологии при работе с коллегами, включая уважительное отношение к мнению других специалистов и эффективное

решение конфликтных ситуаций;

- оценивать полученные результаты исследования, формулировать заключение.

- и овладеть следующими **компетенциями**: ОПК-3, ОПК-6, ОПК-8.

### **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

*Методы лучевого исследования легких (рентгенологическое исследование, использование компьютерной и магнитно-резонансной томографии). Показания и противопоказания. Лучевая анатомия легких и средостения. Особенности КТ- сканологии поражения легких (повышение плотности – «консолидация», «матовое стекло»). Внутрисиндромная дифференциальная диагностика на основании клинико-рентгенологических данных. Лучевая диагностика пневмоторакса. Сравнительные возможности методов лучевого исследования легких. Методы контроля знаний и навыков: (на усмотрение лектора - традиционные методы контроля усвоения и другие).*

**4. Вид занятия:** практическое занятие,

**5. Продолжительность занятия:** 6 часа

**6. Оснащение:**

6.1. Дидактический материал;

6.2. ТСО.

**7. Структура занятия:**

7.1. Организационный этап - проверка готовности группы к занятию внешний вид, отметка присутствующих, ознакомление с планом работы.

7.2. Контроль исходного уровня знаний обучающихся

1. Почему трудно строить рентгеновские микроскопы?
2. Где будет стоять космическая станция на Луне: на поверхности Луны или в толще грунта? Почему?
3. Зачем рентгенологи на работе надевают очки, перчатки и специальные фартуки, в которых находятся соединения свинца?
4. Что дает тень гуще на рентгенограмме: медь или алюминий?
5. Почему вредно сидеть прямо перед телевизором?

7.3. Содержание занятия.

В настоящее время влияние протонного и нейтронного излучения на вещество ещё слабо изучено, и это излучение мало используется на практике. Поэтому в качестве ионизирующего излучения мы разберём исключительно рентгеновское. Перед наукой, изучающей взаимодействие рентгеновского излучения и вещества, стоят три основные задачи. Первая (прямая) задача затрагивает наиболее простые закономерности взаимодействия и прохождения излучения через вещество. Если известна внутренняя структура объекта, то установленный закон ослабления рентгеновского излучения в

принципе позволяет предсказать, какой будет картина излучения в любой поперечной плоскости. Второй задачей науки, изучающей взаимодействие излучения с веществом, являются вопросы, касающиеся возникновения рентгеновского излучения и его возможных видов. Мы начнём с первых двух задач. Третья задача (математически сложная) является обратной задачей, и заключается в воссоздании пространственного распределения плотности внутренних органов по известному двумерному изображению.

Физический принцип действия рентгеновского аппарата основан на способности рентгеновских лучей проникать сквозь биологическую ткань. Прохождение рентгеновского излучения через биологическую ткань описывается законом ослабления ионизирующего излучения. Согласно этому закону (закон Бугера) интенсивность пучка фотонов при прохождении тонкого слоя однородной среды толщиной  $x$  уменьшается по экспоненте. Рентгеновское излучение, проходя через однородный слой вещества, ослабляется согласно экспоненциальному закону. Пьер Бугер установил, что в каждом следующем слое однородной среды одинаковой толщины поглощается одинаковая доля потока энергии излучения, дошедшего до него

$$\frac{dI}{I} = -\mu dx.$$

Отсюда связь между интенсивностью света  $I$ , которое прошло через слой поглощающего вещества толщиной  $x$ , и интенсивностью падающего на него света  $I_0$  есть

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

где  $I_0$  – интенсивность падающего излучения,  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления или коэффициент поглощения. На этот коэффициент влияет длина волны излучения  $\lambda$  и природа вещества (атомный номер  $Z$  и плотность  $\rho$ ).

### **Математическая задача КТ-томографии. Методы её решения.**

Приступим сейчас к третьей задаче, о которой мы упоминали. Одним из самых интересных и перспективных вариантов рентгенографии, основывающийся на нетривиальном математическом преобразовании, является метод рентгеновской томографии.

#### **История томографии**

Изучение распределения некоторой физической величины внутри объекта представляет собой значительный интерес. Решить эту проблему пытался ещё В.К. Рентген. Его метод диагностики был основан на зондировании тела рентгеновскими лучами и регистрации прошедшего излучения. Таким образом, во весь рост встала задача получения неискажённого изображения любого изолированного сечения объекта — томограммы. Это стало возможным лишь с появлением компьютерной томографии. Она

представляет собой двухэтапный метод исследований. Первый шаг заключается в том, что объект зондируется рентгеновским излучением с самых разных направлений, и прошедшее излучение регистрируется, т. е. запоминаются наборы проекций. Второй шаг представляет собой математическую задачу. Вся полученная информация обрабатывается согласно математическому алгоритму в компьютере. Полученная томограмма является косвенной, то есть результатом вычислений. Очевидно, что это предъявляет высокие требования к математическому алгоритму и к компьютеру.

Компьютерной томографией называется процесс восстановления внутренней структуры объекта по известным его проекциям. Данная задача принадлежит к числу так называемых некорректных задач интегральной геометрии и являлась объектом исследования около полувека. Интегральная геометрия зародилась в работе великого австрийского математика Иоганна Карла Августа Радона чешского происхождения. На основе закона П. Бугера, в 1917 г. австрийский математик Иоганн Радон разработал систему теорем («преобразования Радона»). Они легли в основу математического аппарата получения изображений внутренних органов, которая заключается в восстановлении функции  $\mu(x)$  послойного поглощения на плоскости по её известным интегралам вдоль всех возможных прямых на этой же плоскости. Суть теорем Радона в упрощённом виде можно свести к следующему: если возможно получить ряд проекций (отображений) исследуемого объекта (не наблюдаемого непосредственно), то, выполнив определенную последовательность математических преобразований, можно восстановить изображение истинного объекта. Точность восстановления объекта определяется количеством его отображений. Имея бесчисленное множество отображений, можно восстановить объект (орган) с любой заданной точностью.

Но реализовать написанную им формулу на практике стало возможным только с приходом компьютерной эры. Работы И. Радона в начале 60-х годов были продолжены и развиты в трудах советского учёного И. М. Гельфанда. Интегральная геометрия изучает преобразование функции, заданной на одном геометрическом объекте, к функции, заданной на другом геометрическом объекте. Такое преобразование похоже на проецирование, поэтому полученную функцию называют проекцией. Обратной задачей интегральной геометрии является восстановление функций по их интегральным характеристикам.

### **Преобразование Радона**

В предыдущем разделе мы изучали закон Бугера. Согласно этому закону для неоднородного тела

$$I = I_0 e^{-\int \mu dl},$$

где  $l$  есть длина отрезка произвольной прямой, функция  $\mu = \mu(r)$  – линейный коэффициент ослабления рентгеновского излучения, зависящий от свойств вещества. Экспоненциальный закон Error: Reference source not found выполняется для рентгеновского излучения с очень большой точностью, поэтому практическое использование разработанных математических алгоритмов осуществлялось именно в рентгеновской компьютерной томографии. Таким образом, в науке о рентгеновском излучении большую роль играет интеграл

$$\check{\mu} = \int \mu(r) dl,$$

так как именно с его помощью вычисляется ослабление интенсивности излучения. Интеграл Error: Reference source not found фактически и является прямым преобразованием Радона, а функция  $\check{\mu}$  называется проекцией функции  $\mu(r)$  или её радоновским образом. При этом необходимо помнить, что интеграл Error: Reference source not found зависит от 4 постоянных: от двух углов, задающих направление прямой интегрирования и от двух декартовых координат, определяющих положение её точечной проекции в плоскости поперечного сечения. Интеграл Error: Reference source not found иногда называется луч-суммой. Однако можно существенно упростить этот интеграл, если рассматривать его не в пространстве, а на плоскости. Соответственно, функцию  $\mu(r)$  будем считать функцией двух координат  $(x, y)$ . При этом луч-сумма будет зависеть всего от двух переменных: угла  $\varphi$ , задающего направление прямой интегрирования (Рис. 1), и постоянной  $s$ , определяющей положение её точечной проекции.

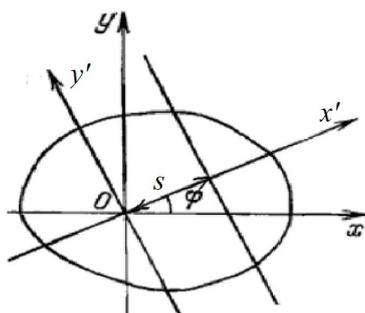


Рис. 1. Схема кругового сканирования с параллельными проекциями.

