

CAPITULO 8

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES DE BAJO NIVEL

M.Sc. Patricia Mora

Todos los que por diferentes razones nos hemos visto involucrados con el uso pacífico de las radiaciones ionizantes nos preocupamos acerca de sus efectos biológicos en el cuerpo humano. Generalmente, la información que se tiene es poca y centralizada en las consecuencias de inducción de cáncer, malformaciones congénitas, todo lo cual produce en muchas ocasiones una sensación de terror. Todos estos efectos anteriores se observan cuando el individuo expuesto recibe una cantidad de radiación muy grande. Pero qué pasa cuando nos vemos expuestos a radiación ionizante de bajo nivel? Por bajo nivel quiero decir exposiciones que provienen de exámenes para diagnósticos médicos utilizando Rayos X o materiales radioactivos, exposiciones ocupacionales de fuentes de uso médico o industriales, o bien exposiciones del público en general a Rayos X o contaminación por sustancias radioactivas.

De hecho toda persona, trabaje o no con radiaciones ionizantes, se ve expuesta a ellas. Estas radiaciones provienen de nuestro medio ambiente y se llaman radiación natural de fondo. Todos los elementos atómicos más pesados que el plomo son radioactivos, esto es, emiten radiaciones ionizantes. Existen lugares en la Tierra donde la concentración de ciertos materiales radioactivos es mayor, exponiendo por consiguiente a una dosis mayor a las personas que habitan esos lugares. Estos materiales generalmente son los de las series del uranio y torio. Otra componente de la radiación natural es la proveniente de la radiación cósmica, que penetra nuestra atmósfera y es en cierto grado atenuada por ella. Las áreas cercanas al mar recibirán menos radiación cósmica que lugares elevados.

Finalmente una buena porción de radiación proviene de nuestro cuerpo. Muchos materiales radioactivos son inhalados o ingeridos acumulándose en nuestros tejidos. Tenemos por lo menos un cuarto de millón de átomos radioactivos que están decayendo cada minuto. El potasio-40 es el principal responsable de esta radiación interna. Un promedio estimado de la cantidad de radiación natural que recibe cada individuo es de 200 m rem (2 mSv) por año. Veamos la Tabla #1 que nos demuestra dosis extras de radiación al cuerpo entero en varias situaciones.

TABLA 1

AUMENTO EN DOSIS DE RADIACION NATURAL (1)

1 viaje ida y v. en avión de New York a los Angeles	5 mrem
mudarse de la playa a Denver por un año	50 mrem
mudarse de una casa de madera a una de ladrillo	30 mrem
ser tripulante de avión por un año	150 mrem.

Para los efectos de este curso nos será muy útil conocer algunos valores de la dosis de radiación que recibimos cuando por ejemplo se nos practica un examen de Rayos X. Debe recalarse que en cada examen la radiación expone solo a una parte del cuerpo y que también los tejidos reciben diferentes dosis, la máxima estará en la piel y de 1% a 10% logrará salir. Por lo tanto estas dosis médicas no pueden ser estrictamente comparadas con el valor de 200 mrem (2mSv) de radiación natural de fondo anual. Los valores citados en la tabla se refieren a dosis de entrada a la piel.

TABLA 2

ALGUNOS VALORES TÍPICOS DE DOSIS A LA PIEL DEBIDO A EXAMENES DIAGNOSTICOS (2)

Torax:	anterior-posterior	30	mrem
	lateral	100	mrem
ovarios		1	mrem
Rayos X dentales:		350	mrem
Craneo:	lateral	250	mrem
Columna:	anterior-posterior	850	mrem
Abdomen:	anterior-posterior	750	mrem
ovarios		125	mrem
Fluoroscopia:	abdomen	3000	mrem/minuto
Tomografía Axial Computarizada:		4000	mrem

En un examen diagnóstico con Rayos X el beneficio que se obtiene sobre pasa cualquier riesgo, a demás de que estos exámenes son esporádicos y como estudiaremos más adelante los niveles de dosis recibidos no producen ningún efecto facilmente cuantificable.

Para tener un panorama más completo estudiaremos cuales son los valores de dosis equivalentes máximas que pueden recibir los trabajadores que utilizan radiaciones ionizantes, el público ocasionalmente expuesto, población en general y otros. Esta información se resumen en la siguiente tabla.

