

# Radiobiología

# Índice

- ~~Introducción a la radiobiología~~

- ~~Definición, interacción con materia viva, fases de interacción y consecuencias~~

- ~~Efectos a nivel radiobiológico:~~

- ~~Clasificación de efectos, efectos sobre órganos y tejidos, efectos sobre el embrión y feto.~~

- ~~Radiogenética:~~

- ~~Efectos de la radiación a nivel genético:~~

- *Factores influyentes en la absorción de la radiación por parte de la materia viva.*

- *Dependientes de la radiación, que afectan propiamente a la radiosensibilidad, ciclo celular, tipos muerte celular.*

- *Síndrome de irradiación aguda*

- *Fases, síndromes, tratamiento*

- *Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones.*

- *Índice terapéutico, radiosensibilidad, 5R radioterapia.*

# Factores: que influyen en la absorción de la radiación ionizante por la materia viva.

Estos factores pueden condicionar a la radiosensibilidad de la materia viva (daños biológicos)

Se van a clasificar en dos modalidades:

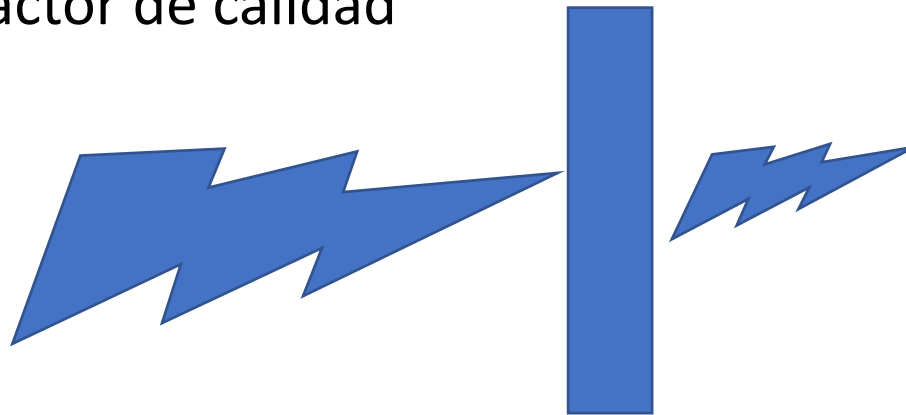
- Factores dependientes de la radiación.
- Factores que afectan propiamente a la radiosensibilidad.

# Factores dependientes de la radiación

El tipo de irradiación que interacciona con la materia condiciona los efectos biológicos ocasionados por las mismas.

## ATENUACIÓN

El poder de penetración o factor de calidad de las REM depende de los siguientes factores:



# Factores dependientes de la radiación

-De la energía del fotón: determinada por su longitud de onda



-De su kilovoltaje:  $>Kv >$  cantidad de fotones energéticos  $>$  penetrante el espectro de la radiación.

Así mismo las radiaciones se clasifican en:

No corpusculares: REM (baja LET)

Corpusculares: poseen masa y tienen mayor LET (+iones)

# Factores que afectan propiamente a la radiosensibilidad

- Factores exógenos.
- Factores endógenos.

## Factores exógenos:

**Físicos:** propiamente dependientes de la radiación

-Calidad de la radiación: daño biológico aumenta al aumentar la LET, causara mayor daño en el ADN y será mas difícil de reparar.

-Tasa de dosis: para rad baja LET, tasas de dosis altas son mas eficaces en cuanto a la producción de lesiones

# Factores que afectan propiamente a la radiosensibilidad

**Químicos:** se dividen en estos tipos:

- Sustancias independientes.
- Radiosensibilizadores. (aumentan la radiosensibilidad de las células) Oxígeno\*+radicales libres aumentan vida media y la fijación del daño radioinducido.
- Radioprotectores: Sustancias que disminuyen radiosensibilidad. (vitaminas A E y C)

# Factores que afectan propiamente a la radiosensibilidad

## -Factores endógenos:

Factores celulares/tisulares: Los posee el sujeto que sufre la radiación. La radiosensibilidad celular depende de:

Nº mitosis: a mayor nº, mas radiosensibilidad

Diferenciación celular: a menor diferenciación, mayor radiosensibilidad



Grado radiosensibilidad o radioresistencia	Estirpes celulares
MUY RADIOSENSIBLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Células madre de medula ósea roja</li> <li>-Células madres germinales (espermatogonias y ovogonias)</li> <li>-Mesenquimatosas (del tejido conjuntivo)</li> <li>-Linfocitos maduros</li> </ul>
RELATIVAMENTE RADIOSENSIBLES	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Células mielocíticas (serie blanca)</li> <li>-Células madres intestinales de las criptas de Lieberkhum</li> <li>-Células madres de los epitelios basales</li> <li>-Células de la granulosa (ovarios)</li> </ul>
RADIOSENSIBILIDAD INTERMEDIA	<ul style="list-style-type: none"> <li>-En general, células intermedias en su maduración de tejidos jerarquizados</li> <li>-Osteoblastos, condroblastos, fibroblastos, espermatoцитos, ovocitos, células endoteliales</li> </ul>
RELATIVAMENTE RADIORESISTENTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Granulocitos</li> <li>-Osteocitos</li> <li>-Eritrocitos</li> </ul>
MUY RADIORESISTENTES	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Condrocitos</li> <li>-Fibroцитos</li> <li>-Células musculares</li> <li>-Neuronas</li> <li>-Espermatozoides y óvulos</li> </ul>

Tabla obtenida libro: Radiobiología para profesionales sanitarios: radiosensibilidad vs radioreistencia. Ed Mad 2010

# Radiosensibilidad dependiente de la fase del ciclo celular

Hay relación entre la radiosensibilidad de una célula y la etapa del ciclo celular en la que se encuentra.

Ciclo celular: conjunto de reacciones metabólicas interdependientes y sincronizadas que llevan a la duplicación de los cromosomas y a la división celular

Fases del ciclo celular:

# Radiosensibilidad dependiente de la fase del ciclo celular



Fase G1: crecimiento y acumulación de reservas (muy radioresistente)

Fase S: se duplica todo su genoma (moderadamente radioresistentes)

Fase G2: reorganización y control de la integridad del genoma previo a mitosis (moderadamente radioresistente)

Fase M: condensación y segregación de los cromosomas (mas radiosensible)

# Radiosensibilidad dependiente de la fase del ciclo celular

Lesiones por fase:

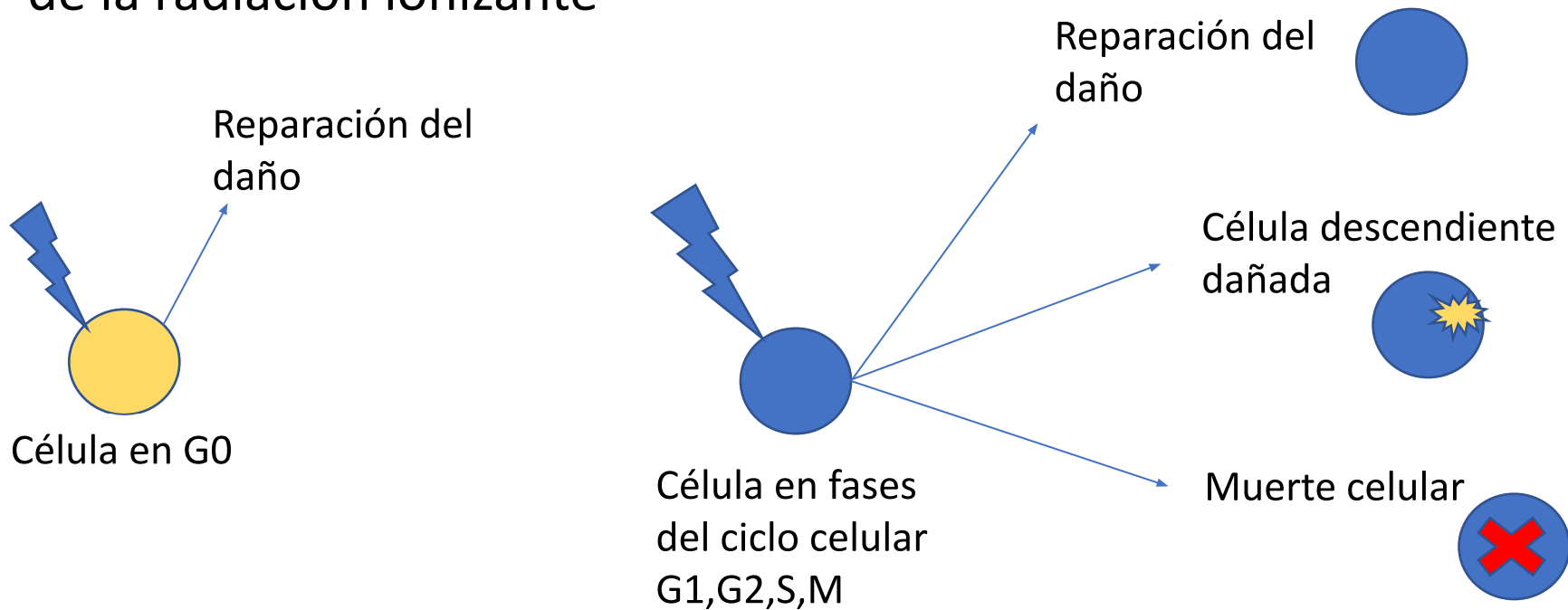
G1: tipo inespecífico (la célula puede morir antes de la división celular)