Угол  $\varphi$ , изменяется в пределах от 0 до  $2\pi$ . Но эти границы можно существенно сократить в два раза, поскольку обратное направление к уже исследованному можно не рассматривать. Рассмотрим повернутую систему координат  $(x', y')$ . Учитывая, что в этой системе координат любая точка  $(x, y)$  есть

$$x = x' \cos \varphi - y' \sin \varphi,$$

$$y = x' \sin \varphi + y' \cos \varphi$$

получим интеграл Error: Reference source not found в виде

$$\check{\mu}(s, \varphi) = \int_{-\infty}^{+\infty} \mu(s \cos \varphi - y' \sin \varphi, s \sin \varphi + y' \cos \varphi) d y'.$$

Этот интеграл и есть радоновский образ функции  $\mu(x, y)$  - прямое преобразование Радона. Для целей компьютерной томографии необходимо, однако, иметь формулу (алгоритм) восстановления исходной функции  $\mu(x, y)$  по её радоновскому образу. Для этой цели надо решить интегральное уравнение Error: Reference source not found относительно  $\mu(x, y)$ .

7.4. Самостоятельная работа обучающихся под руководством преподавателя.

Написание конспекта.

7.5. Контроль усвоения обучающимися темы занятия (знания и умения) с применением тестов

#### ТЕСТ

ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОЖНО СНИЗИТЬ ПРИ ПОМОЩИ:

- 1) индивидуальных средств защиты
- 2) отсеивающей решетки
- 3) повышения напряжения
- 4) рентгеновских фильтров

В НОРМЕ ЛИМФАТИЧЕСКИЕ УЗЛЫ НА РЕНТГЕНОГРАММЕ:

- 1) видны
- 2) не видны
- 3) видны только на глубоком вдохе
- 4) видны только в боковой проекции

ЧТО ЯВЛЯЕТСЯ РЕГИСТРИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ ПРИ КТ:

- 1) сцинтилляционные датчики
- 2) пьезоэлектрические кристаллы
- 3) рентгеновская пленка
- 4) флуоресцирующий экран.

КАКИЕ МЕТОДЫ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕ ИСПОЛЬЗУЮТ РЕНТГЕНОВСКИЕ ЛУЧИ:

- 1) компьютерная томография
- 2) МРТ
- 3) бронхография
- 4) УЗИ

В КАКИХ ПРОЕКЦИЯХ ПОЛУЧАЮТ ИЗОБРАЖЕНИЕ ПРИ КТ:

- 1) фронтальная
- 2) во всех проекциях
- 3) аксиальная
- 4) сагиттальная

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ГЕНЕРИРУЕТСЯ:

- 1) в повышающем трансформаторе
- 2) в кенотроне
- 3) на рентгеновском экране
- 4) в рентгеновской трубке

СВОЙСТВА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ:

- 1) невидимо, распространяется прямолинейно, обладает большой проникающей способностью
- 2) невидимо, распространяется прямолинейно, обладает малой проникающей способностью;
- 3) распространяется диффузно, сильно поглощается средой
- 4) распространяется через жидкости, обладает большой проникающей способностью

1) электромагнитное излучение видимой области спектра  
РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКА ОСУЩЕСТВЛЯЕТСЯ ПРИ АНАЛИЗЕ  
РЕНТГЕНОСКОПИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ И РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ.  
РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ПОЛУЧАЕТСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ:

- 1) различной чувствительности пленки к рентгеновским лучам разной длины волны
- 2) разного поглощения рентгеновских лучей объектами с разной плотностью
- 3) разного количества воды в тканях
- 4) одинакового поглощения рентгеновских лучей объектами с разной плотностью
- 5) дифракции рентгеновских лучей

МОЩНОСТЬ ТОРМОЗНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗАВИСИТ ОТ:

- 1) природы вещества анода, напряжения между анодом и катодом

- 2) природы вещества анода, количества электронов, бомбардирующих анод, напряжения между анодом и катодом
  - 3) природы вещества анода, количества протонов
  - 4) природы вещества катода, напряжения между анодом и катодом
  - 5) природы вещества анода
8. Литература: см. в приложении

### Тема 3. Лучевая диагностика сердечно-сосудистой системы

**1. Тема и ее актуальность.** Слово «томография» происходит от греческих слов  $\tau\omicron\mu\omicron\eta$  – сечение и  $\kappa\tau$  и  $\mu\rho\tau$  диагностика заболеваний сердечно-сосудистой системы. Лучевая диагностика сердечно-сосудистой системы является неотъемлемой частью современной медицинской практики и имеет большое значение для диагностики и лечения заболеваний этой системы. Сердечно-сосудистые заболевания являются одной из главных причин смерти в мире, поэтому раннее обнаружение и точная диагностика этих заболеваний крайне важны для успешного лечения и предотвращения возможных осложнений.

**2. Учебные цели:** овладение навыками проведения лучевой диагностики, умение интерпретировать результаты рентгенологических исследований.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен знать:

- анатомо-физиологические особенности органов и систем;
- методику исследования;
- методы лучевой диагностики;
- виды излучений, принципы получения лучевого изображения;
- понятие лучевой нагрузки;
- возрастные особенности. и др.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь:**

- работать со специализированным диагностическим оборудованием и настраивать параметры для проведения исследования;
- определять медицинские показания и противопоказания к проведению лучевых исследований;
- работать с медицинскими изделиями, используемыми при проведении лучевых исследований, такими как контрастные вещества, датчики и т.д.;
- работать с программным обеспечением для обработки и анализа результатов лучевых исследований;
- выбирать оптимальный метод диагностики в зависимости от клинической ситуации;
- соблюдать правила профессиональной деонтологии при работе с коллегами, включая уважительное отношение к мнению других специалистов и эффективное решение конфликтных ситуаций;
- оценивать полученные результаты исследования, формулировать заключение.

- и овладеть следующими **компетенциями**: ОПК-3, ОПК-6, ОПК-8.

### **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

Методы лучевого исследования сердечно-сосудистой системы (использование компьютерной и магнитно-резонансной томографии исследования). Лучевая диагностика заболеваний сердца и крупных сосудов. Сравнительные возможности методов лучевого исследования сердечно-сосудистой системы. Интервенционная радиология

**4. Вид занятия:** практическое занятие,

**5. Продолжительность занятия:** 6 часа

**6. Оснащение:**

6.1. Дидактический материал;

6.2. ТСО.

**7. Структура занятия:**

7.1. Организационный этап - проверка готовности группы к занятию внешний вид, отметка присутствующих, ознакомление с планом работы.

7.2. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

Методы лучевого исследования сердечно-сосудистой системы (использование компьютерной и магнитно-резонансной томографии исследования). Лучевая диагностика заболеваний сердца и крупных сосудов. Сравнительные возможности методов лучевого исследования сердечно-сосудистой системы. Интервенционная радиология

7.3. Ознакомление обучающихся с содержанием занятий. Изложение узловых вопросов темы данного занятия. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме. Теоретический разбор темы. Опрос.

Методы лучевого исследования сердечно-сосудистой системы (использование компьютерной и магнитно-резонансной томографии исследования). Лучевая диагностика заболеваний сердца и крупных сосудов. Сравнительные возможности методов лучевого исследования сердечно-сосудистой системы. Интервенционная радиология

7.4. Самостоятельная работа обучающихся под руководством преподавателя. Работа над тестом.

#### **Тест.**

1. В каких методах лучевой диагностики используются рентгеновские лучи?

1) КТ; 2) термография; 3) МРТ; 4) УЗИ

2. Рентгеновское излучение это:

1) электромагнитные волны большой длины волны; 2) жесткое электромагнитное излучение; 3) поток заряженных частиц; 4) гамма - излучение; 5) альфа - излучение; 6)

направленный поток электронов; 7) механическое колебание среды; 8) переменное электрическое поле.

3. К рентгеновскому излучению относится область волн длиной:

1) от 80 до 0,0001 нм; 2) от 400 до 0,76 мкм; 3) от 280 до 200 нм; 4) от 380 до 10 нм; 5) от 100 до 0,001 нм.

3. Рентгеновское излучение генерируется:

1) в повышающем трансформаторе; 2) в кенотроне; 3) на рентгеновском экране; 4) в рентгеновской трубке

4. Свойства рентгеновского излучения (выберите наиболее подходящий вариант ответа):

1) невидимо, распространяется прямолинейно, обладает большой проникающей способностью;

2) невидимо, распространяется прямолинейно, обладает малой проникающей способностью;

3) распространяется диффузно, сильно поглощается средой;

4) распространяется прямолинейно, обладает большой проникающей способностью;

5) электромагнитное излучение видимой области спектра.

5. Характеристическое рентгеновское излучение возникает при:

1) торможении электрона электростатическим полем атомного ядра и атомарных электронов вещества анода;

2) переходах между энергетическими уровнями внутренних оболочек в результате выбивания электронов;

3) переходах между энергетическими уровнями;

4) торможении электрона электростатическим полем атомного ядра вещества катода;

5) торможении электрона электростатическим полем атомарных электронов вещества анода.