TABLA 3

LIMITES DE DOSIS MAXIMAS PERMITIDAS

Trabajadores por año

Cuerpo entero	50 mSv (5 rems)
Piel	150 mSv (15 rems)
Manos	750 mSv (75 rems)
Antebrazos	300 mSv (30 rems)

Otros órganos	150 mSv (15 rems)
Al embrión en todo el período de gestación	5 mSv (0.5rems)
PUBLICO OCASIONALMENTE EXPUESTO	5 mSv (0.5rem)
POBLACION EN GENERAL	1.7 mSv (0.17rem promedio al año)
SITUACION DE EMERGENCIA:	
- con riesgo de vidas humanas	1000 mSv (100 rems)
- sin riesgo de vidas humanas	250 mSv (25 rems)

Estudiaremos en detalle el valor de 0.17 rem (170 mrem) promedio por año para la población en general. Los 170 mrem/año es prácticamente igual al valor de radiación natural de fondo que recibe la población, entonces éste límite individual en un período muy largo representará recibir una cantidad adicional de radiación de fondo por año. El riesgo que se ha encontrado asociado a una dosis de 100 mrem/año, es un caso extra de cáncer en 100000 personas que por varios años reciban esa exposición. Como dijimos anteriormente existen lugares de la Tierra donde la radiación de fondo es varias veces mayor que el valor promedio (200 mrem) y es importante recalcar que no se ha encontrado hasta el momento un aumento de cáncer en las poblaciones que viven en estas regiones. Estas dosis máximas permitidas no definen una frontera entre seguro e inseguro. Ellas son derivadas utilizando el concepto de riesgo aceptado por el individuo. Si por ejemplo, tenemos una situación de emergencia, donde las vidas humanas no estén en peligro de muerte eminente, se acepta voluntariamente una dosis de 25 rems. Se cree que una persona entre 20 y 35 años tiene un riesgo de contraer cáncer a lo largo de su vida de un 37%, si se expone a 25 rems de radiación ese riesgo aumentará a 37.5% (un incremento de 0.5%).

EFFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.

El daño biológico producido por las radiaciones ocurre en primer lugar en las células, alterando su estructura química y las reacciones bioquímicas. Las radiaciones ionizantes cambian la estructura de algunas moléculas dentro de las células del organismo, principalmente en los enlaces moleculares, fundamentalmente por los siguientes mecanismo:

- a) la radiación interactúa directamente con la estructura crítica y produce un daño
- b) la radiación interactúa con el agua formando agentes químicos anormales, capaces de producir daño posteriormente.

La estructura crítica más importante de la célula son las moléculas del ADN (ácido deoxiribonucleído) responsables del desarrollo celular, funcionamiento y división de la célula. El daño celular se manifiesta de tres maneras:

- a) muerte de las células
- b) falla en su capacidad de reproducción y
- c) transformación a un nuevo tipo de célula.

El daño producido al ADN es parcialmente reparable y depende del tipo de radiación, la dosis y la distribución de dosis con el tiempo. Para radiaciones ionizantes que entregan su energía muy concentradamente como protones, neutrones y partículas alfa, la reparación es mínima. Pero para fotones de Rayos X, gamma y electrones, la reparación ocurre a bajas dosis y tasas de dosis.

Para bajas dosis, menores de 10 rems, la muerte celular es insignificante, sus efectos son más sutiles, probabilísticos e infrecuentes. Los efectos que se encuentran, pero que deben ser estudiados más a fondo son:

- a) inducción de tumores
- b) efectos genéticos
- c) malformaciones de niños irradiados durante el embarazo.

LA RADIACION Y EL CANCER

El cáncer es una de las causas de mayor mortalidad en el mundo entero. Los más altos riesgos de cáncer para el hombre son: pulmón, próstata e intestinos, en las mujeres el cáncer mamario, en los intestinos y en el útero. Estos datos pertenecen a los habitantes de los Estados Unidos de N. A. en un estudio realizado en 1985. (3) Conocemos que altas dosis de radiación producen muchos tipos de cancer pero solo una pequeña fracción son atribuidos a la radiación. El cáncer inducido por la radiación no tiene ninguna diferencia con un cáncer natural, lo que generalmente se hace es comparar el número de muertes por cáncer en una población expuesta con una población que no recibe radiaciones.

La única información sobre la incidencia de cáncer causada por la radiación proviene de observaciones de poblaciones humanas y de estudios animales. Las primeras son esporádicas y contraversiales y generalmente involucran grandes cantidades de radiación.

Algunos ejemplos conocidos son:

1. Niños con grandes glándulas tiroideas recibieron dosis de Rayos X entre 200 y 600 rem. De los 2850 tratados, 30 desarrollaron cáncer en la tiroides (5).