G2 y S: alteran la dinámica del ciclo celular (bloqueando célula en esas fases y disminuyendo la velocidad de síntesis) (si se encuentra en G2 produce un retraso mitótico)

M: Lesiones específicas de tipo directo sobre cromosomas, las células pueden morir manteniendo morfología y funciones (excepto la reproductiva)

# Radiosensibilidad dependiente de la fase del ciclo celular

Redistribución radioinducida: alteración del ciclo celular por parte de la radiación ionizante



# Consecuencias letales de una irradiación

La radiación genera un amplio espectro de lesiones cromosómicas.

Efecto depende del tipo celular, de la carga genética, y del ciclo celular, siempre está acompañado de una pérdida de poder replicativo.

La proporción de los diferentes modos de muerte celular es función de la dosis de radiación y de la expresión de ciertos genes.

En las líneas tumorales, la muerte mitótica es preponderante (aspectos muy diversos como necrosis, eyección de micronúcleos y la muerte celular diferida)

# Modos de muerte celular

-**Muerte inmediata**: conocida como apoptosis, desde minutos hasta horas tras radiación.

Puede ser considerada un tipo de suicidio celular

Se manifiesta por la pérdida de integridad de las membranas, la activación de los lisosomas y una rápida degradación de las mitocondrias. Las células presentan morfología parecida a la necrosis.

-**Detección irreversible en G1 y senescencia**:

Procede de dos mecanismos paralelos, uno inmediato y otro diferido.

Detección inducida en G1 puede llegar a ser irreversible en células normales. (con 40-50Gy pueden permanecer metabólicamente activas)

# Modos de muerte celular

## **-Muerte diferida:**

Lesiones subletales o menos graves (traslocación, inversión, deleciones pequeñas) son compatibles con una tasa de supervivencia elevada, serán las células descendientes las que pueden originar la muerte de una proporción variable de células o una inestabilidad cromosómica.

## **-Muerte mitótica:**

Ligada a la pérdida de facultad de cumplir con éxito una mitosis.

Está relacionada con la presencia de lesiones cromosómicas no reparadas, y se caracteriza por la liberación de micronúcleos, aparición de células con dos núcleos y células gigantes.

Tipo de muerte predominante en células tumorales.

El núcleo parece normal hasta etapas tardías del proceso, pero siempre finaliza con la degradación del ADN. (se parece a apoptosis)



# Modos de muerte celular

## -Apoptosis o muerte celular programada:

Considerada muerte natural fisiológica.

Perdida precoz de la integridad de las mitocondrias (permeabilización)

Se fragmenta el ADN genómico.

La involución de la cromatina y del citoplasma.

Se desarrolla entre las 6-72h, puede ser provocada por estrés oxidativo.

Se condensa la cromatina, el núcleo se fragmenta, pero la membrana plasmática no se rompe.

La célula finalmente se reduce a pequeños cuerpos apoptóticos que son fagocitados por células vecinas.

# Modos de muerte celular

## -Autofagia:

Es un proceso catabólico, involución de los cuerpos de Golgi, de los polirribosomas del retículo endoplasmático y de las mitocondrias.

