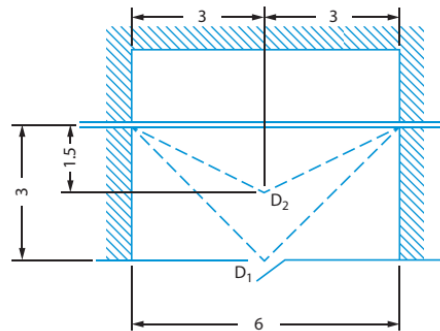


Ejercicios del capítulo 10

1. Una fuente de ^{60}Co de 10 Ci se atascó y no pudo volver a su cápsula de blindaje. El operador entra en el búnker y se acerca a la fuente a un ritmo de 1 m/s. Cuando está a 1 m de distancia se detiene y se expone durante 15 s. Se da cuenta que la fuente no está en su blindaje y abandona la sala a un ritmo de 2 m/s. ¿Cuál es la dosis comprometida debido a esta exposición?
2. Una fuente lineal de ^{24}Na activo viaja por una tubería de poco diámetro que se halla en una sala de acceso de 6 m de ancho. La puerta de la sala se encuentra a 3 m de la tubería, como se muestra en la figura. Si la concentración lineal de actividad es 100 MBq/m,
 - ¿Cuál es la tasa de dosis equivalente en el punto D_1 en el umbral de la puerta, a una distancia de 3 m de la tubería?
 - ¿Cuál es la tasa de dosis equivalente en el punto D_2 , a una distancia de 1,5 m de la tubería?



3. 50 MBq de una solución de $^{24}\text{NaCl}$ se derrama sobre un área circular de 50 cm de diámetro. ¿Cuál es la tasa de dosis equivalente de rayos gamma a una altura de 30 cm? ¿Y a 1 m?
4. Una fuente de ^{137}Cs de 1 Ci se guarda en un contenedor de plomo esférico cuando no se usa. ¿Cuál debe ser el espesor del plomo para que la tasa de kerma en aire a 1 m de distancia de la fuente no supere 25 $\mu\text{Sv/h}$? Asuma que la fuente es lo suficientemente pequeña como para considerarse como un "punto".
5. Diseña un contenedor de plomo esférico para atenuar la tasa de actividad de 1 Ci de ^{24}Na a 10 mR/h a una distancia de 1 m desde la fuente.
6. Calcula el grosor de las barreras primarias y secundarias para una unidad de rayos X dedicada a tórax que opera en las siguientes condiciones:
 - 50 pacientes por día.
 - 5 días por semana.
 - La unidad apunta siempre a la misma pared.
 - Área del receptor de imagen de 1833 cm^2 a una distancia fuente-imagen de 2 m.

- Salas adyacentes ocupadas y no controladas.
 - Distancia de 3 m a la sala ocupada tras la barrera primaria.
 - Distancia de 2,5 m desde el tubo de rayos X y del paciente a la sala ocupada en una pared lateral.
 - Distancia de 3 m desde el tubo al piso. El piso inferior está ocupado.
 - Receptor de imagen montado en un soporte en la pared que equivale a 0,85 mm de Pb.
 - Las paredes están conformadas por dos planchas de yeso de 14 mm de espesor cada una, sujetas con pernos de 2x4 pulgadas.
7. A partir de la siguiente información sobre una sala en la que se va a instalar un tomógrafo:

- Las paredes son de bloques de hormigón y están pintadas por ambos lados. El espesor efectivo del hormigón es 50 cm.
- La pared con la puerta de la sala del CT da a un pasillo ($T=1/5$) y la pared opuesta linda con un estacionamiento sin vigilancia ($T=1/40$). Las otras dos paredes lindan con oficinas ocupadas.
- Todas las áreas adyacentes no están controladas ($P=0,02$ mGy/semana).
- La sala está en el subsuelo, por lo que no hay nada debajo; la habitación encima de la misma está ocupada. La altura de la sala es de 3 m y el techo es una losa de hormigón de 101 mm de espesor.
- La distancia desde el isocentro del gantry al pasillo es 2,5 m y a las habitaciones adyacentes, 3 m; la distancia del isocentro al suelo es 1,5 m.
- La carga de trabajo máxima que se espera es de 75 tomografías de cuerpo de 50 cm de largo en promedio a 250 mAs, 140 kV_p y un pitch de 1,3; y 25 estudios de cabeza por semana, 20 cm de largo en promedio, a 300 mAs y 140 kV_p, y un pitch de 1,0.
- Los valores de $nCTDI_{100}$ según el fabricante son 0,225 mGy/mAs para cabeza y 0,140 mGy/mAs para cuerpo.