6. Мощность тормозного рентгеновского излучения зависит от:

1) природы вещества анода, напряжения между анодом и катодом;

2) природы вещества анода, количества электронов, бомбардирующих анод, напряжения между анодом и катодом;

3) природы вещества анода, количества протонов;

4) природы вещества катода, напряжения между анодом и катодом;

5) природы вещества анода, силы тока электронов

7. Закон Бугера описывается функцией:

- 1) логарифмической; 2) тригонометрической; 3) экспоненциальной;
- 4) показательной; 5) квадратной.

8. Закон Бугера это:

1.  $\tau = I/I_0$ ; 2)  $I = I_0 e^{-\mu x}$ ; 3)  $D = \chi_\lambda c l$ ; 4)  $I = I_0 e^{\chi' c l}$ ; 5)  $\tau = \lg \frac{I_0}{I}$ .

9. Коэффициент пропускания это:

1)  $\tau = \lg \frac{I}{I_0}$ ; 2)  $\tau = I_0/I$ ; 3)  $\tau = I I_0$ ; 4)  $\tau = I/I_0$ ; 5)  $\tau = \ln \frac{I}{I_0}$ .

10. Коэффициентом пропускания называется:

- 1) величина, обратная толщине слоя;
- 2) отношение интенсивности света, прошедшего сквозь данное вещество к интенсивности падающего света;
- 3) величина, обратная оптической плотности;
- 4) коэффициент, зависящий от концентрации раствора;
- 5) коэффициент, зависящий от температуры раствора и концентрации.

11. Отрицательное влияние рентгеновского излучения можно снизить при помощи:

- 1) индивидуальных средств защиты;
- 2) отсеивающей решетки;
- 3) повышения напряжения;
- 4) рентгеновских фильтров.

12. Диагностика по шкале Хаунсфилда используется в методе:

- 1) МРТ;
- 2) линейной томографии;
- 3) УЗИ;
- 4) компьютерной томографии.

13. Что является регистрирующим устройством при КТ?

- 1) сцинтилляционные датчики;
- 2) пьезоэлектрические кристаллы;
- 3) рентгеновская пленка;
- 4) флуоресцирующий экран.

7.5. Контроль усвоения обучающимися темы занятия (знания и умения) с применением тестовых заданий, ситуационных задач и других видов контроля.

### Контрольные вопросы

1. Назовите область спектра волн, относящихся к рентгеновскому излучению.
  2. Сформулируйте закон Бугера.
  3. Что называется коэффициентом пропускания?
  4. Где генерируется рентгеновское излучение?
  5. Что такое рентгеновское излучение? Какие виды рентгеновского излучения вы знаете?
  6. Какими свойствами обладает рентгеновское излучение?
  7. Чему равен поток рентгеновского излучения от рентгеновской трубки?
  8. Какие типы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом вы знаете?
  9. Расскажите об истории КТ.
  10. Формула прямого преобразования Радона.
  11. Какие алгоритмы обратного проецирования вы знаете?
  12. Метод получения послойного изображения в КТ.
  13. Шкала единиц Хаунсфилда.
8. Литература: см. в приложении

#### Тема 4. Лучевая диагностика костей и суставов.

**1. Тема и ее актуальность.** КТ и МРТ диагностика заболеваний костей и суставов. Лучевая диагностика костей и суставов основана на использовании различных методов излучения, таких как рентгеновские лучи, компьютерная томография и магнитно-резонансная томография, для получения изображений внутренних структур костей и суставов. Современные методы лучевой диагностики позволяют получать высококачественные изображения, которые помогают врачам установить точный диагноз и определить стратегию лечения.

**2. Учебные цели:** овладение навыками проведения лучевой диагностики, умение интерпретировать результаты рентгенологических исследований.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен знать:

- анатомо-физиологические особенности органов и систем;
- методику исследования;
- методы лучевой диагностики;
- виды излучений, принципы получения лучевого изображения;
- понятие лучевой нагрузки;
- возрастные особенности. и др.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь:**

- работать со специализированным диагностическим оборудованием и настраивать параметры для проведения исследования;
- определять медицинские показания и противопоказания к проведению лучевых исследований;
- работать с медицинскими изделиями, используемыми при проведении лучевых исследований, такими как контрастные вещества, датчики и т.д.;
- работать с программным обеспечением для обработки и анализа результатов лучевых исследований;
- выбирать оптимальный метод диагностики в зависимости от клинической ситуации;
- соблюдать правила профессиональной деонтологии при работе с коллегами, включая уважительное отношение к мнению других специалистов и эффективное решение конфликтных ситуаций;
- оценивать полученные результаты исследования, формулировать заключение.

- и овладеть следующими **компетенциями:** ОПК-3, ОПК-6, ОПК-8.

## **2. 3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

Методы лучевого исследования костей и суставов (рентгенологическое исследование, использование компьютерной и магнитно-резонансной томографии, радионуклидное и ультразвуковое исследования). Показания к исследованию. Лучевая анатомия костносуставной системы. Лучевая возрастная анатомия костносуставной системы. Лучевая диагностика повреждений и заболеваний костей и суставов. Лучевые признаки повреждений костей и суставов. Особенности травм в детском возрасте. Заживление переломов в рентгеновском изображении. Нарушение заживления переломов. Лучевые признаки заболеваний костей и суставов (воспалительные поражения костей, опухолевые поражения костей, неопухолевые поражения суставов, дегенеративно-дистрофические поражения позвоночника). Сравнительные возможности методов лучевого исследования костей и суставов

**4. Вид занятия:** практическое занятие,

**5. Продолжительность занятия:** 4 часа

**6. Оснащение:**

6.1. Учебный макет.

**7. Структура занятия:**

7.1. Организационный этап - проверка готовности группы к занятию внешний вид, отметка присутствующих, ознакомление с планом работы.

7.2. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

1. Рентгеновское излучение генерируется:

1) в повышающем трансформаторе; 2) в кенотроне; 3) на рентгеновском экране; 4) в рентгеновской трубке

2. Отрицательное влияние рентгеновского излучения можно снизить при помощи:

1) индивидуальных средств защиты; 2) отсеивающей решетки; 3) повышения напряжения; 4) рентгеновских фильтров.

3. Преимуществом цифровой рентгенографии является:

1) уменьшение лучевой нагрузки на пациента; 2) отсутствие фотопроцесса; 3) отсутствие потребности в рентгеновской пленке; 4) более четкое изображение; 5) верно, все вышеперечисленное.

4. В каких проекциях получают изображение при КТ:

1) фронтальная; 2) во всех проекциях; 3) аксиальная; 4) сагиттальная.

7.3. Демонстрация преподавателем методики практических приемов работы с учебным макетом. Теоретический разбор темы.

7.4. Самостоятельная работа обучающихся с учебным макетом под руководством

преподавателя.

7.5. Контроль усвоения обучающимися темы занятия (знания и умения) с применением тестовых заданий, ситуационных задач и других видов контроля.

**Контрольные вопросы**

1. Что является регистрирующим устройством при КТ?
  2. Расскажите об эффекте затенения изображения сечения. В каких проекциях получают изображение при КТ?
  3. Расскажите о современных рентгеновских томографах.
8. Литература: см. в приложении

## Тема 5. Лучевая диагностика заболеваний ЖКТ: пищевод, желудок, кишечник

**1. Тема и ее актуальность.** Все органы в теле по-разному поглощают конкретные химические вещества. Эти знания помогают разработать диагностические радиофармпрепараты для изучения кровотока в головном мозге и функционирования органов, таких как сердце, легкие, печень, почки, кости (избыточный рост), и т. д. Это также помогает в прогнозировании последствий хирургического вмешательства и оценки изменений после начала лечения. Эта неинвазивная технология помогает в наблюдении за функциями органов и диагностики патологий.

КТ и МРТ диагностика заболеваний ЖКТ: пищевод, желудок, кишечник. Лучевая диагностика ЖКТ основана на использовании различных методов излучения, таких как рентгеновские лучи, компьютерная томография и магнитно-резонансная томография, для получения изображений внутренних структур пищевода, желудка и кишечника. Современные методы лучевой диагностики позволяют получать высококачественные изображения, которые помогают врачам установить точный диагноз и определить стратегию лечения. Кроме того, лучевая диагностика ЖКТ позволяет проводить мониторинг эффективности лечения и контролировать состояние пациента на протяжении всего периода лечения. Это помогает врачам быстро реагировать на изменения в состоянии пациента и корректировать лечение в соответствии с этими изменениями.

