

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКЕ

УДК 37.6
ББК 92
П44

Подколзина, В. А.

П44 Конспект лекций по медицинской физике / В. А. Подколзина — М. : Т8 Издательские технологии / RUGRAM, 2020. — 160 с. — (Полезные конспекты).

Представленный вашему вниманию конспект лекций предназначен для подготовки студентов медицинских вузов к сдаче экзаменов.

Книга включает в себя полный курс лекций по медицинской статистике, написана доступным языком и будет незаменимым помощником для тех, кто желает быстро подготовиться к экзамену и успешно его сдать.

BIC JN
BISAC EDU000000

ЛЕКЦИЯ №1. Медицинская физика — краткая история

Достижения современной медицины в значительной степени обязаны успехам физики, техники и медицинского приборостроения. В медицине в настоящее время широко применяются ионизирующие и неионизирующие излучения, радионуклиды, гамма-аппараты, электронные и протонные ускорители, радиодиагностические гамма-камеры, рентгеновские и эмиссионные компьютерные томографы, магнитно-резонансовые томографы, магнитотерапия, лазеротерапия, ультразвуковое и другое оборудование. Все это изменило характер самой медицины.

Медицинская физика — это наука о системе, которая состоит из физических приборов и излучений, лечебно-диагностических аппаратов и технологий.

Цель медицинской физики — изучение этих систем профилактики и диагностики заболеваний, а также лечение больных с помощью методов и средств физики, математики и техники. Природа заболеваний и механизм выздоровления во многих случаях имеют биофизическое объяснение.

Медицинские физики непосредственно участвуют в лечебно-диагностическом процессе, совмещая физико-медицинские знания, разделяя с врачом ответственность за пациента.

Развитие медицины и физики всегда были тесно переплетены между собой.

Еще в глубокой древности медицина использовала в лечебных целях физические факторы, такие как тепло, холод, звук, свет, различные механические воздействия (Гиппократ, Авиценна и др.).

Первым медицинским физиком был Леонардо да Винчи (пять столетий назад), который проводил исследования механики передвижения человеческого тела.

Наиболее плодотворно медицина и физика стали взаимодействовать с конца XVIII — начала XIX вв., когда были открыты электричество и электромагнитные волны, т. е. с наступлением эры электричества.

Назовем несколько имен великих ученых, сделавших важнейшие открытия в разные эпохи.

Конец XIX — середина XX вв. связаны с открытием рентгеновских лучей, радиоактивности, теорий строения атома, электромагнитных излучений. Эти открытия связаны с именами В. К. Рентгена, А. Беккереля, М. Складовской-Кюри, Д. Томсона, М. Планка, Н. Бора, А. Эйнштейна, Э. Резерфорда.

В. К. Рентгена называют отцом радиационной медицинской физики. Благодаря его открытию начали развиваться рентгенодиагностика и лучевая терапия. Научный мир после открытия Рентгена был как бы заражен лихорадкой новых открытий.

В этот период большое количество физических исследований и открытий сделал целая плеяда советских физиков: И. Е. Тамм, П. Л. Капица, Л. Д. Ландау, Г. Е. Флеров, К. А. Петржак, И. Я. Пomerанчук. Работы этих и других физиков внесли огромный вклад в развитие физической науки, что в дальнейшем позволило успешно решать задачи медицинской физики и инженерии, внедрять физику в медицину.

Медицинская физика по-настоящему стала утверждаться как самостоятельная наука и профессия только во второй половине XX в. — с наступлением атомной эры. В медицине стали широко применяться радиодиагностические гамма-аппараты, электронные и протонные ускорители, радиодиагностические гамма-камеры, рентгеновские компьютерные томографы и другие, гипертермия и магнитотерапия, лазерные, ультразвуковые и другие медико-физические технологии и приборы. Все это изменило характер самой медицины. Она из медицины хирургической и лекарственной превратилась в медицину физическую. Однако на практике физические технологии тесно связаны с хирургическим и лекарственным лечением.

Медицинская физика имеет много разделов и названий: медицинская радиационная физика, клиническая физика, онкологическая физика, терапевтическая и диагностическая физика.

Самым важным событием в области медицинского обследования можно считать создание компьютерных томографов, которые расширили исследования практически всех органов и систем человеческого организма. ОКТ были установлены в клиниках всего мира, и большое количество физиков, инженеров и врачей работало в области совершенствования техники и методов доведения ее практически до пределов возможного.

Развитие радионуклидной диагностики представляет собой сочетание методов радиофармацевтики и физических методов регистрации ионизирующих излучений. Методы получения изображения с помощью радиофармпрепаратов стали развиваться с 1948 г., когда было получено изображение щитовидной железы во время обследования. В развитии этих методов отмечаются следующие этапы: автоматическое сканирование, гамма-камера, однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), позитронная эмиссионная томография (ПЭТ).