Calcula el grosor de plomo para la puerta y cualquier espesor adicional de plomo, si es necesario, para la pared del pasillo, la pared de la habitación adyacente y el techo.

8. Calcula el espesor de la barrera primaria de hormigón para un acelerador lineal de 6 MV de acuerdo con los siguientes datos:
- 40 paciente por día, 5 días por semana.
 - 3,5 Gy por paciente.
 - 5000 Gy por año de calibraciones, controles de calidad y mantenimiento, carga de trabajo anual, a 1 m de distancia.
 - Tasa de dosis de salida máxima de 10 Gy/min a 1 m de distancia.
 - $d_{pri} = 6,3$ m desde el isocentro a la pared primaria (punto de dosis).

- dsca = 1 m desde la fuente de rayos X al isocentro (punto de dispersión).
- d_{sec} = 6,3 m desde el punto de dispersión al punto de dosis.
- d_L = 6,3 m, distancia de fugas desde la fuente al punto de dosis.
- Tamaño de campo máximo en el isocentro = 40 cm x 40 cm.
- El punto de dosis sobre el pasillo, factor de ocupación T=1/5.
- Factor de uso U=0,5.
- P=0,02 mSv/semana.

ISOTOPE	Γ		f factor (cGy/R)
	$\frac{R \cdot m^2}{Ci \cdot h}$	$\frac{(C/kg) \cdot m^2}{MBq \cdot s}$	
Antimony-122	0.257	4.97×10^{-13}	0.964
Cesium-137	0.343	6.64×10^{-13}	0.962
Chromium-51	0.0178	3.44×10^{-14}	0.876
Cobalt-60	1.29	2.50×10^{-12}	0.965
Fluorine-18 ^a	0.53	1.17×10^{-12}	0.876
Gold-198	0.23	4.46×10^{-13}	0.965
Iodine-125	0.175	3.38×10^{-13}	0.921
Iodine-131	0.22	4.26×10^{-13}	0.963
Indium-192	0.46	8.91×10^{-13}	0.964
Iron-59	0.718	1.39×10^{-12}	0.965
Mercury-203	0.13	2.52×10^{-13}	0.963
Potassium-42	0.137	2.65×10^{-13}	0.965
Radium-226	0.00394	7.63×10^{-15}	0.962
Sodium-22	1.18	2.29×10^{-12}	0.965
Sodium-24	1.82	3.53×10^{-12}	0.964
Zinc-65	0.307	5.94×10^{-13}	0.965

TABLE 5-3 Linear Attenuation Coefficients, cm⁻¹

ρ (g/cm ³)	PHOTON ENERGY (MeV)																
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.25	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	8.0	10.0	
Al	2.7	0.460	0.372	0.330	0.281	0.228	0.211	0.185	0.166	0.148	0.135	0.117	0.096	0.084	0.077	0.066	0.063
C	2.26	0.342	0.304	0.278	0.241	0.197	0.182	0.160	0.144	0.129	0.117	0.100	0.081	0.069	0.061	0.049	0.044
Fe	7.87	2.925	1.546	1.149	0.865	0.662	0.606	0.527	0.472	0.421	0.384	0.336	0.285	0.261	0.248	0.235	0.236
Cu	8.96	4.107	1.986	1.397	1.003	0.749	0.683	0.592	0.529	0.471	0.430	0.377	0.322	0.297	0.285	0.275	0.278
Pb	11.34	62.926	22.839	11.323	4.571	1.830	1.415	1.006	0.805	0.666	0.592	0.522	0.480	0.476	0.484	0.530	0.564
H ₂ O	1	0.171	0.151	0.137	0.119	0.097	0.090	0.079	0.071	0.063	0.058	0.049	0.040	0.034	0.030	0.024	0.022
Concrete ^a	2.3	0.400	0.330	0.295	0.252	0.205	0.189	0.166	0.149	0.134	0.122	0.105	0.085	0.074	0.067	0.056	0.052
Air ^b	1.205	1.857	1.634	1.486	1.286	1.151	9.706	8.524	7.661	6.853	6.236	5.359	4.315	3.710	3.315	2.681	2.464
	$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$	$\times 10^{-5}$

^aOrdinary concrete has the following composition: (Z/A) 0.50932; mean excitation energy, 124.5 eV; Z fraction by weight—1: 0.022100; 6: 0.002484; 8: 0.574930; 11: 0.015208; 12: 0.001266; 13: 0.019953; 14: 0.304627; 19: 0.010045; 20: 0.042951; 26: 0.006435.