**2. Учебные цели:** овладение навыками проведения лучевой диагностики, умение интерпретировать результаты рентгенологических исследований.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен знать:

- анатомо-физиологические особенности органов и систем;
- методику исследования;
- методы лучевой диагностики;
- виды излучений, принципы получения лучевого изображения;
- понятие лучевой нагрузки;
- возрастные особенности. и др.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь:**

- работать со специализированным диагностическим оборудованием и настраивать параметры для проведения исследования;
- определять медицинские показания и противопоказания к проведению лучевых исследований;
- работать с медицинскими изделиями, используемыми при проведении лучевых исследований, такими как контрастные вещества, датчики и т.д.;
- работать с программным обеспечением для обработки и анализа результатов лучевых исследований;
- выбирать оптимальный метод диагностики в зависимости от клинической ситуации;
- соблюдать правила профессиональной деонтологии при работе с коллегами,

включая уважительное отношение к мнению других специалистов и эффективное решение конфликтных ситуаций;

- оценивать полученные результаты исследования, формулировать заключение.

- и овладеть следующими **компетенциями**: ОПК-3, ОПК-6, ОПК-8.

### **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

Методы лучевого исследования органов пищеварительного тракта. Показания и противопоказания. Лучевая анатомия. Лучевые признаки язвенной болезни, опухолей, дивертикулов, ожоговых стриктур. Лучевые признаки кишечной непроходимости и прободения полого органа брюшной полости. **4. Вид занятия:** практическое занятие,

**5. Продолжительность занятия:** 6 часа

**6. Оснащение:**

6.1. Дидактический материал;

6.2. ТСО.

**7. Структура занятия:**

7.1. Организационный этап - проверка готовности группы к занятию внешний вид, отметка присутствующих, ознакомление с планом работы.

7.2. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

### **Тест**

1. ОТ ЧЕГО ЗАВИСИТ КОЭФФИЦИЕНТ КАЧЕСТВА (БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ) ИЗЛУЧЕНИЯ:

- 1) от дозы
- 2) от времени действия
- 3) от плотности ионизации
- 4) от вида ткани
- 5) от вида излучения

2. ОТРИЦАТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МОЖНО СНИЗИТЬ ПРИ ПОМОЩИ:

- 1) индивидуальных средств защиты
- 2) отсеивающей решетки
- 3) повышения напряжения
- 4) рентгеновских фильтров

3. КАКИЕ ВИДЫ ИЗЛУЧЕНИЯ НЕ ПРИМЕНЯЮТСЯ ДЛЯ КОНТАКТНЫХ МЕТОДОВ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ:

- 1) бета-излучения
- 2) гамма-излучение

3) мегавольтное

4) нейтронное

7.3. Ознакомление обучающихся с содержанием занятий. Изложение узловых вопросов темы данного занятия. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме. Теоретический разбор темы.

Методы лучевого исследования органов пищеварительного тракта. Показания и противопоказания. Лучевая анатомия. Лучевые признаки язвенной болезни, опухолей, дивертикулов, ожоговых стриктур. Лучевые признаки кишечной непроходимости и прободения полого органа брюшной полости.

8. Литература: см. в приложении.

## Тема 6. Лучевая диагностика в урологии и нефрологии

**1. Актуальность.** 1.КТ и МРТ диагностика заболеваний в урологии и нефрологии. Современные методы лучевой диагностики мочеполовой системы позволяют получать высококачественные изображения, которые помогают врачам установить точный диагноз и определить стратегию лечения.

**2. Учебные цели:** овладение навыками проведения лучевой диагностики, умение интерпретировать результаты рентгенологических исследований.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен знать:

- анатомо-физиологические особенности органов и систем;
- методику исследования;
- методы лучевой диагностики;
- виды излучений, принципы получения лучевого изображения;
- понятие лучевой нагрузки;
- возрастные особенности. и др.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь:**

- работать со специализированным диагностическим оборудованием и настраивать параметры для проведения исследования;
- определять медицинские показания и противопоказания к проведению лучевых исследований;
- работать с медицинскими изделиями, используемыми при проведении лучевых исследований, такими как контрастные вещества, датчики и т.д.;
- работать с программным обеспечением для обработки и анализа результатов лучевых исследований;
- выбирать оптимальный метод диагностики в зависимости от клинической ситуации;
- соблюдать правила профессиональной деонтологии при работе с коллегами, включая уважительное отношение к мнению других специалистов и эффективное решение конфликтных ситуаций;
- оценивать полученные результаты исследования, формулировать заключение.
- и овладеть следующими **компетенциями:** ОПК-3, ОПК-6, ОПК-8.

**3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

Методы лучевого исследования мочевыделительной системы (рентгенологическое исследование, использование компьютерной и магнитно-резонансной томографии, радионуклидное исследование). Показания и противопоказания. Лучевая анатомия. Лучевая диагностика аномалий развития, мочекаменной болезни, опухолей и кист, нефроптоза, гидронефроза. Сравнительные возможности методов лучевого исследования мочевыделительной системы)

**4. Вид занятия:** практическое занятие,

**5. Продолжительность занятия:** 4 часа

**6. Оснащение:**

6.1. Дидактический материал;

6.2. ТСО.

**7. Структура занятия:**

7.1. Организационный этап - проверка готовности группы к занятию внешний вид, отметка присутствующих, ознакомление с планом работы.

7.2. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

7.3. Ознакомление обучающихся с содержанием занятий. Изложение узловых вопросов темы данного занятия. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме. Теоретический разбор темы.

Методы лучевого исследования мочевыделительной системы (рентгенологическое исследование, использование компьютерной и магнитно-резонансной томографии, радионуклидное исследование). Показания и противопоказания. Лучевая анатомия. Лучевая диагностика аномалий развития, мочекаменной болезни, опухолей и кист, нефроптоза, гидронефроза. Сравнительные возможности методов лучевого исследования мочевыделительной системы)

Тест

1. ПОЗИТРОНЫ ВОЗНИКАЮТ:

- 1) позитроны возникают в одном из видов радиоактивного распада
- 2) в позитронной эмиссии
- 3) при взаимодействии фотонов с энергией больше 1,022 МэВ с веществом
- 4) все варианты верны

2. ПОЗИТРОННАЯ ЭМИССИОННАЯ ТОМОГРАФИЯ:

- 1) метод позволяющий оценить прохождение крови через ткани организма
- 2) метод диагностики с помощью регистрации отраженных от внутричерепных структур ультразвуковых волн в плоскости их эмиссии в полость черепа
- 3) метод, основанный на применении радиофармпрепаратов, который позволяет строить трёхмерную реконструкцию функциональных процессов, происходящих в организме
- 4) метод получения изображения просвета сосудов при помощи УЗИ

8. Литература: см. в приложении.

## Тема 7. Лучевая диагностика в акушерстве и гинекологии

**1. Тема и ее актуальность.** КТ и МРТ диагностика заболеваний в акушерстве и гинекологии. Современные методы лучевой диагностики половой системы позволяют получать высококачественные изображения, которые помогают врачам установить точный диагноз и определить стратегию лечения.

**2. Учебные цели:** Изучение шкалы Хаунсфилда и изучение формирования ПЭТ-томограмм.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **знать:**

- единицы Хаунсфилда
- аппаратуру для ПЭТ
- радионуклиды и радиофармпрепараты для ПЭТ

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь:**

- методами обработки и интерпретации результатов ПЭТ
- и овладеть следующими **компетенциями:** ОПК-3, ОПК-6, ОПК-8

### **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

Методики лучевых исследования матки и придатков у женщин репродуктивного возраста. Роль МРТ в обследовании половой системы у женщин. КТ и МРТ семиотика заболеваний матки и придатков

**4. Вид занятия:** практическое занятие,

**5. Продолжительность занятия:** 4 часа

**6. Оснащение:**

- 6.1. Дидактический материал;
- 6.2. ТСО.

**7. Структура занятия:**

7.1. Организационный этап - проверка готовности группы к занятию внешний вид, отметка присутствующих, ознакомление с планом работы.

7.2. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

7.3. Ознакомление обучающихся с содержанием занятий. Изложение узловых вопросов темы данного занятия. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме. Теоретический разбор темы.

Методики лучевых исследования матки и придатков у женщин репродуктивного возраста. Роль МРТ в обследовании половой системы у женщин. КТ и МРТ семиотика заболеваний матки и придатков

### ТЕСТ

НАИБОЛЕЕ ИНФОРМАТИВНЫМ МЕТОДОМ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА ЯВЛЯЕТСЯ:

- 1) компьютерная томография
- 2) ангиография

- 3) УЗД
- 4) томография черепа
- 5) рентгенография в 2-х проекциях

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ В МЕДИЦИНЕ

ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ:

- 1) послойных изображений
- 2) спектров
- 3) рентгеновских изображений
- 4) ультразвуковых изображений
- 5) резонансных спектров

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ

ТОМОГРАФИЯ - ЭТО:

- 1) разные методы
- 2) одинаковые методы
- 3) связанные методы
- 4) подобные методы
- 5) зависимые методы

ФАКТОРЫ, ПРИВОДЯЩИЕ УМЕНЬШЕНИЮ ПОПЕРЕЧНОЙ

НАМАГНИЧЕННОСТИ:

- 1) молекулярные взаимодействия
- 2) изменения в  $B_0$
- 3) уменьшение частоты
- 4) верны 1 и 3
- 5) верны 1 и 2

ДВИЖЕНИЯ В РАСТВОРЕ, ВЫЗВАННЫЕ ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ВО ВРЕМЕНИ

МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ, ПРИВОДЯТ:

- 1) к разности фаз
- 2) к спиновой релаксации
- 3) к уменьшению частот
- 4) к спин решеточной релаксации

ТЕСТ

1. Диагностика по шкале Хаунсфилда используется в методе:

1) МРТ; 2) линейной томографии; 3) УЗД; 4) компьютерной томографии.