Позитронная эмиссионная томография-визуализация была изобретена в 1951 г. и опубликована в работе Л. Ренна, однако этот метод недостаточно распространен из-за слишком большой стоимости и узкой области применения.

В 1946 г. Ф. Блохом и Э. Парселом, лауреатами Нобелевской премии, были открыты ядерно-магнитные резонансы, началось интенсивное развитие и внедрение в медицину ЯМР-спектроскопии и ЯМР-визуализации и были получены первые изображения патологических образований у человека. В настоящее время магнитно-резонансная томография (МРТ) широко распространена в клиниках и дает большие диагностические возможности.

Лучевая терапия: в 1896 г. в Вене Леопольд Фройнд начал проведение фракционно-лучевой терапии на рентгенодиагностическом аппарате (больная — 5-летняя девочка с волосатым невусом).

Почти на 14 лет позже началось применение в лучевой терапии радионуклидов. В 1898 г. Пьером Кюри был открыт радий. В 1910 г. Р. Вернер в клинике Гейдельберга впервые применил аппарат, заряженный 2 г радия. В 1951 г. в Канаде впервые был применен реактор с мощным источником высокой активности. В настоящее время для облучения в клиниках применяются гамма-терапевтические аппараты с Co-60 активностью порядка 5000 кюри.

Первый медицинский линейный ускоритель с энергией 4 МэВ, созданный в 1950 г., был введен в эксплуатацию в Лондоне в 1952 г. Линейные ускорители являются более эффективными и экологически чистыми по сравнению с радионуклидными аппаратами.

В настоящее время в медицинских центрах работает более 4000 линейных ускорителей.

Развитие и появление протонной лучевой терапии связано с высказываниями Р. Р. Вильсона в 1946 г. о преимуществах облучения злокачественных опухолей пучками ускоренных протонов по сравнению с облучением фотонами и электронами. Облучения онкологических больных протонами впервые были проведены в 1950—1960-х гг. в США и Швеции. В России эти работы начались в 1965 г. (Москва), затем в 1967 г. в Дубне и в 1975 г. — в Гатчине. Накоплен большой опыт лечения больных с внутричерепными новообразованиями, внутриглазными опухолями, опухолями простаты, шейки матки и других локализаций. В дальнейшем применение этого метода было связано с созданием специализированных госпитальных центров протонной лучевой терапии, первый из которых стал работать в 1990 г. в Лома-Линде.

В России в развитие этих методов большой вклад внесли М. Ф. Стельмах, О. К. Скобелкин, С. Д. Плетнев, И. М. Корочкин.

Главным признаком утверждения медицинской физики как профессии является обучение особых специалистов — клинических физиков, которые вместе с врачами участвуют в процессах диагностики и лечения. Особенно они востребованы в лучевой терапии, ядерной медицине и сложных технологиях лучевой диагностики. Эти специалисты работают в больницах, университетах, научных медицинских и физических центрах, специальных центрах медицинской физики.

Наибольших успехов медицинская физика достигла в высокоразвитых странах, где и сама медицина находится на высоком уровне, таких как США, Германия, Англия, Финляндия, Швеция, Швейцария. Эти и другие развитые страны составляют список звезд первой величины в области медицинской физики.

Основные проблемы и понятия метрологии

Метрологией называют науку об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства, способах достижения требуемой точности. Измерением называют нахождение значения физической величины опытным путем с помощью технических средств. Измерения позволяют установить закономерности природы и являются элементом познания окружающего нас мира.

Различают измерения прямые, при которых результат получается непосредственно из измерения самой величины (например, измерение температуры тела медицинским термометром, измерение длины предмета линейкой), и косвенные, при которых искомое значение величины находят по известной зависимости между ней и непосредственно измеряемыми величинами (например, определение массы тела при взвешивании с учетом выталкивающей силы, определенной вязкостью жидкости по скорости падения в ней шарика). Технические средства для производства измерений могут быть разных типов. Наиболее известными являются приборы, в которых измерительная информация представляется в форме, доступной для непосредственного восприятия (например, температура представлена в термометре длиной столбика ртути, сила тока — показанием стрелки амперметра или цифровым значением).

Одно из распространенных средств измерений — измерительный преобразователь (датчик). Он предназначен для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки или хранения (например, температура может быть представлена электрическим сигналом).

Значение физической величины, полученное при измерении, отличается от истинного. Степень приближения результатов измерения к истинному значению измеряемой величины характеризует точность измерений.

Одними из основных метрологических понятий являются единицы физических величин. Единицей физической величины называют физическую величину, принятую по соглашению в качестве основы для количественной оценки соответствующей физической

величины. В измерительной практике достаточно широкое распространение получили относительные величины, которые являются отношением физической величины к одноименной физической величине, принимаемой за исходную. Относительная величина не имеет размерности и названия. Однако в ряде случаев относительную величину традиционно выражают со стократным или тысячекратным увеличением. При этом она уже будет иметь единицу, соответствующую проценту или промилле.

