



МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ПЛЕВЕН
ФАКУЛТЕТ „ИМЕ НА ФАКУЛТЕТА“
ЦЕНТЪР ЗА ДИСТАНЦИОННО ОБУЧЕНИЕ

Лекция №21-22

**Предмет и задачи на клиничната
дозиметрия. Физични основи на
лъчелечението и видовете
лъчелечение**

доц. Десислава Костова-Лефтерова

**Предмет и задачи на клиничната
дозиметрия. Физични основи на
лъчелечението. Терапия с рентгенови
лъчи.**

Злокачествени новообразувания (рак)

- Основните характерни свойства на раковите клетки са:
 - незрели и бързоразмножаващи се;
 - усвояват агресивно храната, постъпваща в организма, оставяйки “гладни” нормалните клетки;
 - прорастват в съседни нормални тъкани (пролиферация);
 - разпространяват се по кръвен и лимфен път в несъседни органи и тъкани (метастазазиране);

Йонизиращите лъчения в лечението на рака

- Лечение с йонизиращи лъчения – лъчелечение (ЛЛ), радиотерапия - един от трите основни терапевтични метода в онкологията; другите два метода са оперативният (хирургичният) и лекарственият (химиотерапията).
- Комплексно лечение - ЛЛ в комбинация с други терапевтични методи.
- Съчетано ЛЛ - използване при един и същ болен на два и повече метода за лечение с ЙЛ (напр. при рак на шийката на матката – вътрекухинна брахитерапия и дистанционно облъчване).
- Радикалното ЛЛ се прилага като самостоятелен (самостоятелно ЛЛ) или като допълнителен (следооперативно ЛЛ, предоперативно ЛЛ, едновременно лъче-химиолечение) високоефективен лечебен метод. Като локален метод за лечение ЛЛ има водеща роля, когато разположението и/или разпространението на тумора прави невъзможно радикалното хирургично лечение или съществуват възможности за съхранение на заболялия орган.

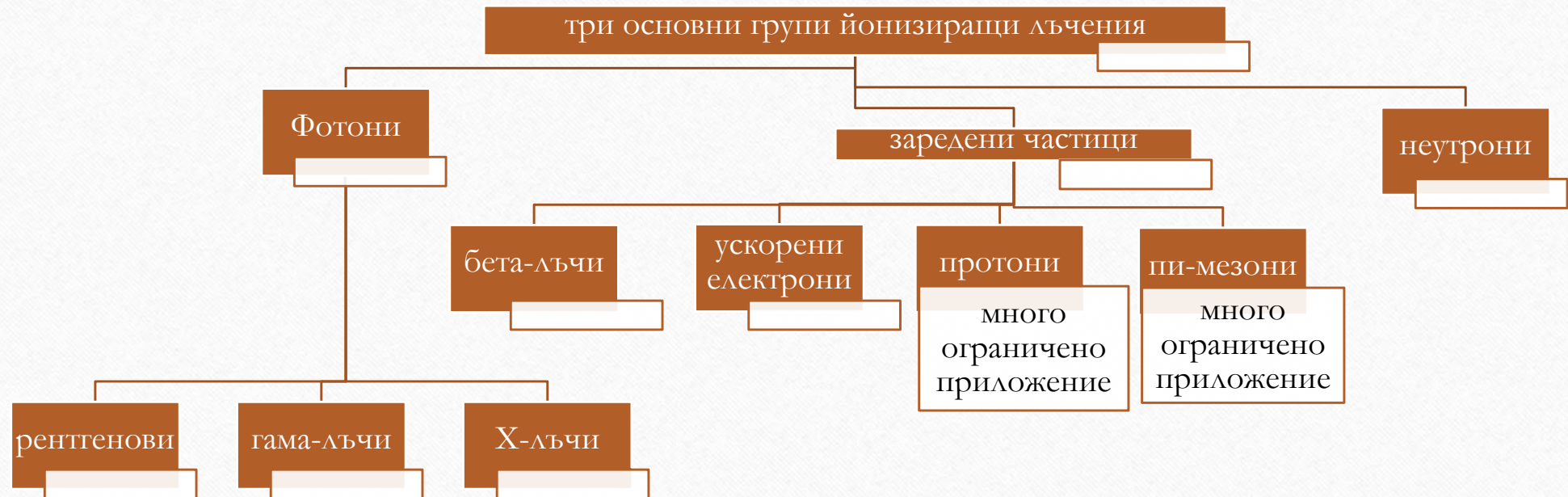
Йонизиращите лъчения в лечението на рака

НАРЕДБА № 6 ОТ 29 ЯНУАРИ 2010 Г. ЗА УТВЪРЖДАВАНЕ НА МЕДИЦИНСКИ СТАНДАРТ "ЛЪЧЕЛЕЧЕНИЕ"

Издадена от Министерството на здравеопазването

- 5.8. В зависимост от вида на апаратурното оборудване и натовареността на лъчелечебното звено с пациенти може да бъде обособена лаборатория по клинична дозиметрия.
- 5.8.1. Лабораторията по клинична дозиметрия в клиника (отделение) по ЛЛ трябва да бъде ръководена от медицински физик-експерт (със специалност медицинска физика).
- 5.9. Рентгенови лъчетерапевтични лаборанти са специалисти, преминали през специално обучение, преди да поемат отговорност за самостоятелно извършване на лъчелечебна дейност.

Йонизиращите лъчения в лечението на рака



Лечебният ефект на йонизиращите лъчения при онкологичните заболявания се дължи на тяхното йонизиращо действие.

Радиобиология на лечебния ефект на ЙЛ

- Облъчването с ЙЛ е неблагоприятно за биологичните тъкани.
- Повечето видове ракови клетки са недостатъчно зрели → по-чувствителни към въздействието на различни физични фактори, вкл. към ЙЛ.
- ЙЛ предизвикват забавяне на клетъчното делене, а при по-голяма погълната доза – загубване на способността за делене, т.е. смърт на клетките.