2. Коэффициентом пропускания называется:

1) величина, обратная толщине слоя; 2) отношение интенсивности света,

прошедшего сквозь данное вещество к интенсивности падающего света; 3) величина, обратная оптической плотности; 4) коэффициент, зависящий от концентрации раствора; 5) коэффициент, зависящий от температуры раствора и концентрации.

3. Что является регистрирующим устройством при КТ?

1) сцинтилляционные датчики; 2) пьезоэлектрические кристаллы; 3) рентгеновская пленка; 4) флуоресцирующий экран.

4. В каких проекциях получают изображение при КТ:

1) фронтальная; 2) во всех проекциях; 3) аксиальная; 4) сагиттальная.

**8. Литература:** см в приложении.

## Тема 8. Подготовка к итоговому контролю

**1.Актуальность.** Подготовка к итоговому контролю. Повтор тем.

**2. Учебные цели:** овладение навыками проведения лучевой диагностики, умение интерпретировать результаты рентгенологических исследований.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен знать:

- анатомио-физиологические особенности органов и систем;
- методику исследования;
- методы лучевой диагностики;
- виды излучений, принципы получения лучевого изображения;
- понятие лучевой нагрузки;
- возрастные особенности. и др.

Для формирования профессиональных компетенций обучающийся должен **владеть и уметь:**

- работать со специализированным диагностическим оборудованием и настраивать параметры для проведения исследования;

- определять медицинские показания и противопоказания к проведению лучевых исследований;

- работать с медицинскими изделиями, используемыми при проведении лучевых исследований, такими как контрастные вещества, датчики и т.д.;

- работать с программным обеспечением для обработки и анализа результатов лучевых исследований;

- выбирать оптимальный метод диагностики в зависимости от клинической ситуации;

- соблюдать правила профессиональной деонтологии при работе с коллегами, включая уважительное отношение к мнению других специалистов и эффективное решение конфликтных ситуаций;

- оценивать полученные результаты исследования, формулировать заключение.

- и овладеть следующими **компетенциями:** ОПК-3, ОПК-6, ОПК-8.

### **3. Материалы для самоподготовки к освоению данной темы:**

Вопросы для самоподготовки:

**4. Вид занятия:** практическое занятие,

**5. Продолжительность занятия:** 4 часа

**6. Оснащение:**

6.1. Дидактический материал;

6.2. ТСО.

### 7. Структура занятия:

7.1. Организационный этап - проверка готовности группы к занятию внешний вид, отметка присутствующих, ознакомление с планом работы.

7.2. Контроль исходного уровня знаний обучающихся с применением тестов.

КАКИЕ ИЗ СЛЕДУЮЩИХ УТВЕРЖДЕНИЙ НЕ СООТВЕТСТВУЮТ МОДЕЛИ АТОМА ТОМПСОНА:

1) атом – положительно заряженный шар с равномерным распределением заряда по объему; электроны распределены по объему положительно заряженного шара

2) электроны распределены по поверхности положительно заряженного шара; атом – положительно заряженный шар, причем весь его положительный заряд распределен по поверхности шара

3) суммарный заряд электронов равен заряду шара; электроны распределены по объему положительно заряженного шара

4) атом – положительно заряженный шар, причем весь его положительный заряд распределен по поверхности шара; электроны распределены по объему положительно заряженного шара

КАКИЕ УТВЕРЖДЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АТОМА ВЕРНЫ:

1) ядро атома заряжено положительно; заряд электронной оболочки отрицателен; заряды ядра и электронной оболочки равны по величине и противоположны по знаку

2) ядро атома заряжено отрицательно; заряд электронной оболочки отрицателен; в ядре сосредоточен почти весь заряд атома;

3) заряд электронной оболочки положителен; в электронной оболочке сосредоточен почти весь заряд атома;

4) заряд электронной оболочки отрицателен; заряды ядра и электронной оболочки равны по величине и противоположны по знаку

ИЗ ПРИВЕДЕННЫХ НИЖЕ УТВЕРЖДЕНИЙ УКАЖИТЕ ПОСТУЛАТЫ ТЕОРИИ БОРА:

1) в атомах есть избранные стационарные орбиты, двигаясь по которым электроны не излучают свет; атомы излучают свет квантами при переходе с одной стационарной орбиты на другую

2) в атомах есть избранные стационарные орбиты, двигаясь по которым электроны излучают свет; при излучении света электроны движутся по спирали, постепенно теряя энергию и приближаясь к ядру

3) атомы излучают свет квантами при переходе с одной стационарной орбиты на другую

4) при излучении света электроны движутся по спирали, постепенно теряя энергию и приближаясь к ядру; в атомах есть избранные стационарные орбиты, двигаясь по которым электроны не излучают свет

ПОНЯТИЕ СПИНА:

1) собственный момент импульса электромагнитных частиц

2) собственный момент импульса атомного ядра или атома

3) система орбитальных частиц моментов частиц, обусловленных их движением внутри системы

4) 1 и 2 верны

5) 1и 3 верны

ДЛЯ ЯДРА СО СПИНОМ  $1/2$  ВОЗМОЖНЫ ОРИЕНТАЦИИ:

1) по полю  $B_0$

2) против поля  $B_0$

3) по полю и против поля  $B_0$

1. ЯВЛЕНИЕ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА БЫЛО ОТКРЫТО В:

1) 1897 году

2) 1946 году

3) 1970 году

4) 1912 году

2. МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ИСПОЛЬЗУЕТСЯ В МЕДИЦИНЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ:

1) резонансных спектров

2) спектров

3) рентгеновских изображений

4) ультразвуковых изображений

5) послойных изображений

3. МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ — ЭТО:

1) разные методы

2) одинаковые методы

3) связанные методы

4) подобные методы

5) зависимые методы

#### 4. ПОНЯТИЕ СПИНА:

- 1) собственный момент импульса элементарных частиц
- 2) собственный момент импульса атомного ядра или атома
- 3) система орбитальных моментов частиц, обусловленных их движением внутри системы
- 4) 1 и 2 верны
- 5) 1 и 3 верны

7.3. Ознакомление обучающихся с содержанием занятий. Изложение узловых вопросов темы данного занятия. Демонстрация преподавателем методики практических приемов по данной теме. Теоретический разбор темы.

### **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЯМР**

#### **Ядро и его механические свойства**

Магнитный момент, магнитный дипольный момент — основная величина, характеризующая магнитные свойства вещества (источником магнетизма, согласно классической теории электромагнитных явлений, являются электрические макро- и микроток; элементарным источником магнетизма считают замкнутый ток). Магнитным моментом обладают элементарные частицы, атомные ядра, электронные оболочки атомов и молекул. Магнитный момент элементарных частиц (электронов, протонов, нейтронов и других), как показала квантовая механика, обусловлен существованием у них собственного механического момента — спина.

Магнитный момент измеряется в  $A \cdot m^2$  или Дж/Тл. Специфической единицей элементарного магнитного момента является магнетон Бора.

Атомное ядро — центральная часть атома, в которой сосредоточена основная его масса (более 99,9 %). Ядро заряжено положительно, заряд ядра определяет химический элемент, к которому относят атом. Размеры ядер различных атомов составляют несколько  $10^{-15}$  м. что более чем в 10 тысяч раз меньше размеров самого атома.

Атомное ядро состоит из нуклонов и положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов, которые связаны между собой при помощи сильного взаимодействия. Протон и нейтрон обладают собственным моментом количества движения (спином), равным  $\hbar/2 = h/4\pi$  и связанным с ним магнитным моментом. Спин — это одно из основных свойств в природе, таких как электрический заряд или масса. Спин кратен  $1/2$  и может быть положительным или отрицательным (+ или -). Протоны, электроны и нейтроны обладают спином. Каждый непарный электрон имеет спин равный

1/2. Каждый непарный протон имеет спин равный 1/2. Каждый непарный нейтрон имеет спин равный 1/2.

Атом дейтерия ( $^2\text{H}$ ), с одним непарным электроном, одним непарным протоном и одним непарным нейтроном имеет общий электронный спин равный 1/2 и общий ядерный спин равный 1.

Частицы с противоположным знаком спина могут образовывать пары, которые взаимно элиминируют заметные проявления спина. Примером является гелий. В ядерном магнитном резонансе значение имеют непарные ядерные спины.