^bDry air (near sea level) has following composition: (Z/A) 0.49919; mean excitation energy, 85.7 eV; Z fraction by weight—6: 0.000124; 7: 0.755268; 8: 0.231781; 18: 0.012827. See Appendix E for mass attenuation coefficients.

TABLE 10-5 Unshielded Primary and Secondary Air Kerma (mGy per Patient) for the Indicated Workload, W_{norm} (mA · min/wk), normalized to a primary beam distance of 1 m

WORKLOAD DISTRIBUTION	W_{norm}^a	K_p^{1b}	K_{sec}^{1c}	K_{sec}^{1d}
Rad room (chest bucky)	0.6	2.3	5.3×10^{-3}	7.3×10^{-3}
Rad room (floor or other barriers)	1.9	5.2	2.3×10^{-2}	3.3×10^{-2}
Rad tube (R & F room)	1.5	5.9	2.9×10^{-2}	4.0×10^{-2}
Chest room	0.22	1.2	2.7×10^{-3}	3.6×10^{-3}
Cardiac angiography	160	N/A	2.7	3.8

^aFor the indicated clinical installations, W_{norm} is the average workload, mA per patient.

^bThese values for the primary air kerma, mGy per patient, ignore the attenuation available in the radiographic table and image receptor.

^cLeakage and side scatter.

^dLeakage and forward/backscatter.

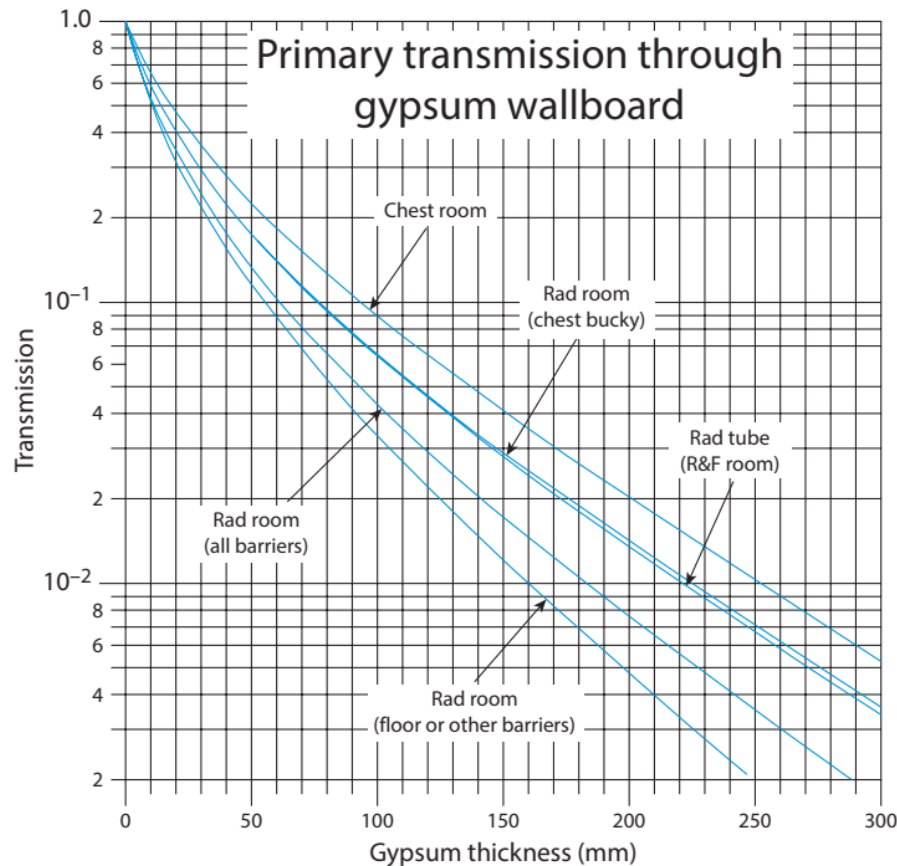


Figure 10-14. Primary broad-beam transmission through gypsum wallboard. A nominal 5/8-in. sheet of “type X” gypsum wallboard has a minimum gypsum thickness of ~14 mm. (Reproduced with permission of the National Council on Radiation Protection and Measurements from *Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities*. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection & Measurement; 2004. NCRP Report 147.)