Облъчване с ЙЛ на злокачествени новообразувания

- Намаляване на обема на новообразуванието в резултат на загиване на най-лъчечувствителните клетки;
- Образуване на тъкани, които капсулират раковите;
- Влошаване на кръвоснабдяването (храненето) на раковите тъкани;
- Унищожаване на новообразуванието и заместването му със съединителна тъкан.

Облъчване с ЙЛ на доброкачествени новообразувания

- Болкоуспокояващ и противовъзпалителен ефект, основан на повишаването на проницаемостта на кръвоносните и лимфните съдове, което подобрява оттока на лимфа и други течности (“дренирането”).
- Механизмът на болкоуспокояващия ефект е въздействието на лъчението върху нервните окончания.
- Облъчването с йонизиращи лъчения на доброкачествените тумори се прилага рядко и по правило с ниски дози.

Дозиметрично планиране

- Задача: определянето на физичните и геометричните параметри на ЛЛ, провеждано по конкретния анатомо-топографски срез:
 - вид и енергия на лъчението;
 - филтър;
 - брой, форма, насочване и входна точка на лъчевите полета;
 - фокусно разстояние;
 - ъгъл на ротация;
 - защитни или изравнителни екрани и болуси;
 - отправна изодозна крива;
 - доза в кри-тичните органи в съседство на терапевтичния обем;
 - продължителност на облъчването или мониторни единици за всяко лъчево поле.

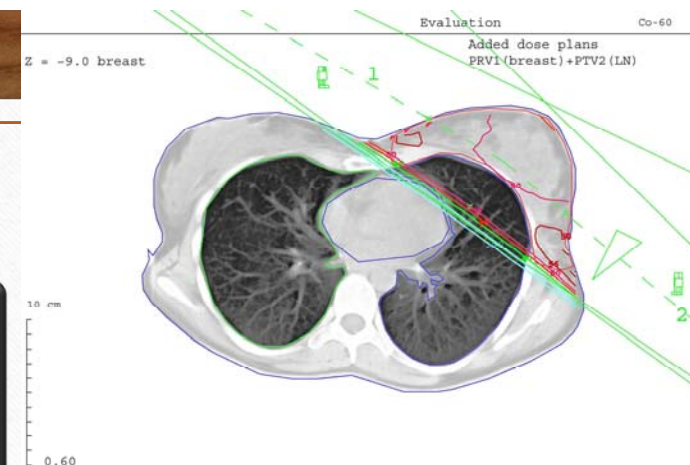
Дозиметрично планиране

- Критерии при дозиметричното планиране:
 - адекватно облъчване на терапевтичния обем при минимална предадена енергия;
 - отклонение в еднородността на разпределението на дозата в същия обем в допустимите граници;
 - минимална доза в критичните органи вън от терапевтичния обем, задължително под толерантната.
- Необходимо условие за оптимално дозиметрично планиране е наличието на пълния комплект от технически средства за ЛЛ.
- При много терапевтични случаи горните критерии се съчетават трудно → компромиси като корекции в терапевтичния обем, редуциране на терапевтичната доза, “жертване” на критичен орган и пр.

Дозиметрично планиране на ЛМ

НАРЕДБА № 6 ОТ 29 ЯНУАРИ 2010 Г. ЗА УТВЪРЖДАВАНЕ НА МЕДИЦИНСКИ СТАНДАРТ "ЛЪЧЕЛЕЧЕНИЕ"

Издадена от Министерството на здравеопазването

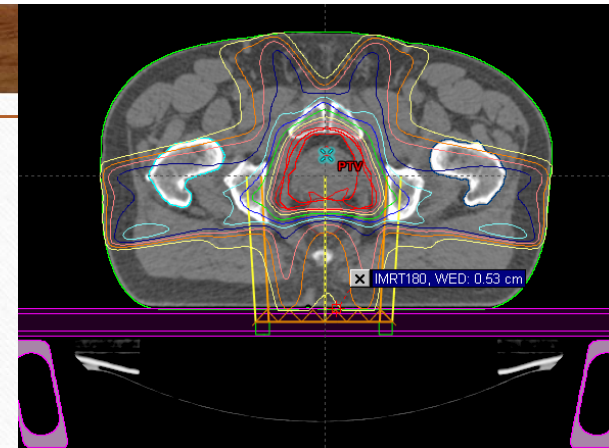


- 6.6.1. Планираният мишенен обем се задава от лекаря и се решава от медицинския радиологичен физик, следвайки приет локален протокол за дозиметричното планиране.
- 6.6.2. Дозиметричният план при двуизмерно планиране е графично представяне на дозното разпределение най-често през равнина, разположена в центъра на лъчевите полета. Очертанията на мишената са обозначени върху този единичен централен план.
- 6.6.3. При сложни геометрични обеми (глава и шия, шия и медиастиnum) междинно положение заема дозиметричното планиране в два допълнителни двуизмерни среза с изобразен КМО.

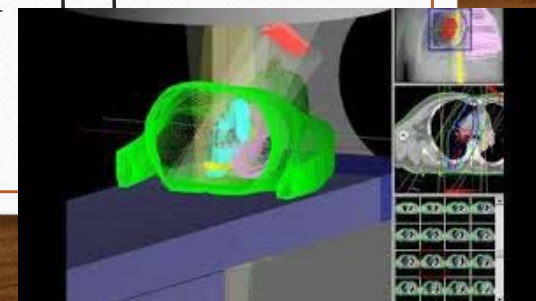
Дозиметрично планиране на ЛЛ

**НАРЕДБА № 6 ОТ 29 ЯНУАРИ 2010 Г. ЗА УТВЪРЖДАВАНЕ НА
МЕДИЦИНСКИ СТАНДАРТ "ЛЪЧЕЛЕЧЕНИЕ"**

Издадена от Министерството на здравеопазването



- 6.6.4. При триизмерно (обемно) планиране клиничните данни и разпределението на дозата се представят като обеми. Графичният дисплей на планиращия компютър представя множество данни в различни формати (триизмерно представяне, хистограми доза - обем за тумора, различните органи и тъкани и др.). Получената hard-сору документация (компютърна информация, която може да се напечата на хартия или да се представи на дисплея) е обикновено сбор от тези данни.
- 6.6.5. Лъчелечебният план трябва да бъде нормиран спрямо предписаната доза, като се изчислява дозата в предложените от ICRU 50 и ICRU 60 референтни точки съгласно табл. № 1.