Ядро, исходя из классической теории, может быть представлено в виде положительно заряженной сферы, вращающейся вокруг своей оси с угловым моментом количества движения  $P$  (рис. 1). Согласно общим принципам квантовой механики, наибольшее измеримое значение (или проекция на направление постоянного магнитного поля  $B_0$ ) компоненты момента количества движения – ядерный спин – должно быть целым или полуцелым числом, то есть угловой момент квантован:

$$P = \sqrt{I(I+1)}\hbar \quad (1)$$

В формуле (1)  $\hbar$  – константа Планка,  $I$  – ядерный спин, который может принимать значения от 0 (1/2, 1, 3/2, 2...) до 6.

Вращающийся заряд создает магнитный момент  $\mu$ :

$$\mu = \gamma P, \quad (2)$$

который, также, как и угловой момент количества движения, квантован:

$$\mu = \gamma \sqrt{I(I+1)}\hbar \quad (3)$$

Коэффициент пропорциональности  $\gamma$  в выражениях (2) и (3), называемый гиромагнитным отношением, наряду с ядерным спином и природным содержанием (в %) является важнейшей характеристикой ядра. В табл. приведены основные характеристики некоторых ядер, в том числе и наиболее часто используемых в спектроскопии ЯМР.

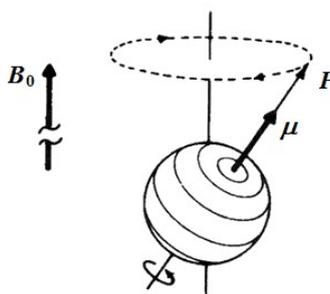


Рис. 1. Вращающийся заряд (протон) с угловым моментом  $P$  создает магнитный момент  $\mu$ . В магнитном поле  $B_0$  ось вращения заряда будет прецессировать вокруг направления поля.

При изложении физических основ МРТ обычно ядра водорода (протоны) описывают как маленькие элементарные магниты (диполи), имеющие два полюса. Каждый протон, вращаясь вокруг собственной оси, обладает небольшим магнитным моментом (вектором намагниченности). Это обусловлено тем, что вращающиеся заряженные частицы создают локальное магнитное поле. Вращающиеся магнитные моменты ядер называют спинами. Когда атомные ядра, обладающие магнитными свойствами, помещаются во внешнее магнитное поле, они могут поглощать электромагнитные волны определенных частот, зависящих от типа ядер, напряженности магнитного поля, физического и химического окружения ядер. Поглощение и испускание таких радиочастотных (электромагнитных) волн и является основным явлением, используемым в МРТ и МР-спектроскопии.

Ядро	Спин I	Природное содержание [%]	Частота ЯМР при $B_0 = 2.3488 \text{ Т}$ (МГц)	Гиромагнитное отношение ( $\gamma$ ) [ $10^7 \text{ рад Т}^{-1} \text{ сек}^{-1}$ ]
$^1\text{H}$	$1/2$	99.98	100.00	26.7512
$^2\text{H}$	1	0.016	15.351	4.1066
$^{13}\text{C}$	$1/2$	98.9	-	-
$^{12}\text{C}$	1	1.108	25.144	6.72640
$^{14}\text{N}$	$1/2$	99.63	7.224	1.9338
$^{15}\text{N}$	1	0.37	10.133	-2.712
$^{16}\text{O}$	0	99.96	-	-
$^{17}\text{O}$	$5/2$	0.037	13.557	-3.6279

<sup>1</sup> <sub>9</sub> F	1 /2	100	94.077	25.181
<sup>3</sup> <sub>1</sub> P	1 /2	100	40.481	10.841

Таблица 1. Ядерные спины, природное содержание, резонансные частоты и величины гиромагнитных отношений для некоторых ядер.

Существуют простые правила для определения наличия магнитных свойств у ядер и предсказания возможности использования (или неиспользования) их в эксперименте ЯМР, которые выражаются через порядковый номер  $Z$  и атомную массу  $A$ :

1. Ядра с четной массой  $A$  и четным атомным номером  $Z$  (четно- четные ядра) не обладают магнитным моментом ( $I = 0$ ), их сигналы в экспериментах ЯМР не наблюдаются. К таким ядрам относятся  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{32}\text{S}$ .

2. Ядра с четной массой  $A$  и нечетным атомным номером  $Z$  (четно- нечетные ядра) характеризуются целым спином, обладают магнитным моментом и детектируются в спектрах ЯМР. К ним относятся  $^2\text{H}$  ( $I = 1$ ),  $^{10}\text{B}$  ( $I = 3$ ),  $^{14}\text{N}$  ( $I = 1$ ),  $^{50}\text{V}$  ( $I = 6$ ).

3. Ядра с нечетной массой  $A$  и нечетным атомным номером  $Z$ , а также с нечетной массой и нечетным атомным номером обладают полуцелым спином и используются в спектроскопии ЯМР. К ним относятся  $^1\text{H}$  ( $I = 1/2$ ),  $^{11}\text{B}$  ( $I = 3/2$ ),  $^{13}\text{C}$  ( $I = 1/2$ ),  $^{15}\text{N}$  ( $I = 1/2$ ),  $^{17}\text{O}$  ( $I = 5/2$ ),  $^{19}\text{F}$  ( $I = 1/2$ ),  $^{29}\text{Si}$  ( $I = 1/2$ ),  $^{31}\text{P}$  ( $I = 1/2$ ).

4. Ядра со спином  $I \geq 1$  называются квадрупольными. Такие ядра наряду с магнитным моментом обладают электрическим квадрупольным моментом, что приводит к взаимодействию этих ядер с электрическими полями.

### Ядро в статическом магнитном поле

Наиболее интересными для использования в МРТ 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 ( $^1\text{H}$ ) наиболее распространены в природе, потому что основными компонентами тканей живых существ являются вода, жир, углеводы и другие биохимические соединения, содержащие водород. Для клинической МРТ используется именно сигнал, поступающий от протонов.

Если ядро с угловым моментом количества движения  $P$  и магнитным моментом  $\mu$  поместить в статическое магнитное поле  $B_0$ , то возникнет его прецессия вокруг направления поля. Поведение ядра во внешнем магнитном поле можно сравнить с

вращающимся волчком. Под действием магнитного поля вращающееся ядро совершает сложное движение: оно вращается вокруг своей оси, кроме того, сама ось вращения совершает конусообразные круговые движения (прецессирует), отклоняясь от вертикального направления.

Теперь, если расположить систему координат так, чтобы направление поля  $B_0$  совпадало с осью  $Z$  (рис. 1), то  $Z$  - компонента углового момента количества движения будет совпадать с направлением магнитного поля и определяться следующим соотношением:

$$P_z = m\hbar, \quad (4)$$

где  $m$  – магнитное квантовое число, которое принимает значения  $I, I-1, \dots, -I+1, -I$ . Очевидно, что  $m$  может принимать  $(2I+1)$  различных значений. Угловой и магнитный моменты имеют аналогичное число возможных ориентаций (квантование по направлению). Для ядер со спином  $I = 1/2$  (например,  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ )  $m = +1/2$  и  $-1/2$  (две ориентации), а для ядер с  $I = 1$  ( $^2\text{H}$  и  $^{14}\text{N}$ )  $m = +1, 0$  и  $-1$  (три ориентации) (рис. 2).

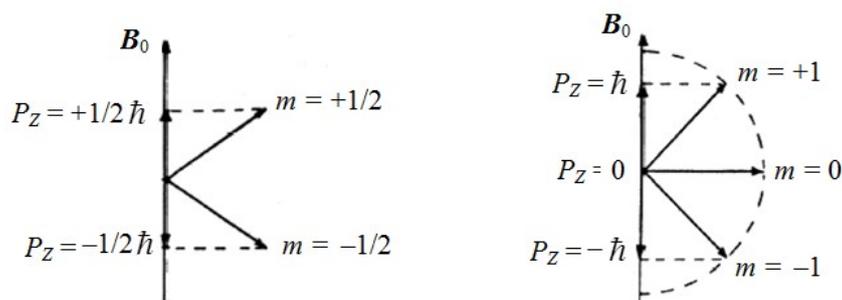


Рис. 2. Возможные ориентации углового момента количества движения  $P$  в магнитном поле  $B_0$  для ядер со спинами  $I = 1/2$  и  $1$ .

Из выражения (2) и (4) следует, что  $Z$  – компоненты магнитного момента направлены вдоль поля  $B_0$ :

$$\mu_z = m \gamma \hbar \quad (5)$$

В классическом описании ядерные диполи прецессируют вокруг оси  $Z$  подобно волчку с произвольным значением угла  $\Theta$ .