2. Mujeres que recibieron exámenes fluoroscópicos en el tratamiento de tuberculosis, con dosis entre 5000 y 10000 rems mostraron aumento de cáncer de mama (6).
3. Víctimas de ensayos radiactivos en las Islas Marshall que recibieron 1000 rems mostraron aumento de cáncer de tiroides (7) . Pero en contraposición, 1400 niños que recibieron 50 rem en leche contaminada, no mostraron ningún aumento de cáncer de tiroides (9).
4. Los médicos radiólogos de las décadas 1920 y 1930 demostraron aumento en leucemias y otros tipos de cáncer con dosis de centenares de rems. Los radiólogos a partir de 1940 no muestra ningún aumento en leucemia (9).
5. Los mineros de las minas de uranio expuestos al gas radón han mostrado aumento de cáncer pulmonar. Pero estos datos son puestos en duda pues la mayoría de los mineros eran grandes fumadores. El riesgo absoluto actual es de 3 casos por año de cáncer al pulmón por un millón de personas expuestas a 1 rem (10).

Los resultados de los estudios con animales no pueden ser fácilmente extrapolados al hombre, pues ellos sugieren principios generales que no pueden ser utilizados para la estimación del riesgo real. Aun así, se cree que el porcentaje de aumento de cáncer es similar en pequeños roedores y en el hombre.

Pero, cuál es el verdadero riesgo de inducción de cáncer por radiación? El Comité en Efectos Biológicos de las Radiaciones Ionizantes (BEIR) ha publicado toda esta información (10). Ellos consideran dos tipos de riesgos:

1. riesgo absoluto: número extra de muertes por cáncer en un millón de personas expuestas a 1 rem.
2. riesgo relativo: porcentaje de aumento sobre riesgo normal de inducción de cáncer.

El BEIR ha estimado que habrá una muerte adicional por cáncer durante el tiempo de vida de 10000 personas que reciban 1 rem de radiación a cuerpo entero. Este resultado se basa principalmente en el estudio de los supervivientes de las bombas atómicas en Japón. Para efecto de comparación se estima que el número de muertes por cáncer para 10000 habitantes es de 2100 (3) (Quiere decir que la radiación aumentará este valor a 2101). El BEIR también ha expresado el aumento de muertes por cáncer para varios tipos de cáncer, en particular como se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 4 (BEIR)**RIESGO ABSOLUTO PARA
1 MILLON DE PERSONAS EXPUESTAS A 1 REM**

TIPO DE CANCER	NUMERO DE MUERTES ADICIONALES
Leucemia (Adulto)	1.1
Tiroide (Hombre)	2.2
Tiroide (Mujer)	5.8
Mamas	5.8
Pulmón (Hombre)	3.6
Pulmón (Mujer)	3.9

Debido a que este reporte tiene aproximadamente 10 años, se espera que pronto salgan nuevos valores corregidos por los nuevos conocimientos adquiridos.

LA RADIACION Y LOS EFECTOS GENETICOS.

Los efectos genéticos ocurren por cambios permanentes en los genes (mutaciones) o por alteraciones cromosómicas de las células de los órganos reproductivos ovarios y testículos. La radiación es uno de los agentes que producen mutaciones genéticas, pero no el principal.

Los datos que poseemos para predecir los efectos genéticos están basados en experimentos con ratones. La frecuencia de ocurrencia de estas mutaciones se cree es proporcional a la dosis. Esta ocurrencia dependerá de la razón de dosis, el fraccionamiento de la dosis y del tiempo que exista entre irradiación y concepción. Veamos las siguientes tablas que aclaran lo anterior.

TABLA 5**EFFECTO DE DOSIS Y FRACCIONAMIENTO DE DOSIS EN LA FRECUENCIA
DE MUTACIONES EN RATONES HEMBRAS (11)**

DOSIS DE RAYOS X	MUTUACIONES POR MILLÓN de descendencia/rem
400 rem	3.6
50 rem	1.19
50 rem x 8 (a intervalos de 75 min)	1.39

TABLA 6**EFFECTO DEL TIEMPO DE APAREAMIENTO EN LA FRECUENCIA DE MUTACIONES EN RATONES HEMBRAS (11)**

Tipo de Radiación	Dosis (rem)	Tiempo entre irradiación y concepción	Número Descendientes	Número Mutaciones
Neutrones	630	Menor de 7 semanas	89301	59
Neutrones	630	Mayor de 7 semanas	20483	0
Rayos x	50	Menor de 7 semanas	127391	10
Rayos x	50	Mayor de 7 semanas	54621	0

La cantidad de radiación necesaria para producir efectos genéticos se mide en términos de la "dosis doble". La dosis doble es la cantidad necesaria para doblar la mutación espontánea.