Digieren parte de su citoplasma para generar pequeñas macromoléculas y energía.

Suele entenderse como una forma alternativa a la apoptosis y suele desencadenarse cuando los mecanismos de apoptosis están dañados.

# Modos de muerte celular

Especificidad celular de los diferentes modos de muerte radioinducida

Muerte inmediata	Senescencia	Muerte mitótica	Apoptosis	Muerte diferida
No programada	Programada	No programada	Programada	Programada
Células epiteliales Células endoteliales Miocitos Fibroblastos	Fibroblastos	Células epiteliales Próstata Acinos salivales Criptas intestinales Células endoteliales	Linfocitos Timocitos	Neuronas Células epiteliales

Tabla obtenida del libro: Radiobiología, radioterapia y radioprotección, bases fundamentales. Maurice Tubiana et col. Hermann Editions 2012

# Síndrome de irradiación aguda

# Síndrome de irradiación aguda

Irradiación aguda (heterogénea)

VS. Irradiación aguda (homogénea)

Vista (todo lo anterior)

Cuadro Clínico variable

Irradiación homogénea debe considerarse como accidental (casos acondicionamiento pre trasplante medula ósea)

División de efectos tras irradiación:

- Fase prodrómica
- Fase latente
- Fase de enfermedad manifiesta

# Síndrome de irradiación aguda

## ·Fase prodrómica:

Conjunto de síntomas que aparecen de forma precoz

(48h-6días) consecuencia de la irradiación del sistema nervioso autónomo.

Síntomas relacionados con la dosis recibida.

-Nauseas, vómitos, diarreas, cefaleas, vértigo, alteraciones de los órganos de los sentidos, taquicardia, irritabilidad, insomnio.

Pueden durar desde minutos, a días.

# Síndrome de irradiación aguda

## -Fase latente:

También fase de remisión. Se caracteriza por ausencia de síntomas.

Desde minutos, hasta semanas.

El tiempo de duración disminuye cuanto mayor ha sido la dosis recibida.

Los síntomas agudos mejoran (pero los elementos sanguíneos van disminuyendo regularmente)

Etapa de falsa tranquilidad.



# Síndrome de irradiación aguda

## -Fase de enfermedad manifiesta:

Aparecen los síntomas concretos por órganos y tejidos que mas han sido afectados por la irradiación.

Dependiente también de la dosis recibida, pudiendo variar entre periodos como semanas, o incluso llevar directamente a la muerte del individuo.





# Síndrome de irradiación aguda

Síndromes porst-irradiación: dependientes de la dosis recibida y del órgano mas afectado, que podrá llevar ala muerte del individuo debido a su trascendencia.

Síndrome hematopoyético/síndrome de medula ósea.

Síndrome gastrointestinal.

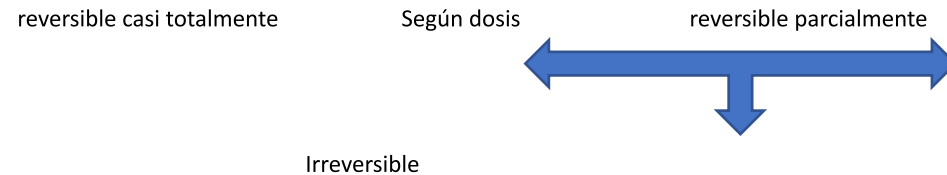
Síndrome del sistema nervioso central

# Síndrome de irradiación aguda

## Síndrome hematopoyético/síndrome de medula ósea.

Exposición a dosis entre 3-5Gy

- Periodo prodrómico: pocas horas, con vómitos, náuseas y diarreas
- Periodo de latencia: abarca desde días, y puede durar hasta 3 semanas (según dosis recibida)
- Periodo enfermedad manifiesta: se inicia la enfermedad hematopoyética, afectación de las células madre de la medula ósea (MUY RADIOSENSIBLES). Esto provoca en el individuo leucopenia, anemia, trombopenia, plaquetopenia, muy marcadas. (incremento de hemorragias, infecciones graves, inmunodepresión)



A partir de la 5ª semana se inicia recuperación si dosis < 3Gy, dosis + altas pueden provocar muerte 30-60 días

# Síndrome de irradiación aguda

## Síndrome gastrointestinal:

Se presenta a dosis entre 5-15Gy

·Periodo prodrómico: pocas horas tras exposición, náuseas, vómitos, y fuertes diarreas.