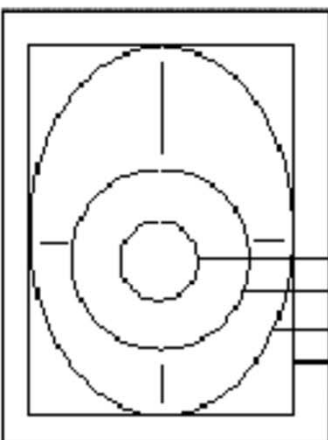
Дозиметрично планиране на ЛЛ

НАРЕДБА № 6 ОТ 29 ЯНУАРИ 2010 Г. ЗА УТВЪРЖДАВАНЕ НА МЕДИЦИНСКИ СТАНДАРТ "ЛЪЧЕЛЕЧЕНИЕ"

Издадена от Министерството на здравеопазването

- 6.6.6. Във всяко лъчелечебно звено трябва да се изготвят протоколи, описващи принципите за определяне на дозата в мишенния обем. Допустимите граници на толерантните дози за критичните нормални органи и тъкани се определят съобразно световния опит, съобразени с клиничния опит на съответната клиника (отделение) по ЛЛ.
- 6.6.7. Физикът изработва начален дозиметричен план. При необходимост и при поискване от лекаря физикът сменя данните за оптимизиране на плана.
- 6.6.8. Всяко отделение трябва да изработи правила за приемливост на лъчелечебния план.

Примерни облъчвани обеми на злокачествени заболявания



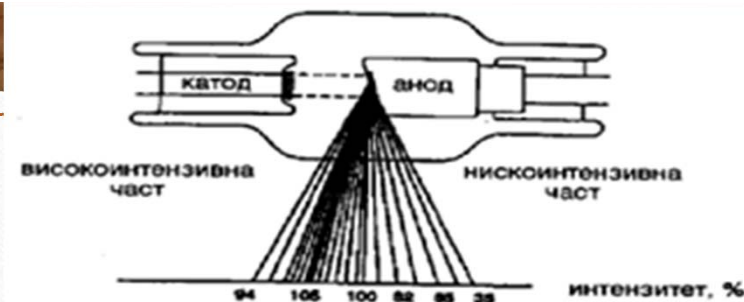
Същински туморен обем
Клиничен мишенен обем
Планиран мишенен обем
Третиран обем
Облъчван обем

Описание на обемите на лъчелечение

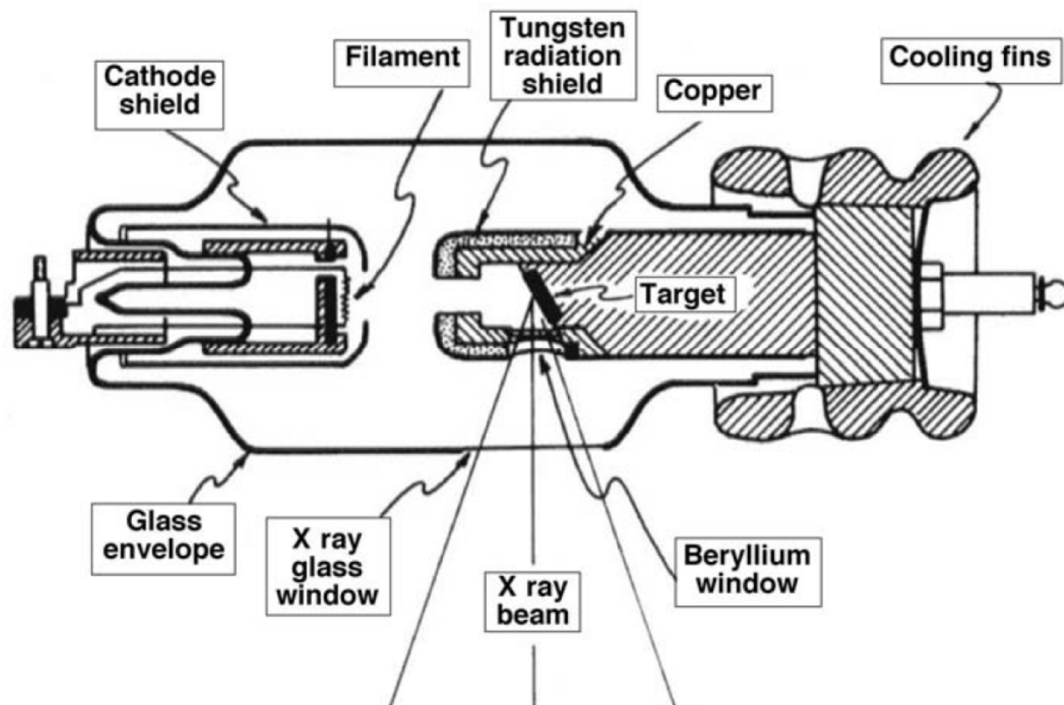
Обем	Описание
Същински туморен обем (СТО)	Демонстративният (видимият) тумор
Клиничен мишенен обем (КМО)	Видимият тумор (ако съществува), а също и обемът с очакваното (субклинично) разпространение на заболяването, тоест границите около СТО и регионалните лимфни възли според стадия на заболяването, които трябва да бъдат лекувани. КМО е чисто клинично-анатомично понятие.
Планиран мишенен обем (ПМО)	Клиничният мишенен обем или обеми и необходимите граници около тях според размера и формата на използваните полета. ПМО е геометрично понятие, използвано, за да е сигурно, че КМО ще получи предписаната доза, и то е дефинирано в дадена координатна система. Не съществуват различни възможности за разширяване на КМО в четирите направления.
Облъчван обем	Обемът, който получава доза, необходима за локален туморен контрол или палиация.
Третиран обем	Обемът, който получава доза, важна за толеранса на нормалните тъкани (с изключение на тези, дефинирани специално като рискови органи).