El BEIR concluye que el aumento de inducciones genéticas en ratones causadas por la radiación comparadas con la inducción espontánea es de un 0.5% a 1.0% para 1 rem a la gónadas. Estimaron una "dosis doble" de 100 a 200 rem. Extrapolando para el hombre la "dosis doble" sería de 50 a 250 rems. De los sobrevivientes de las bombas atómicas se concluye que la "dosis doble" es de 468 rem (12)

Finalmente el BEIR (10) concluye que entre 5 y 75 desórdenes genéticos serios extra aparecerán por un millón de descendientes vivos irradiados con 1 rem en un período generacional de 30 años. Si esta dosis se le siguiera dando a generaciones futuras y se permite que algunas mutaciones desaparezcan solas, después de muchas generaciones se llegaría a un equilibrio, que se estima entre 60 y 1100 desórdenes genéticos serios en un millón de descendientes vivos. Este número debemos compararlo con 100000 niños por millón que muestran normalmente defectos genéticos.

TABLA 7**EFFECTOS GENETICOS ESTIMADOS EN UNA POBLACION DE 1 MILLON EXPUESTA A 1 REM, CON GENERACIONES DE 30 AÑOS (12)**

Desórdenes Genéticos serios en descendientes vivos

Sin radiación	Con Radiación	Equilibrio
Incidencia Actual	Primera Generación	60-1100 extra
107000	5-75 extra	

IRRADIACION AL FETO

Las radiaciones ionizantes en grandes cantidades producen:

1. malformaciones y defectos de crecimiento
2. desarrollo de cáncer en la niñez

El punto 1 se ve afectado por tres parámetros que estudiaremos a continuación: etapa gestacional, dosis y razón de dosis.

El embarazo se divide en tres etapas: la primera se llama preimplantación, la segunda organogénesis

(donde se desarrollan la mayoría de los órganos) y finalmente la etapa fetal (aquí más que todo ocurre crecimiento del feto).

TABLA 8

ESCALA DE TIEMPO PARA LAS ETAPAS DEL EMBARAZO

Tiempo en días después de concepción

	Preimplantación	Organogénesis	Fetal
Ratón	0-4.5	7.5-12.5	13-20
Ratas	0-5.5	8.5-13.5	14-32
Hombre	0-9	14-50	51-280

Si se irradian mamíferos pequeños con dosis de 100 rems he aquí lo que sucede:

- etapa de implantación: muerte embrional
- etapa de organogénesis: gran cantidad de malformaciones, reducción de peso al nacer, defectos en el sistema nervioso central entre otros
- etapa fetal: malformaciones funcionales.

EFFECTOS DE DOSIS:

Se cree que dosis menores de 10 rem no presentan efectos (13). En Hiroshima se encontró un aumento en microcefalia (cerebro pequeño) para dosis mayores de 12 rem, pero en Nagasaki no se encuentra un aumento significativo en microcefalia en dosis menores de 50 rem. Recientemente, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) propone un límite de 3 casos por 1000 niños que reciban 1 rem de dosis fetal. Sin la presencia de la radiación se estima 60 casos por 1000 niños.

EFECTO DE TASA DE DOSIS:

Si la dosis se distribuye a lo largo del tiempo hay muchos experimentos que demuestran que el número de incidencia de malformaciones disminuye.

DESARROLLO DE CANCER EN LA NIÑEZ:

Generalmente se tiene la idea de que la irradiación al feto aumenta la incidencia de cáncer en la niñez. Los resultados de los estudios efectuados en niños irradiados en útero son muy controversiales. De 1958 a 1976 la Dra. Alice Stewart estudia 7694 niños que presentan cáncer, al compararlos con una población igual que no recibió radiación concluye lo siguiente: si damos 1 rem de rayos X al útero en un millón de niños tendremos 500 muertes extra por cáncer, comparándolo con la incidencia normal, esto da un valor de un 50% más casos (14), lo cual es una cantidad enorme.

Existe un estudio realizado por el Dr. Court Brown en 39000 niños con exámenes de Rayos X de abdomen. Se encuentra que no existe exceso de cáncer de leucemia en los niños irradiados.