Для выражения уровня звукового давления, уровня интенсивности звука, усиления электрического сигнала, выражения частотного интервала и иного удобнее использовать логарифм относительной величины (наиболее распространен десятичный логарифм):

$$\lg = \frac{a_2}{a_1},$$

где a_1 и a_2 — одноименные физические величины.

Единицей логарифмической величины является бел (Б):

$$1B = \lg \frac{a_2}{a_1},$$

при $a_2 = 10a_1$, если a — энергетическая величина (мощность, интенсивность, энергия и т. п.), или

$$1B = 2 \lg \frac{a_2}{a_1}, \text{ при } a_2 = \sqrt{10a_1},$$

если a — силовая величина (сила, механическое напряжение, давление, напряженность электрического поля и т. п.).

Достаточно распространена доля единицы — децибел (дБ):

$$1 \text{ дБ} = 0,1B.$$

1дБ соответствует соотношению энергетических величин $a_2 = 1,26a_1$:

$$1 \text{ дБ} = 0,1B = 0,1 \lg \frac{a_2}{a_1};$$

$$\frac{a_2}{a_1} = 10^{\frac{1}{10}} = 1,26,$$

а для силовых величин $a_2 = 1,58a_1$,

$$1\partial B = 0,1B = 0,2\lg \frac{a_2}{a_1};$$

$$\frac{a_2}{a_1} = 10^{\frac{1}{20}} = 1,58.$$

Медицинская метрология и ее специфика

Технические устройства, используемые в медицине, называют обобщенным термином «медицинская техника». Большая часть медицинской техники относится к медицинской аппаратуре, которая в свою очередь подразделяется на медицинские приборы и медицинские аппараты.

Медицинским прибором принято считать техническое устройство, предназначенное для диагностических или лечебных измерений (медицинский термометр, сфигмоманометр, электрокардиограф и др.).

Медицинский аппарат — техническое устройство, позволяющее создавать энергетическое воздействие терапевтического, хирургического или бактерицидного свойства, а также обеспечивать в медицинских целях определенный состав различных субстанций (аппарат УВЧ-терапии, электрохирургии, искусственной почки, ушной протез и др.).

Метрологические требования к медицинским приборам достаточно очевидны. Многие медицинские аппараты призваны оказывать дозирующее энергетическое воздействие на организм, поэтому они и заслуживают внимания метрологической службы. Измерения в медицине достаточно специфичны, поэтому в метрологии выделено отдельное направление — медицинская метрология.

Рассматривая некоторые проблемы, характерные для медицинской метрологии и частично для медицинского приборостроения, следует отметить: в настоящее время медицинские измерения в большинстве случаев проводит медицинский персонал (врач, медсестра), не являющийся технически подготовленным. Поэтому целесообразно создавать медицинские приборы, градуированные в единицах физических величин, значения которых являются конечной медицинской измерительной информацией (прямые измерения).

Желательно, чтобы времени измерения вплоть до получения полезного результата тратилось как можно меньше, а информа-

ция была как можно полнее. Этим требованиям удовлетворяют вычислительные машины.

При метрологическом нормировании медицинского прибора важно учитывать медицинские показания. Врач должен определить, с какой точностью достаточно представить результаты, чтобы можно было сделать диагностический вывод.

Многие медицинские приборы выдают информацию на регистрирующем устройстве (например, электрокардиографе), поэтому следует учитывать погрешности, характерные для этой формы записи.

Одна из проблем — терминологическая. Согласно требованиям метрологии в названии измерительного прибора должна быть указана физическая величина или единица (амперметр, вольтметр, частотомер и др.). Названия для медицинских приборов не отвечают этому принципу (электрокардиограф, фонокардиограф, реограф и др.). Так, электрокардиограф следовало бы назвать милливольтметром с регистрацией показаний.

В ряде медицинских измерений может быть недостаточной информация о связи между непосредственно измеряемой физической величиной и соответствующими медико-биологическими параметрами. Так, например, при клиническом (бескровном) методе измерения давления крови допускается, что давление воздуха внутри манжеты приблизительно равно давлению крови в плечевой артерии. На самом деле эта связь зависит от ряда факторов, в том числе и от степени расслабления мускулатуры.

В процессе измерения медико-биологические параметры могут изменяться при длительных измерениях вследствие психофизиологических факторов (таких как воздействие окружающей обстановки, помещение, измерительный прибор, персонал и др.) или усталости мышц при многократных измерениях на динамометре. Подвижность органов или самого объекта также может приводить к разным результатам измерений.

Естественно, что при создании медицинской аппаратуры должны быть учтены и иные требования (санитарно-гигиенические, вопросы безопасности, надежности и др.).