Терапия с рентгенови лъчи

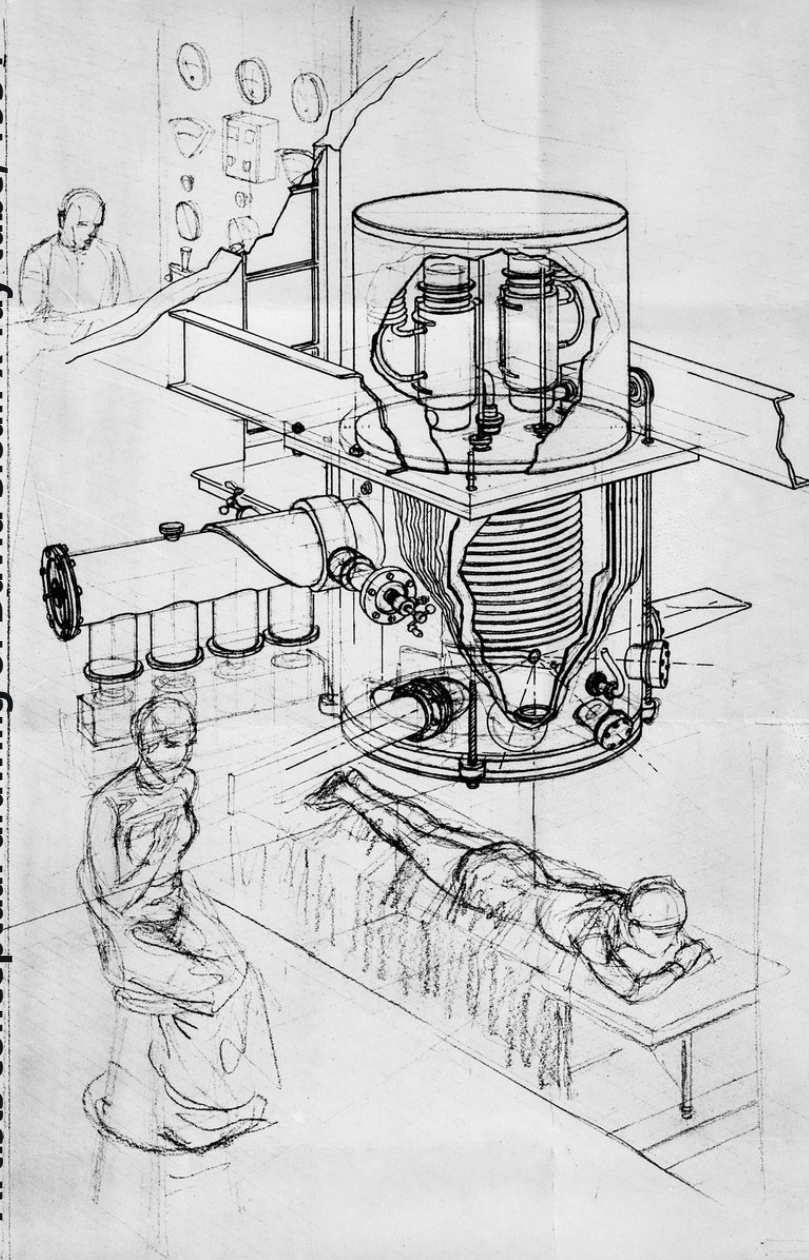
- *Терапевтичната рентгенова уредба* е предназначена за лъчелечение в енергийната област 40–300 keV.
- Нискоенергийната част се използва в близкофокусната (кожната), а частта 150-300 keV – в дълбоката рентгенова терапия.
- Терапевтичната рентгенова уредба е съставена от:
 - рентгенова тръба, мониторна йонизационна камера, охладителна система, лъчезащитен кожух, високоволтов генератор, филтри, блендираща система, пациентна маса, оптични системи, статив, електрически блокировки.



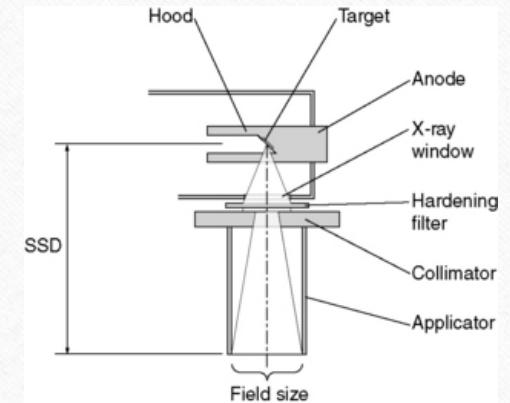
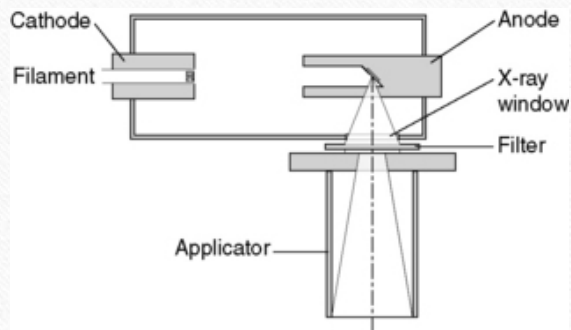
Терапия с рентгенови лъчи