·Periodo de latencia: 2º-5º día post irradiación

·Periodo enfermedad manifiesta: mismos síntomas que síndrome anterior, pero además al estar afectados dos aparatos:

-Cuadro digestivo: diarreas profusas (afectación vellosidades, disminución de asimilación componentes por atrofia vellosidades, náuseas, vómitos, ulceraciones digestivas...

-Cuadro hematopoyético: hemorragias (especialmente digestivas) septicemia, fiebre...

Muerte tras 10-20 días post irradiación.

# Síndrome de irradiación aguda

## Síndrome sistema nervioso central:

Dosis superiores a 15Gy

·Periodo prodrómico: aparece rápidamente, minutos, incluso muerte en breve periodo de tiempo. Vómitos, síntomas de índole psíquica, confusión, irritabilidad, y de índole neurológica, disminución de la consciencia, quemazón en la piel...

·Periodo de latencia: escasas horas, el periodo de enfermedad manifiesta se sobreviene rápidamente.

Entre 4-6h tras irradiación, aparecen los síntomas neurológicos, convulsiones, ataxia, grados progresivos de coma, alteración de la consciencia, edema cerebral, depresión respiratoria y cardiaca (alteración del tejido conjuntivo y vascular del SNC)

Estado de inconsciencia del que no se sale, con muerte desde el día siguiente hasta los próximos 5 días.

# Síndrome de irradiación aguda

Dosis Letal: Dosis necesaria para producir la muerte de un determinado porcentaje de población en una cantidad de tiempo.

Tiene notación de DL (50/30) (50/60)

Dosis necesaria para producir la muerte del 50% de la población expuesta, llevada a acabo en 30 o 60 días respectivamente.

La DL50/60 está en torno a los 3-5Gy para el ser humano

La DL100se sitúa entre los 6-10Gy

(siempre libre de cuidados médicos especiales)

# Síndrome de irradiación aguda

·Tratamiento del síndrome de irradiación aguda:

NO HAY TRATAMIENTO ESPECIFICO.

Se basa, fundamentalmente, en actuaciones concretas y sintomáticas en espera de que haya recuperación en el tiempo

(P.e. administración de estimulantes vasculares, transfusiones de sangre, medidas de hidratación, antibioticoterapia...)

Sujetos que se conoce su inminente defunción, tratamientos paliativos para muerte digna.

# Síndrome de irradiación aguda

Efectos de la irradiación en supervivientes de síndrome de irradiación aguda:

Factores individuales (constitución, estado de salud, estado nutricional, sexo) van a tener la probabilidad de manifestar en el tiempo patologías que se clasifican en dos grandes grupos de efectos:

- Efectos deterministas (dosis umbral causante de síntomas)
- Efectos estocásticos (dependientes del azar, aunque relacionados con la dosis por probabilidad) y factores del individuo

# Síndrome de irradiación aguda

Por efectos deterministas:

En caso de existir:

Riodermatitis crónica, problemas de fertilidad con esterilidad temporal/permanente, alteraciones de la libido, alopecias, cataratas...

Por efectos estocásticos:

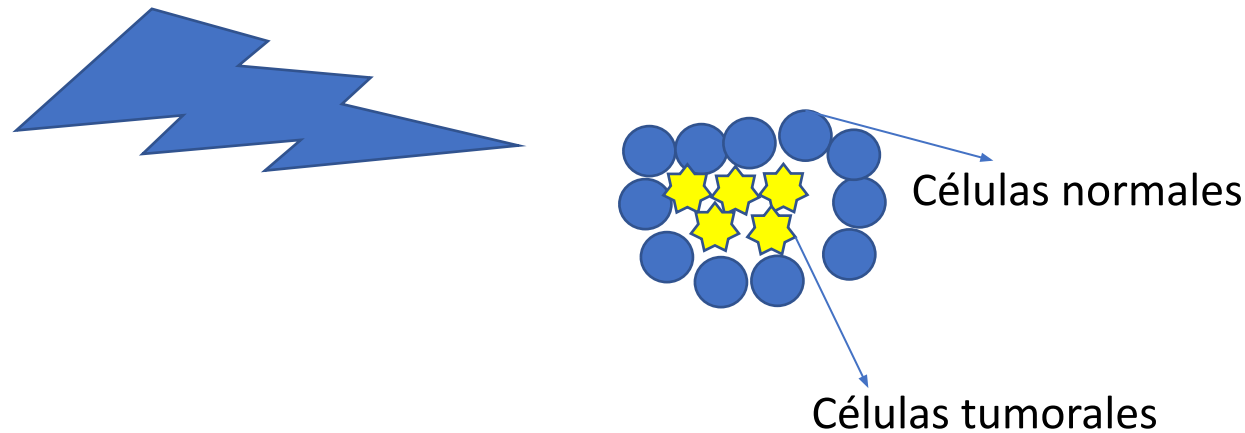
Carcinogénesis, acortamiento inespecífico de la vida, enfermedades genéticas...



# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones ionizantes

# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

Uso de radiación a nivel terapéutico



# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

Intención a nivel radiobiológico RT:

Suministrar la suficiente dosis de radiación al tumor para destruirlo, intentando producir el menor daño al tejido sano circundante.

Dos objetivos:

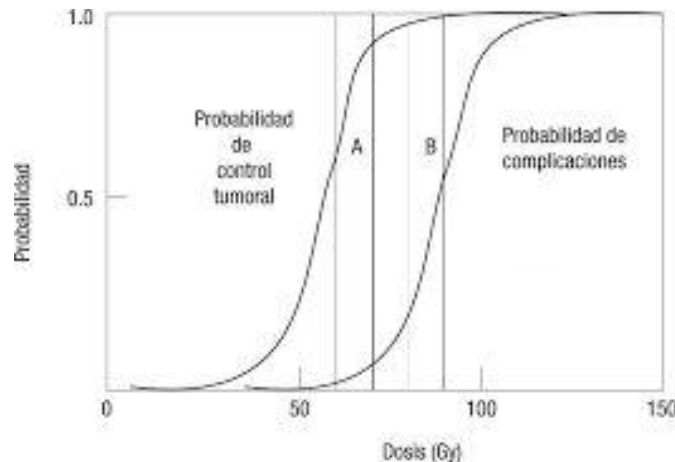
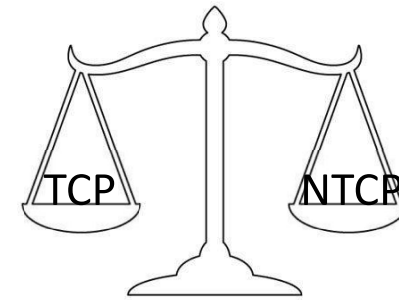
-Elevada probabilidad de control tumoral: (**TCP**)

El control clínico de un determinado tumor se produce cuando la supervivencia de las células clonogénicas (aquellas que no han perdido capacidad reproductiva y de proliferación) del mismo se reduce a 0.

-Una baja probabilidad de complicaciones en tejidos sanos (**NTCP**) los tejidos sanos cercanos al tumor serán limitantes de la dosis total que se puede administrar al tumor.

# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

- La elección óptima de la técnica radioterápica y de la dosis a impartir, en el tratamiento de un determinado tumor será tal que maximice la TCP y simultáneamente minimice NTCP
- Para un tto de RT la  $TCP > 0,5$  y  $NTCP < 0,05$



# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

Generalmente, la relación entre TCP y NTCP para determinada dosis, se denomina índice terapéutico

Cuanto mas alejada esté la curva B (NTCO) de la parte derecha de la curva A (TCP), mas fácil va a ser conseguir el objetivo radioterápico, mayor será el índice terapéutico (mas difícil que el tto cause complicaciones).

Otro concepto similar es el cociente radioterápico, relaciona la dosis tolerada por un tejido sano, con la dosis letal para un tejido tumoral, del valor numérico de ese cociente se extraen las siguientes conclusiones:

-Cociente radioterápico  $> 1$ : el tejido sano va a soportar mayor dosis de radiación, y por lo tanto puede aplicarse la dosis necesaria al tumor para eliminarlo

-Cociente radioterápico  $< o = 1$ : dosis requerida para el tumor, va a producir importantes daños en los tejidos sanos adyacentes.

# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

El control tumoral dependerá de factores como: tasa de dosis, la LET de la radiación empleada, presencia o no de radiosensibilizadores/radioprotectores, diseño del plan terapéutico y de la precisión de la administración de dicho plan.

Factores clínicos	Dependientes del tumor	Histopatología, localización, tamaño, vascularización, extensión
	Dependientes del paciente	Edad, estado general, ttos previos
<b>Factores biológicos</b>		Características generales del tumor, radiosensibilidad, radiocurabilidad, tolerancia
<b>Factores físicos</b>		Tipo de tto (tele, braqui), energía, dosis, técnica tto

# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL INDICE TERAPEUTICO:

Fraccionamiento:

Estudios de Regaud y Coutard: fraccionando la dosis total, aumentaba el control de la enfermedad y disminuían los efectos agudos y crónicos.

Estudios que concluía, fracciones de 1,8 – 2Gy diarios de 5-6 días a la semana, durante 6-7 semanas. Tratamiento estándar o normofraccionado (universalmente aceptado)

No siempre se puede seguir este patrón (años 40 estudios sobre ecuaciones de supervivencia celular)

Las graficas obtenidas pueden determinar la dosis total, según la dosis por fracción.



# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

-Los tejidos de renovación lenta requieren el uso de fracciones pequeñas para poder administrar una mayor dosis total en el tratamiento, usando fracciones mayores se obliga a disminuir la dosis total (producción de lesiones letales que no pueden ser reparadas). Usando fracciones menores se ocasiona mas daños subletales, pudiendo repararse, y permitiendo aumentar la dosis total para el mismo efecto.

-Los tejidos de renovación rápida tienen capacidad de repoblación y pueden reparar/suplir lesiones letales. No existe dependencia de dosis por fracción y por lo tanto su efecto depende mas del tiempo entre fracciones.

La teoría del fraccionamiento de dosis se apoya en 5 factores biológicos (5R de la Radioterapia)

# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

- **Radiosensibilidad**: células poseen distintas radiosensibilidades ante una determinada exposición a la radiación
- **Reparación**: células capaces de reparar el daño (daño subletal) Los mecanismos de reparación son complejos, pero puede llegar a ser completa entre cada fracción (sucede prioritariamente en el tejido sano)
- **Redistribución**: células que se destruyen por efecto de la radiación lo harán preferentemente en el ciclo celular mas sensible (M\* y G2), las células en otras fases del ciclo celular se seguirán dividiendo y pasarán a fases del ciclo mas sensibles (2º dosis será mas efectiva ya que se encontrará en una fase del ciclo mas sensible)
- **Reoxigenación**: células hipóxicas son mas resistentes que las oxigenadas, a medida que se produce la destrucción de células, van siendo reabsorbidas, las células que sobreviven, situadas mas cerca de capilares se reoxigenan. (mayoría de las células tumorales son hipóxicas, se reoxigenan durante el fraccionamiento, las células sanas no suelen pasar por este proceso por estar bien oxigenadas)
- **Repoblación**: células de tejidos con renovación rápida repueblan con células sanas (mientras reciban dosis fraccionadas). También pasa lo mismo en células tumorales, lo que juega en contra del control tumoral

# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

Tasa de dosis:

Expresa la dosis administrada por unidad de tiempo.

Es importante en los tratamientos de RT ya que una menor tasa de dosis, aumenta el tiempo de irradiación y provoca una menor eficacia en el tratamiento.

Consecuencia de dos efectos:

- Reparación de los daños subletales en celular tumorales
- Repoblación de las células tumorales

# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

Tasa de dosis:

Bajas tasas de dosis (0,01Gy/min) suponen la reparación de la mayoría de daños subletales, incluso repoblación celular de los daños letales (a medida que se disminuye la tasa de dosis aumenta el tiempo de radiación y se reduce el efecto biológico)

Las tasas de dosis mas usadas en RT son:

- 1Gy/min para Rt externa estándar y Bqt alta tasa
- 0,1Gy/min en irradiación corporal total
- 0,01Gy/min en Bqt baja tasa

# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

Radiosensibilidad:

Radiosensibilidad celular para ese tipo de tto, y de cada tipo de paciente.  
(factores propios paciente)

Asociado al termino de radiosensibilidad surge el concepto de: Tolerancia:  
Máxima dosis que puede ser aceptada por un paciente produciendo un nivel de complicaciones aceptables.