Частота прецессии (вращения) ядерного диполя (ларморова частота) пропорциональна плотности магнитного потока:

$$\nu_L = \gamma 2\pi B_0 \quad (6)$$

Например, ларморова частота для протона при магнитном поле 2,3488 Тл равна 100 МГц. ( $267,512/6,28 \cdot 2,3488 = 100$ )

С точки зрения квантово-механических представлений (в противоположность

классическому описанию) разрешенными значениями угла прецессии  $\Theta$  считаются те, при которых проекция углового момента (спина) на ось  $Z$  имеет только целые или полуцелые значения  $I$ . Для ядер со спином  $I = 1/2$  ( $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ ) этот угол прецессии равен  $54.044^\circ$  (рис. 3).

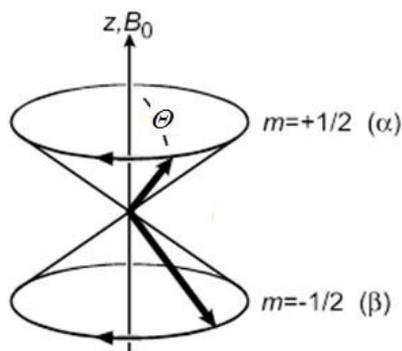


Рис. 3. Прецессия ядерных диполей с  $I = 1/2$ ;  $m = +1/2$ ,  $\alpha$ -состояние и  $m = -1/2$ ,  $\beta$ -состояние.

### Энергия ядра в магнитном поле

Для понимания того, как частицы со спином ведут себя в магнитном поле, представим протон. Представим, что спин этого протона, является вектором магнитного момента, который заставляет протон вести себя как очень маленький магнит с северным и южным полюсами. Когда протон помещен во внешнее магнитное поле, вектор спина располагается как магнит, по отношению ко внешнему полю. Состояние, когда полюса расположены N-S-N-S, является низкоэнергетическим, а N-N-S-S – высокоэнергетическим

Магнитный диполь, помещенный в магнитное поле с плотностью потока  $B_0$ , обладает энергией, равной:

$$E = -\mu_z B_0 \quad (7)$$

Для ядра с  $(2I + 1)$  возможными ориентациями спина имеется  $(2I + 1)$  дискретных энергетических состояний (ядерные Зеемановские уровни). Из выражений (5) и (7) получаем:

$$E = -m \gamma \hbar B_0 \quad (8)$$

Для ядер со спином  $I = 1/2$  ( $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$ ) имеется два энергетических уровня в соответствии с двумя значениями магнитного квантового числа  $m$ .

Если  $m = +1/2$ , то компонента магнитного момента ориентирована вдоль поля  $B_0$  и является энергетически более предпочтительной, т.е. характеризуется меньшей энергией (рис. 4).

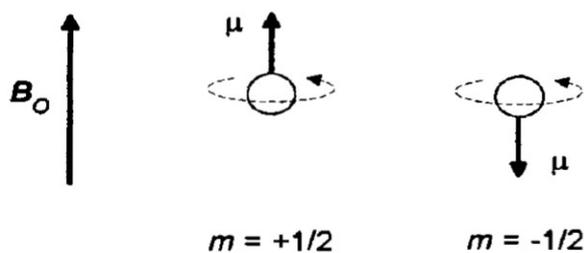


Рис. 4. Ориентации спина протона в магнитном поле  $B_0$ .

В квантовой механике состояние с  $m = +1/2$  описывается спиновой функцией  $\alpha$  ( $\alpha$ -состояние). Наоборот, для  $m = -1/2$  Z-компонента ориентирована антипараллельно полю  $B_0$ . Это состояние описывается функцией  $\beta$  ( $\beta$ -состояние) (рис. 4).

Различие в энергиях между двумя соседними энергетическими уровнями составляет:

$$\Delta E = \gamma \hbar B_0 \quad (9)$$

и зависит от плотности магнитного потока  $B_0$  (рис. 5 и 6).

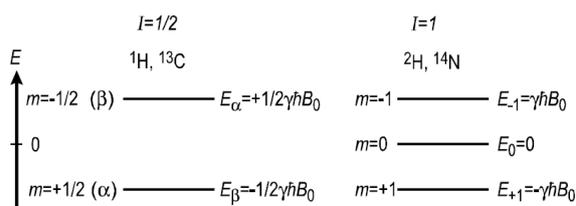


Рис.5. Схема энергетических уровней для ядер со спинами  $I = 1/2$  (слева) и  $I = 1$  (справа). Для ядер со спином  $I = 1$  ( $^2\text{H}$  и  $^{14}\text{N}$ )  $m$  принимает значения  $+1, 0, -1$ , поэтому наблюдаются три энергетических уровня.

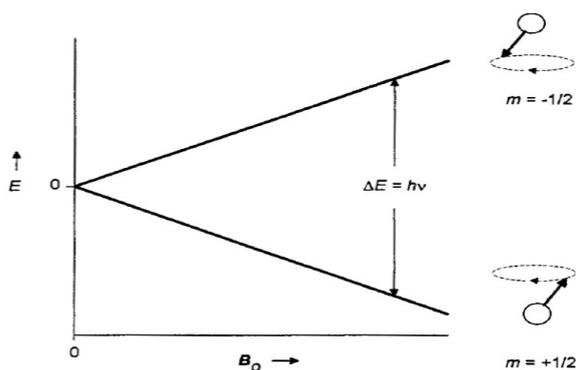


Рис. 6. Зависимость разности энергий между двумя соседними энергетическими уровнями от плотности магнитного потока  $B_0$  ( $I=1/2$ ).

Для ядер со спином  $I = 1/2$  эта величина равна:

$$\Delta E = - B_0 (-1/2 - 1/2) \gamma \hbar = \gamma \hbar B_0 \quad (9.a)$$

## Населенности энергетических уровней

В макроскопическом образце при термическом равновесии ядра распределяются по различным энергетическим уровням в соответствии со статистикой Больцмана.

Рассмотрим ядра со спином  $I = 1/2$ . Обозначим число ядер на верхнем энергетическом уровне  $N_\beta$ , а на нижнем уровне -  $N_\alpha$ . Тогда:

$$\frac{N_\beta}{N_\alpha} = e^{\frac{-\Delta E}{kT}} \approx 1 - \frac{\Delta E}{kT} = 1 - \frac{\gamma \hbar B_0}{kT}, \quad (10)$$

где  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана,  $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка, а  $T$  – абсолютная температура.

Избыток ядер на нижнем энергетическом уровне составляет приблизительно одну миллионную долю (м.д.). Сигнал в ЯМР-спектроскопии получается из разности между поглощенной энергией спинами, которые подверглись переходу с более низкого энергетического уровня на более высокий и энергией, испускаемой спинами, которые одновременно перешли с более высокого энергетического уровня на более низкий. Сигнал пропорционален разности в заселенностях уровней. ЯМР является достаточно чувствительной спектроскопией, поскольку может различать такие небольшие различия в заселенностях. Резонанс или энергетический обмен между спинами и спектрометром на определенной частоте придает ЯМР такую чувствительность. Из выражения (10) становится очевидной целесообразность повышения напряженности постоянного магнитного поля  $B_0$  до максимально достижимого значения. При этом увеличиваются как расстояния между энергетическими уровнями, так и вследствие увеличения избыточной заселенности нижнего уровня повышается чувствительность метода.

## Макроскопическое намагничивание

Согласно классической теории, ядра со спином  $I = 1/2$  прецессируют вокруг направления магнитного поля (рис. 7). Если суммировать  $Z$ -компоненты магнитных моментов всех ядер, присутствующих в образце, то в результате прецессии ядерных диполей на поверхности двойного конуса вокруг оси  $Z$  возникает макроскопическое намагничивание, причем суммарный вектор  $M_0$  с учетом  $N_\alpha > N_\beta$  будет располагаться вдоль положительного направления  $Z$ . Вектор макроскопической намагниченности играет важную роль в описании импульсных экспериментов.

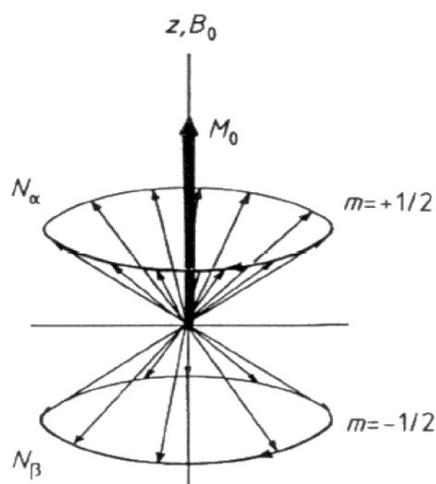


Рис. 7. Распределение  $N$  прецессирующих ядерных магнитных диполей ( $N=N_{\alpha}+N_{\beta}$ ) на поверхности двойного конуса. Так как  $N_{\alpha}>N_{\beta}$  результирующим является вектор макроскопической ядерной намагниченности  $M_0$ .