Artists conceptual drawing of David Sloan x-ray tube, 1934



Терапия с рентгенови лъчи



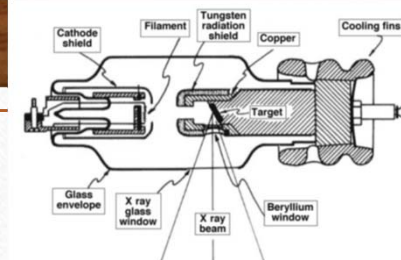
Терапия с рентгенови лъчи

- Интензитетът на рентгеновото лъчение не е постоянен поради флуктуации в термоелектронната емисия от катода и в ускоряващото напрежение.
- Постоянството на мощността на експозицията (дебитът) на генерираното от нея лъчение се контролира с помощта на **мониторната йонизационна камера** - плоска херметизирана въздушна камера, разположена вън от кожуха, с незначително отслабване на рентгеновите лъчи в нея.
- Дебитът се поддържа чрез регулиране на анодния ток на командното табло.
- Облъчването на пациентите се програмира чрез неговата продължителност, измервана от часовника на командното табло. То се прекъсва автоматично чрез изключване от часовника на ускоряващото напрежение след изтичане на зададеното време.
- При съвременните рентгенови уредби флуктуациите в дебита са незначителни, а мониторните камери работят в интегрален режим и се използват за програмиране на облъчването по доза.

Терапия с рентгенови лъчи

- По-голяма част от E_k на ускорените електрони се превръща в анода в топлина, чието отвеждане е задача на **охладителната система** на рентгеновата тръба.
- Ефективността на тази система, както и максималната работна температура на анода, ограничават мощността на тръбата.
- Охлаждането на анода при терапевтичните рентгенови тръби е по-малък проблем, отколкото при диагностичните - много по-голяма площ на мишената – $25-50 \text{ mm}^2$ (при $0,01-4 \text{ mm}^2$ за диагностичните тръби) и сравнително по-високото ускоряващо напрежение.
- → рентгеновите терапевтични тръби имат стационарен (неподвижен), а диагностичните – въртящ се анод.
- Първи елемент в охлаждащата система е машинното масло. То изпълва кожуха и охлажда целия стъклен балон, има относително голям специфичен топлинен капацитет и добра електроизолационна способност. Циркулира през външна водна среда, където от своя страна се охлажда.
- Дебелината на слоя машинно масло между стъкления балон и кожуха е само $2-3 \text{ mm}$ и затова то отслабва също незначително рентгеновите лъчи.

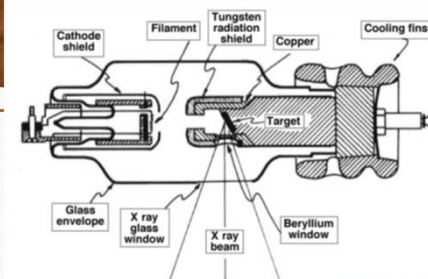
Терапия с рентгенови лъчи



- **Лъчезащитният кожух** е херметичен съд, в който е разположен стъкленият балон:
 - осигурява пространствено ограничаване на снопа рентгенови лъчи във всички посоки, освен в пространствения ъгъл на работния сноп;
 - осигурява РЗ в помещението, като отслабва рентгеновите лъчи във всички посоки вън от работния сноп; съгласно нормативните документи и изисквания.
 - осигурява механична здравина на стъкления балон;
 - осигурява електробезопасността на обслужващия персонал и на пациентите чрез заземяване;
 - участва в охладителната система на рентгеновата тръба.
- Лъчезащитният кожух е цилиндрична стоманена кутия, облицована от вътрешната страна с оловна ламарина (дебелина на оловото 1-2 mm). На изхода на рентгеновите лъчи стоманата и оловото са заменени с алуминий или бакелит.

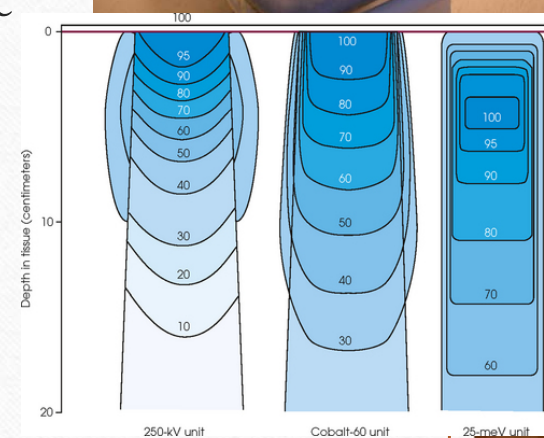
Терапия с рентгенови лъчи

- **Високоволтовият генератор** е източникът на ускоряващото U и на отоплителното напрежение U_f . Те са високочестотни като в диагностичните и осигуряват висока стабилност на ускоряващото и на отоплителното напрежение и много малки флуктуации в дебита.
- Изходното прозорче на рентгеновата тръба, машинното масло в лъчезащитния кожух, алуминиевата (бакелитовата) част на кожуха и трансмисионната йонизационна камера на пътя на рентгеновите лъчи създават т.нар. **собствена филтрация** на тръбата.
- При дълбоката рентгенова терапия е необходима и **допълнителна филтрация** от 1-2 mm мед (^{29}Cu). Поставят се на пътя на рентгеновите лъчи преди тубусите, за да погълнат фотоните с ниска енергия, които имат малка проникваща способност и натоварват лъчево кожата и подкожните тъкани.
- Недостатък: допълнителните филтри намаляват общия интензитет на лъчението и увеличават натоварването на рентгеновата тръба.