Los valores de tolerancia (DT) de los tejidos sanos en tto estadar se expresan generalmente de dos formas:

-DT5/5: (dosis de tolerancia mínima) dosis total que produce una probabilidad del 5% de complicaciones severas en determinado órgano a los 5 años.

-DT50/5: (dosis de tolerancia máxima) dosis total que produce una probabilidad del 50% de complicaciones en determinado órgano a los 5 años.

Proporcionan información sobre la dosis que produce una complicación (no de la dosis que puede recibir un determinado volumen) para eso uso de volumen de tolerancia.

<b>Radiosensibilidad alta</b>	<b>Radiosensibilidad media</b>	<b>Radiosensibilidad baja</b>
Linfoma	Carcinoma epidermoide	Melanomas
Seminoma	Carcinoma de mama	Gliomas
Neuroblastoma	Carcinoma de pulmón	Sarcomas
Tumor de Wilms	Carcinoma orofaríngeo	Cáncer renal

Tabla obtenida libro: Manual para técnico superior en radioterapia, Ed Mad. 2012

# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

Los tumores con células de crecimiento rápido poseen mayor radiosensibilidad, al contrario que las de crecimiento lento.

En el ámbito de la radiosensibilidad tumoral es necesario tener en cuenta dos conceptos:

-La radiorespuesta tumoral: No solo depende de la sensibilidad del tumor a la radiación, también de la dosis total administrada, del fraccionamiento, volumen tumoral...

-La radiocurabilidad: implica el control tumoral y por tanto curación del paciente (diseminación del tumor, tamaño, tipo histológico...)

Ej: cancer de células escamosas de cérvix: tumor radioresistente pero altamente curable.

# Poder destructivo del aporte energético de la radiación:

Exposición  fenómenos físicos  químicos  biológicos

>interacciones < energía de la radiación incidente

Interacción=Transferencia lineal de energía.



# LET

LET: Energía que transfiere la radiación ionizante a un material.

Resultado es el cociente entre la energía perdida por la partícula cargada, debido a las colisiones electrónicas al recorrer una distancia determinada en el material (restando la suma de las energías cinéticas de todos los electrones puestos en movimiento)

La LET no es medible, pero SI calculable, sin embargo su calculo necesita una determinación del espectro de las partículas que generalmente, es difícil de establecer.

La LET deriva del poder de frenado, y como este, representa una magnitud media que no tiene en cuenta el carácter discontinuo de las transferencias de energía.

Radiación	LET (Kev/ $\mu$ m)
Radiación gamma Co60	0,3
Radiación X 3 Mv	0,3
Radiación electrones 1 MeV	0,25
Radiación X 250 Kv	2

# Fundamentos radiobiológicos del tratamiento con radiaciones

Parámetros físicos que influyen en la respuesta biológica del paciente:

-Dosis total: A mayor dosis, mas interacciones, mas probabilidad de daños.

No existe dosis fija para destrucción de tejido tumoral.

En general el control tumoral solo es posible a dosis elevadas.

Rango general de índices de control tumoral buenos oscilan entre 50 y 80Gy (fraccionamiento estándar)

Para tumores muy radiosensibles 35-45Gy

-Tasa de dosis: Mayor tasa, menor poder de reparación celular, pero también mayor aparición de efectos

-Naturaleza de la radiación: misma dosis, con distintos haces de radiación provocan distintos efectos. (Transferencia lineal de energía)

# Bibliografía

- Radiobiología, radioterapia y radioprotección, bases fundamentales. Maurice Tubiana et al. Hermann Editions 2012
- Radiobiología para profesionales sanitarios: respuesta orgánica por aparatos y global. Radiogenética. Juan Manuel Gil Ramos et al. Editorial Mad. 2010
- Radiobiología para profesionales sanitarios: radiosensibilidad vs radioresistencia. Respuesta bioquímica, celular y tisular. Juan Manuel Gil Ramos et al. Editorial Mad. 2010
- Tema 5 curso de operadores de instalaciones radiactivas, modulo básico, CSN
- Física de las radiaciones ionizantes en radioterapia. Carlos Fernández Fernández. Servicio de Radiofísica y protección radiológica. Centro oncológico de Galicia. 4º versión 2009