### Основные принципы эксперимента ЯМР

Условие резонанса реализуется тогда, когда для стимуляции переходов с разных энергетических уровней ядра облучают радиочастотным полем с соответствующей частотой  $\nu_1$ . Переходы становятся возможны при выполнении следующего условия:

$$h\nu_1 = \Delta E \quad (11)$$

Переходы ядер с нижнего уровня на верхний соответствуют поглощению энергии, а с верхнего уровня на нижний – испусканию энергии. Т.к. на нижнем уровне имеется некоторый избыток ядер, то преобладает процесс поглощения энергии облучающего радиочастотного поля. Интенсивность наблюдаемого сигнала поглощения пропорциональна разности населенностей уровней  $N_{\alpha} - N_{\beta}$ , а следовательно, и полному числу спинов в образце (или концентрации ядер). Если же населенности равны, то сигнал не наблюдается, т.е. имеет место насыщение.

Из выражений (6) и (11) получаем условие резонанса:

$$\nu L = \nu_1 = \gamma 2\pi B \quad (12)$$

Термин “резонанс” относится к классической интерпретации явления ЯМР, поскольку переходы между энергетическими уровнями осуществляются только при совпадении частоты облучающего электромагнитного поля  $\nu$  и частоты  $\nu L$  ларморовской прецессии вектора макроскопической ядерной намагниченности  $M_0$ .

До сих пор мы рассматривали изолированные ядра со спином  $I = 1/2$ , для которых наблюдается два энергетических уровня. Но какие переходы разрешены, когда

наблюдается более, чем два энергетических уровня, как в случае ядер со спином  $I \geq 1$  (рис. 5, правая часть), или для системы связанных ядер, которые будут рассмотрены далее?

Квантовая механика разрешает только те переходы, в которых магнитное квантовое число меняется на единицу:

$$\Delta m = \pm 1 \quad (13)$$

Таким образом, переходы могут иметь место только между соседними энергетическими уровнями (так, например, для изотопа  $^{14}\text{N}$  переход с  $m = +1$  на  $m = -1$  запрещен).

Подытоживая, мы заключаем, что во внешнем магнитном поле ядра, обладающие магнитными свойствами, подобно протонам, могут находиться либо в стабильном энергетическом состоянии (нижний уровень), либо в возбужденном состоянии (верхний уровень) с более высокой энергией. 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. Радиоволны являются квантами энергии, они вызывают переход спинов на уровень с более высокой энергией. Частота этих волн должна иметь определенную величину (так называемая Ларморова частота), чтобы под их воздействием вектор намагниченности отклонился от направления внешнего магнитного поля. При возвращении системы к равновесному состоянию излучается поглощенная энергия (МР-сигнал), которая может быть обнаружена, обработана и использована для построения МР-изображений (томограмм).

7.4. Самостоятельная работа обучающихся под руководством преподавателя.  
Написать конспект.

7.5. Контроль усвоения обучающимися темы занятия (знания и умения) с применением тестовых заданий, ситуационных задач и других видов контроля.

Задание 1

Ответьте на вопросы:

1. Что такое ЯМР? История открытия. Области применения ЯМР.
2. Механический и магнитный момент.
3. Строение ядра.
4. Магнитные свойства ядер.
5. Правила определения магнитных свойств ядер.

6. Какие ядра можно использовать в МРТ?
7. Прецессия ядер в магнитном поле.
8. Ларморовая частота.
9. Разрешенные состояния ядер в магнитном поле.
10. Энергия ядер в магнитном поле.
11. Расщепление энергетического уровня ядер в магнитном поле.
12. Населенности энергетических уровней.
13. Макроскопическое намагничивание.

## Задание 2.

Решите следующие задачи:

1. Рассчитайте число спиновых состояний и величины  $m$  для следующих ядер:  $^{11}\text{B}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{31}\text{P}$ , используя значения ядерных спинов из таблицы 1.

2. Рассчитайте величину магнитного поля для ядер протона при ларморовой частоте 600 МГц. Какая частота для ядер  $^{13}\text{C}$  при таком магнитном поле?

3. Какова разность энергий двух спиновых состояний для ядер  $^1\text{H}$  (а) и  $^{13}\text{C}$  (б) в магнитном поле  $B_0 = 2.35 \text{ Т}$ ? Ответ: а)  $6.63 \times 10^{-26} \text{ Дж}$ ; б)  $1.67 \times 10^{-26} \text{ Дж}$ .

4. Какова частота прецессии  $\nu$  для ядер  $^1\text{H}$  и  $^{13}\text{C}$  в поле  $B_0 = 2.35 \text{ Т}$ ? Ответ: а) 100 МГц., б) 25,16 МГц.

5. Рассчитайте избыток населенности на нижнем энергетическом уровне для протонов, при  $B_0 = 1.41 \text{ Т}$  (резонансная частота  $\nu_1 = 60 \text{ МГц}$ ) и при  $T = 300 \text{ К}$ . Ответ:  $N_\beta = 0.9999904 N_\alpha$ .

6. Рассчитайте избыток населенности на нижнем энергетическом уровне для протонов, при  $B_0 = 7.05 \text{ Т}$  ( $\nu_1 = 300 \text{ МГц}$ ) и при  $T = 300 \text{ К}$ . Ответ:  $N_\beta = 0.99995 N_\alpha$ .

8. **Литература:** см. в приложении

<p align="center"><b>Наименование печатных и (или) электронных образовательных и информационных ресурсов</b></p>	<p align="center"><b>Наличие печатных и (или) электронных образовательных и информационных ресурсов (наименование и реквизиты документа, подтверждающего их наличие), количество экземпляров</b></p>
<p align="center"><b>Библиотеки, в том числе цифровые (электронные) библиотеки, обеспечивающие доступ к профессиональным базам данных, информационным справочным и поисковым системам, а также иным информационным ресурсам</b></p>	
<p>База данных «Электронная учебная библиотека»</p>	<p>ГОУ ВПО Башкирский государственный медицинский университет федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию. Свидетельство №2009620253 от 08.05.2009 <a href="http://library.bashgmu.ru">http://library.bashgmu.ru</a></p>
<p>Электронно-библиотечная система «Лань»</p>	<p>ООО «ЭБС Лань», Договор № 03011000496220002520001 от 04.07.2022</p>
<p>Электронно-библиотечная система «Консультант студента»</p>	<p>ООО «Институт проблем управления здравоохранением», Договор № 03011000496220003670001 от 12.08.2022 <a href="http://www.studmedlib.ru">www.studmedlib.ru</a></p>
<p align="center"><b>Печатные и (или) электронные учебные издания (включая учебники и учебные пособия)</b></p>	
<p align="center"><b>Базовая часть</b></p>	
<p align="center"><b>Основная литература</b></p>	
<p>Лучевая диагностика : учебник / ред. Г. Е. Труфанов. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва : ГЭОТАР-МЕДИА, 2021. - 478,[6] с.</p>	<p align="center">25</p>
<p align="center"><b>Дополнительная литература</b></p>	
<p><b>Радионуклидная диагностика.</b> Физические принципы и технологии: учебное пособие для вузов/Климанов В.А. - Москва: Юрайт, 2014, 143 с. - Режим доступа: ЭБС «Лань» <a href="https://e.lanbook.com/book/75874">https://e.lanbook.com/book/75874</a></p>	<p align="center">Неограниченный доступ</p>
<p>Филимонов, В. И. Атлас лучевой анатомии человека / Филимонов В. И. , Шилкин В. В. , Степанков А. А. , Чураков О. Ю. - Москва : ГЭОТАР-</p>	<p align="center">Неограниченный доступ</p>

<p>Медиа, 2010. - 452 с. - ISBN 978-5-9704-1361-6. -  Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" :  [сайт]. - URL :  <a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970413616.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970413616.html</a></p>	
<p>Клиническая радиология : учебное пособие /  Ю. Ш. Халимов, А. Я. Фисун, А. Н. Власенко [и др.] ;  под редакцией Ю. Ш. Халимова. — Санкт-Петербург :  ФОЛИАНТ, 2020. — 224 с. — ISBN 978-5-93929-303-7.  — Текст : электронный // Лань : электронно-  библиотечная система. — URL:  <a href="https://e.lanbook.com/book/314684">https://e.lanbook.com/book/314684</a></p>	<p>Неограниченный доступ</p>
<p>Ядерная медицина. Радионуклидная  диагностика: учебное пособие для вузов/ Климанов  В.А. -2 изд. - Москва: Юрайт, 2022, 308 с.  <a href="https://e.lanbook.com/book/75874">https://e.lanbook.com/book/75874</a></p>	<p>Неограниченный доступ</p>
<p>Лучевая диагностика [Текст]: [учеб. для вузов]  / И. П. Королюк, Л. Д. Линденбратен. – 3-е  изд.,перераб и доп. – Москва: БИНОМ, 2015. – 492 с.:  ил. – (Учебная литература для студентовмедицинских  вузов).</p>	<p>10</p>