Терапия с рентгенови лъчи

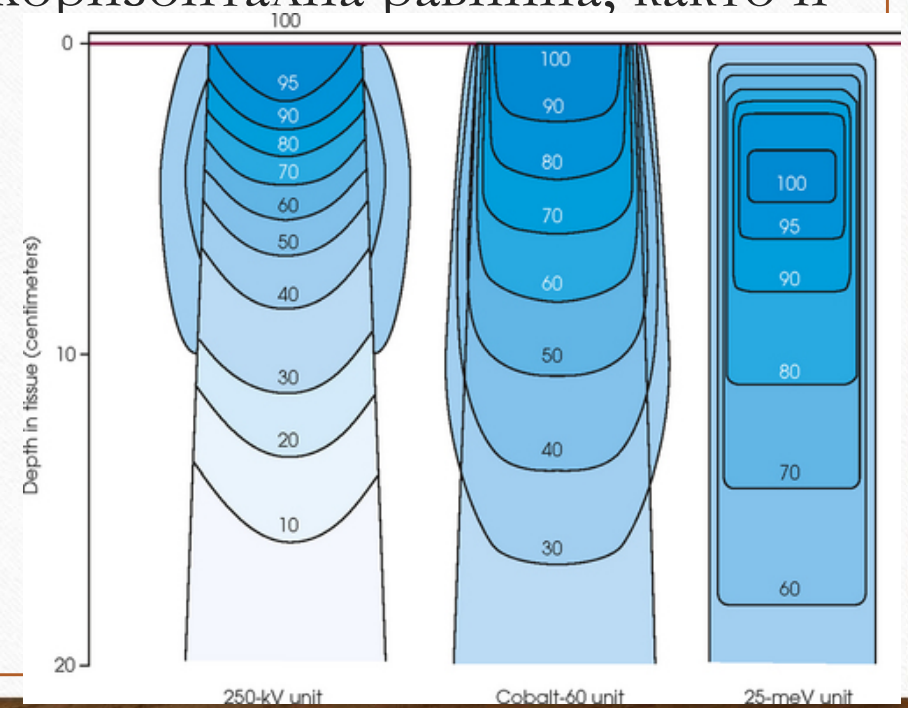
- **Блендиращата система** са тубусите - служат за пространствено ограничаване на лъчевия сноп. Тубусите са стоманено-оловни кутии с форма на пресечена четиристенна пирамида, пресечен конус или цилиндър, отворени в посока на работния сноп. Имат още две предназначения:
 - осигуряване на стандартно фокусно разстояние и размер на лъчевото поле;
 - изменение на формата на изодозните повърхнини в тяхната периферия.



Какво означава това? ЛЛ се провежда при няколко стандартни стойности на фокусното разстояние - при дълбоката рентгенова терапия 30, 40 или 50 cm. Дължината на тубусите допълва разстоянието мишена-кожа до стандартното. Металните им стени са източник на вторични фотони и електрони, които увеличават дозата в периферията на работния сноп - полезен ефект, тъй като приближава формата на изодозните повърхнини до равнинна.

Терапия с рентгенови лъчи

- По време на облъчването пациентът се разполага върху **пациентната маса**, чиято височина се променя плавно с помощта на маслена помпа. Масата може да се премества в хоризонтална равнина, както и да се завърта около вертикална ос.



Терапия с рентгенови лъчи



- **Оптичните системи** в съвременните лъчетерапевтични уредби, улесняват подготовката за облъчването на пациента и увеличават точността при възпроизвеждане на условията за облъчване:
 - оптичен “метър” за измерване на фокусното разстояние;
 - оптично визуализиране на лъчевото поле и маркирането на централния лъч.
- Компоненти на оптичните системи са малка електрическа крушка, огледала, метрична скала и кръст от непрозрачен материал. Крушката имитира мишената на рентгеновата тръба, а измерванията и симулациите се постигат чрез подходящи размери и разположение на огледалата и скалата.
- **Стативът** на уредбата носи рентгеновата тръба със защитния кожух, блендиращата система, мониторингната йонизационна камера, филтъра и оптичната система. Моторното му задвижване осигурява насочването на снопа рентгенови лъчи в различни посоки, както и облъчването с ротация на рентгеновата тръба. Към статива има скала за измерване на ъгъла на насочване на лъчевия сноп.

Терапия с рентгенови лъчи

- **Рентгенови уредби за близкофокусна рентгенова терапия** - използвани за лечение на кожни лезии:
 - ускоряващо напрежение 60 kV;
 - малко фокусно разстояние - от 1,5 до 5 cm;
 - рентгеновите тръби са малогабаритни и с малка мощност;
 - тубусите са цилиндрични или с елипсовидни накрайници с малки размери;
 - оптични системи няма.
- **Електрическите блокировки** са елемент от РЗ, както на пациентите, така и на персонала и на външни лица. Рентгеновата уредба не може да се включи в режим на излъчване, ако не е поставен допълнителен филтър. Електрическите блокировки на вратите към лъчевото помещение изключват уредбата при инцидентното им отваряне.

Лъчелечение. Източници за облъчване.
Външно и вътрешно облъчване.
Радиационни ефекти. Радиационен
риск.

Доц. Десислава Костова-Лефтерова

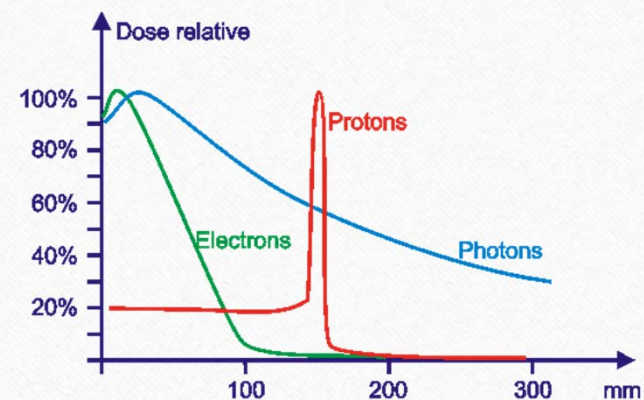
Йонизиращите лъчения в лечението на рака



Лечебният ефект на йонизиращите лъчения при онкологичните заболявания се дължи на тяхното йонизиращо действие.