Finalmente, estudiaremos a los niños irradiados en útero sobrevivientes de las bombas atómicas en Japon. Los resultados indican que solo un caso de cáncer se encontró, pero en esa población por causas naturales se esperaba encontrar un caso de cáncer. (15) Veamos la tabla siguiente:

MORTALIDAD DE CANCER INFANTIL DESPUES DE EXPOSICION AL UTERO DE LOS SOBREVIVIENTES JAPONESES DE BOMBAS ATOMICAS.

Número de niños expuestos durante la gestación	1292
Número expuestos a menos de 500 mrem en aire	1250
Dosis fetal promedio estimado (rem)	14
Muertes de cáncer observadas, en los primeros 10 años	1
Número de cánceres esperados (naturalmente)	0.75

LA RADIACION Y OTROS RIESGOS COTIDIANOS

Los efectos dañinos de las radiaciones ionizantes en el organismo humano son producidas por grandes dosis de radiación y aparecen muy rápidamente. Sin embargo, los posibles efectos de dosis bajas de radiación (cáncer, efectos genéticos, defectos después de irradiación al feto) se estima que aparecerán en un número muy reducido de personas por lo que extrapolar los resultados de dosis altas a dosis bajas es arriesgado, veamos porque:

Suponga que tiene 1000 aspirinas y le dice a 10 personas que cada una se tome 100 aspirinas, por lo menos 9 de las 10 personas morirán de la sobredosis. Pero que pasa si ahora a 1000 personas les damos 1 aspirina (esto es la idea de las radiaciones

ionizantes, a una gran población le damos una pequeña cantidad de radiación) Si procedemos como se hace en los estudios con radiación a extrapolar linealmente los resultados a bajas dosis de las dosis altas dosis tendríamos que aún así se producen 9 muertes. Esto es absurdo, pues sabemos que nadie muere por tomarse una aspirina. Esto crearía políticas de prevención exageradas, muy estrictas y habría que eliminar la aspirina del mercado porque 9 muertes de 1000 es demasiado alto.

Veamos ahora como el resultado de los efectos de las radiaciones no es fácil de conocer. Debemos comparar éste riesgo de las radiaciones con otros riesgos en nuestra vida diaria para sí darnos cuenta que tan "peligrosas" son las radiaciones. El riesgo de la radiación se supone proporcional a la cantidad de exposición, entonces podemos buscar agentes o actividades que produzcan el mismo riesgo y compararlas. Usemos la conclusión del BEIR de que una dosis de cuerpo entero de 10 mrem nos da un riesgo de por vida de 1 muerte por cáncer en un millón de habitantes. La tabla #9, nos compara medios de transporte y sus distancias recorridas necesarias para darnos el riesgo de 1 muerte en un millón de personas, según estadísticas de los Estados Unidos. La Tabla #10, hace lo mismo pero con la ingestión de productos cancerígenos de datos provenientes del Consejo Nacional de Seguridad de EUA.

TABLA 9

**RIESGO DE 1 EN UN MILLON (EQUIVALENTE A 10 MREM)
DE ACCIDENTES FATALES AL VIAJAR (16)**

16	Kilómetros en bicicleta
6	minutos en canoa
480	Kilómetros en automóvil
1600	Kilómetros en avión comercial.

TABLA 10

**RIESGO DE 1 EN UN MILLON (EQUIVALENTE A 10 mrem) DE CANCER
FATALES AL CONSUMIDOR (16)**

- Fumado de 1.4 cigarrillos
- Bebiendo el agua de Miami por 1 año (cloroforma)
- Bebiendo 30 latas de 12 onzas de gaseosa dietética (sacarina)
- Comiendo 100 bistec asados al carbón (benzopireno).

Comparemos más directamente el riesgo de cáncer por fumar con el riesgo por radiaciones. Utilizaremos las estadísticas del año 1983 de los Estados Unidos y los

resultados del Doll-Peto (17) sobre qué porcentaje del cáncer total proviene del fumar, tenemos lo siguiente:

- la muerte de 65 personas de 1000 que murieron por cáncer proviene del fumar.
- si a 1000 personas le damos 10 rem (10.000 rems), solo se espera que se desarrolle un cáncer fatal.

Concluimos que el efecto de fumar es 65 veces más peligroso que recibir 10 rems, pero pongamos atención que 10 rems es lo que recibirá a lo largo de toda su vida un individuo expuesto a la radiación natural de fondo y a las contribuciones de usos médicos.

Otra manera de comparar el riesgo de las radiaciones ionizantes es estudiando otros riesgos ocupacionales. Un trabajador recibe 5 rem/año y por un período de 50 años de trabajo esto implicaría 50 muertes extra por un millón por año. Veamos la Tabla #11.