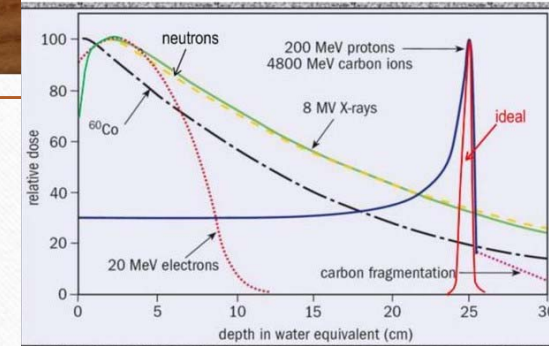
Източници на облъчване

- Най-общо лечебният ефект на ЙЛ при онкологичните заболявания се дължи на тяхното йонизиращо действие. Бета-лъчите и ускорените електрони йонизират директно чрез удари с атомите и молекулите на биологичните тъкани, вкл. и на раковите → *директно ЙЛ*.
- Фотонните лъчения йонизират индиректно чрез вторичните заредени частици (e и p), които създават при взаимодействието си с тъканите и затова са *индиректно йонизиращи лъчения*.
- Протоните йонизират също директно чрез удари, но с различна линейна йонизация N_L . Тя е приблизително постоянна до определена дълбочина, на която скокообразно нараства (крива на Bragg). Дълбочината на пика на Bragg зависи от началната кинетична енергия на протоните.



Източници на облъчване

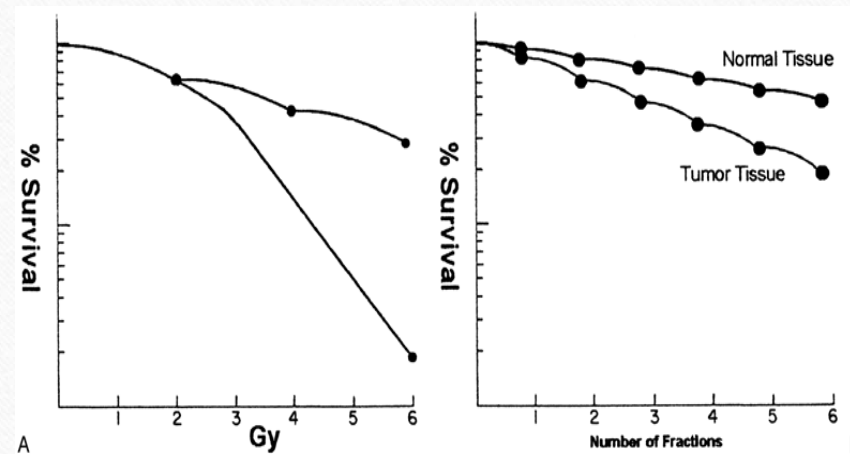
- Отрицателните пи-мезони (пионите) взаимодействат в своя път в тъканите директно, подобно на алфа-частиците и протоните. След изразходване на по-голяма част от кинетичната си енергия, на определена дълбочина те се захващат от ядра (главно на кислорода), които се възбуждат и отделят протони, деутрони, алфа-частици или неутрони със силен йонизиращ ефект.
- Неутроните са индиректно йонизиращи частици. Те губят своята енергия главно при удари с ядрата на водорода, които се отделят от атомите и образуват поток протони. След темпериране неутроните се залавят от ядрата в атомите на тъканите, част от тях се разцепват, при което се създават нови потоци протони. Друга част от ядрата се възбуждат и излъчват гама-фотони с висока енергия. Трета част, например ядрата на натрия, фосфора и хлора, се активират (превръщат се в радиоактивни) и стават източници на йонизиращи лъчения. Общият резултат и в трите случая е йонизация чрез продуктите на взаимодействието на неутроните с атомите на тъканите.



Източници на облъчване

- В зависимост от мястото на радиоактивния източник спрямо тялото на болния се различават:
 - **Перкутанно** или «външно» лъчелечение (телетерапия), което се осъществява чрез уредби, генериращи ЙЛ на разстояние от болния, което преминава през кожата и прониква на различна дълбочина в зависимост от енергията на лъчението.
 - При «вътрешното» лъчелечение радиоактивните източници се поставят непосредствено в тъканите или в кухини от тялото на болния, като в първите години методът се нарича Кюритерапия, а в последствие **Брахитерапия**, с произход от гръцкия корен на думата «близко».
 - В последните десет години с уредби за перкутанно лъчелечение или брахитерапия се прилага все по-успешно **Интраоперативно** лъчелечение, което лесно се интегрира с други лечебни методи в онкологията или в лъчелечението.

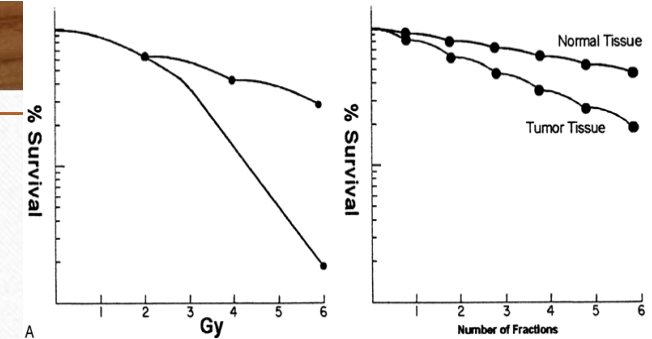
Преживяемост на здрави тъкани и на тумор при еднакво фракциониране на дозата



- Факторът „време“ ни дава възможност да маневрираме чрез използване на биологичната специфика на нормалните и туморните тъкани.

Факторът време – дневна доза

- \nearrow на малката разлика в началото \nearrow с \nearrow броя на фракциите във времето-основа за съществуването на ЛЛ като лечебен метод в онкологията.
- В нормалните, добре оксигенирани тъкани репаративните процеси текат по-бързо в сравнение с туморните.
- При еднократно облъчване толерансът на кожата е 15-20 Gy, като при фракционирание на дозата за период от 40-50 дни кожният толеранс се увеличава до 60-65 Gy, а туморният толеранс се изменя по-незначително.
- Така постигаме много добър терапевтичен ефект при липса на тежки лъчеви реакции от страна на здравите тъкани.
- Най-често прилагано и стандартно протрахирано във времето конвенционално фракционирание на дневната доза-фракция от 2 Gy, пет пъти седмично.



Фракционироване на дозата

- В зависимост от големината на дневната доза (фракция) за осъществяване на общата лечебна доза различаваме:
 - **Стандартно** фракционироване (конвенционално) 1.8-2 Gy пет пъти седмично,
 - **Хиперфракционировано** облъчване при прилагане на 2 или 3 дневни облъчвания с доза 1,3-1,5 Gy през 6 ч. пет пъти седмично или ускорено (акцелерирано хиперфракционироване, седем дни седмично при редуциране на общата огнищна доза);
 - **Хипофракционировано** облъчване, когато единична доза е > 3 Gy до 10-11 Gy през 24 и повече часа
 - **Аблативно** облъчване при еднократна доза между 12 и 21 Gy.

Радиационен риск

- Когато ЙЛ се прилага с лечебна цел е съществен риска от увреждания на здравите тъкани, като рискът нараства с големината на приложената доза за да бъде осъществен локален туморен контрол, което е в пряка зависимост от толеранса на нормалните тъкани.
- Уврежданията на клетъчните системи (тъканите) зависят от скоростта на обновяването им.
- **Стабилните клетъчни системи** са лъчерезистентни - не се наблюдава образуване или загуба на клетки, (ганглийните клетки на ЦНС). Тук ЙЛ може да причини само директна клетъчна смърт при много висока доза или функционални изменения, явяващи се при дози, използвани за целите на ЛЛ.
- **Пролифериращите клетъчни системи** са умерено лъчечувствителни - нови клетки възникват само в размер, обезпечаващ растежа на тъканите, каквито са повечето тъкани в човешкия организъм. Поради малкия брой делящи се клетки директната и митотична клетъчна смърт не е голяма, но често се срещат функционални промени, оказващи влияние на целия организъм.
- **Бързо обновяващите се клетъчни системи** са силно лъчечувствителни, като епителните повърхности, косменият фоликул, лигавицата на стомашно-чревния тракт, очната леща, кръвотворната и лимфна тъкан, половата тъкан на тестисите, растящата хрущялна тъкан. След облъчване с терапевтична доза някои от родоначалните клетки на тези тъкани запазват способността си за размножаване и чрез тях обновяващата се клетъчна система се възстановява. Това протича обикновено в срок от един до няколко дни.

Радиационен риск

- Сложността при определяне не само на структурните, а и функционални промени идва от типа подреждане на функционалните единици в органите.
- Различаваме три вида:
 - последователно (гр. мозък, черва),
 - успоредно (бял дроб, бъбрек) и
 - смесено подреждане (главен мозък).
- Разрушаването на последователното подреждане е фатално и води до загуба на функция, а при успоредното подреждане има шанс за запазване при макар и смутената функци.

Критични органи

• Могат да се разделят на:

• Клас I – радиационните лезии са фатални/предизвикват сериозни увреждания.

• Клас II – радиационните лезии водят до умерени увреждания.

• Клас III – радиационните лезии са леки, преходни и обратими или не водят до съществени страдания.

Класифицират се като:

- Серийни – целият орган е едно непрекъснато цяло и лезията в една точка води до вреда за целия орган (**гръбначен мозък, храносмилателна система**). Взема се предвид дозата в точка.
- Паралелни – органът се състои от няколко функциониращи единици и ако една е увредена, другите компенсират загубата ѝ (**бял дроб, пикочен мехур**). Отчита се дозата в определен обем или средна/медианна доза.
- Серийно-паралелни – **бъбрек** (гломерул – паралелен, тубули – сериен); **сърце** (миокард – паралелен, коронарни съдове – сериен).

Радиационен риск

- Четири златни радиобиологични правила за предписване на общата огнищна - лечебна доза и съчетаването и с големината на дневната доза и фракционирането и във времето:
 - Прилагане на дневна доза, която е толерантна за късно-реагиращите нормални тъкани;
 - При хиперфракционирание да се използват толкова дневни фракции, така че да се запази дозата за една фракция под 2 Gy, но не по-малка от 1 Gy, като периода между фракциите да бъде най-малко 6 часа;
 - Толкова кратко лечение (общо време на лъчелечебния курс), колкото позволяват остро-реагиращите нормални тъкани.

Радиационен риск

- Четири най-използвани тактики при определяне обема на облъчване в практиката на лъчетерапевта:
- В малък обем може да се прилага висока дневна доза;
- Големият мишенен обем се облъчва с ниска дневна доза;
- Съчетаването на перкутанно лъчелечение с брахитерапия е оптимално решение на лъчетерапевтичната задача;
- В малък обем, където риска за персистирание на хипоксични туморни клетки е най-висок се прилага свръхдозирание (буст) на дозата.

Радиационен риск

- Във връзка с лъчевите реакции на тъканно и органно ниво е въведено понятието толерантна доза - допустимата най-висока лечебна доза за облъчване на определена тъкан или орган от човешкото тяло, превишаването на която би довело до развитие на необратими късни лъчеви реакции.
- Късните увреждания след фракционирано ЛЛ са добре проучени. Толерантната доза (TDs) за нормалните тъкани се докладва като TD 5/5 (средната доза, която предизвиква риск за 5% увреждания на 5-та година) и TD 50/5 (средната доза, носеща риск за 50% увреждания на 5-та година от проведеното облъчване).

Радиационен риск

- Органните толерантни дози се определят чрез опити “in vitro” и “in vivo” при животни и чрез клинични наблюдения върху хора.
- Толерантната доза е различна при различните тъкани и органи:
- кожа – 60–65 Gy;
- космен фоликул – 50 Gy;
- хрущяли – 55-60 Gy;
- кост - 80 Gy;
- шийка на раменна и бедрена кост – 35-40 Gy;
- хранопровод – 60 Gy;
- тънки черва – 45-50 Gy;
- ректум – 60 Gy;
- бял дроб – 20-30 Gy;
- бъбрек – 20-25 Gy;
- пикочен мехур – 60 Gy;
- главен мозък – 45-50 Gy;
- продълговат мозък – 25-30 Gy;
- гръбначен мозък – 40-45 Gy;
- очна леща – 9-11 Gy;
- сърце – 45-50 Gy.