TABLA #11

RAZON DE MUERTES ACCIDENTALES POR AÑO EN VARIAS OCUPACIONES EN LOS ESTADOS UNIDOS EN EL AÑO 1982 (18)

OCUPACION	MUERTE/MILLON/AÑO
Comercio	50
Fabricante	50
Empleado	60
Gobierno	100
Transporte	260
Construcción	400
Agricultura	520
Minero	550
Radiación	50

Cuando tenemos un accidente fatal este es inmediatamente y nos acorta la vida tal vez unos 40 años. El cáncer producido por la radiación no se manifiesta hasta 10 a 20 años después, por lo tanto deberíamos hacer una comparación con el acortamiento de vida de cada uno de estos riesgos. Así también basados en estadísticas norteamericanas de 1979 tenemos:

TABLA #12**ACORTAMIENTO DE VIDA EN DIAS DEBIDO A VARIAS CAUSAS (19)**

Exposición Médica promedio (75 mrem)	6
Exposición Ocupacional promedio (230 mrem)	18
Fumar cigarrillos (hombre)	2250
Sobrepeso en 30%	1300
Fumar puros	330
Accidentes Automovilísticos	207
Consumo de Alcohol	130
Accidentes ocupacionales (todos)	74
Caídas	39

La utilización de radiaciones ionizantes para el diagnóstico de enfermedades en el ser humano, es menos peligroso que el riesgo mismo de la enfermedad. Además, se está expuesto en forma natural a radiaciones y estadísticamente se corre más riesgo con otros azares de la vida que con las radiaciones. Lo importante es que estas sean utilizadas y administradas científicamente para garantizar la cantidad de radiación permitida.

Se empieza a recopilar evidencia científica de que pequeñas cantidades de radiación son BENEFICIOSAS para nuestra salud. Este proceso se llama "hormesis". Todavía no hay suficientes experimentos para que sea aceptado en la comunidad científica, pero hasta el momento no hemos podido decir que las poblaciones expuestas a bajas cantidades de radiación (por ejemplo lugares donde la radiación natural es el doble del valor promedio) sea vean perjudicialmente afectadas.

En situaciones de catástrofe, la situación puede cambiar porque la cantidad de radiación a que se expone a los individuos es incontrolada, no dosificada, por tiempo imprevisible y en ocasiones sin poder emplear las medidas de descontaminación adecuadas. De aquí que el conocimiento de saber qué hacer en una situación de emergencia sea fundamental para la salud de la población y a esto está orientado este curso.

REFERENCIAS:

- (1) NCRP #45. Radiación Natural de Fondo en los Estados Unidos. National Council on Radiation Protection Measurements, EVA, 1975.
- (2) Nation wide evaluation of X ray trends: tabulations 1985 U.S. Department of Health Human Services, Food Drug Administration, Bureau of Radiological Health, USA, 1981.
- (3) Seidman, Mushinski. Gelb Silverberg: A cancer journal for Clinicians 35:36, 1985.
- (4) Doll-Peto, J. Nat. Canc. Inst. 66, 1192, 1981.
- (5) Shore-Woodward, J. Nat. Canc. Inst. 74, 1177, 1985
- (6) Boice & Manson, J. Nat. Canc. Inst. 59, 823, 1977
- (7) Rallison, Dobyns & Keating, An J. Med. 56, 457, 1974.
- (8) Lyon, Klavber & Gardner, N. Eng. J. Med. 300, 397, 1979
- (9) Matanoski & Sartwell. Radiation Carcinogenesis, New York, 1984.
- (10) Committee on the Biological Effects of Ionizing radiation National Academy of Sciences - National Research Council the effects on population: of exposure to low levels of ionizing radiation: 1980 (BEIR III Report) 1980.
- (11) Ruseell. Pediatrics 41, 223, 1968.
- (12) Schull, Otake & Neel. Science 213, 1220, 1981
- (13) Jacobsen, Radiation Biology of the Fetal and Juvenile Mammal, AEC Symposium Series 17, U.S. Atomic Energy Commission. 1969
- (14) Stewart, Kneate, Lancet 1, 1185, 1970.
- (15) Jablon & Kato, Lancet 2, 1000, 1970.
- (16) Wilson Technology Reviews, 41-46, MIT, 1979
- (17) Doll & Peto, J. Nat. Canc. Inst. 66, 1192, 1981.
- (18) National Safety Council Accident Facts, 1982.