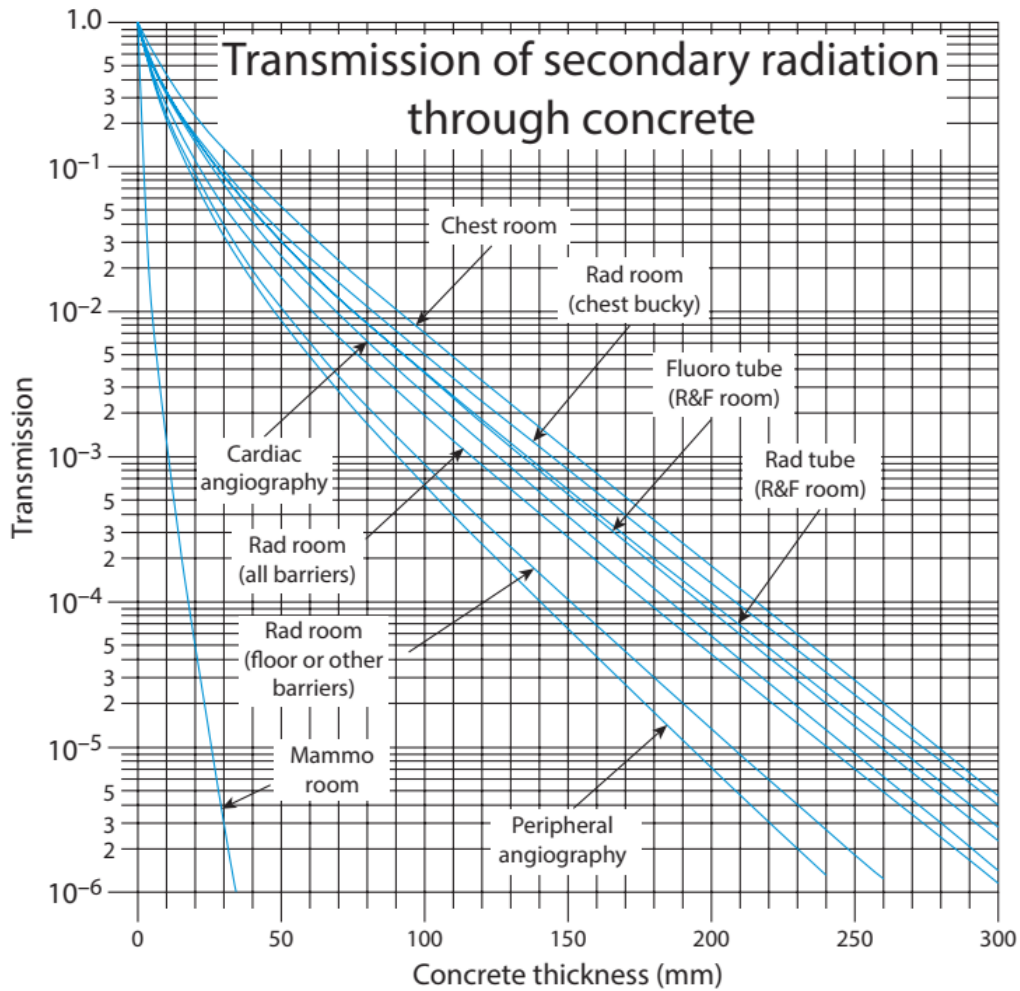


Figure 10-15. Transmission of secondary radiation through standard weight concrete (147 \#/ft^3 , $2.4 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$). (Reproduced with permission of the National Council on Radiation Protection and Measurements from *Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities*. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection & Measurement; 2004. NCRP Report 147.)

TABLE 10-6 Commercial Lead Sheets

THICKNESS		NOMINAL WEIGHT	
mm	in.	#/ft ²	Kg/m ²
0.79	1/32	2	10
1.00	5/128	2 1/2	12
1.19	3/64	3	15
1.58	1/16	4	20
1.98	5/64	5	24
2.38	3/32	6	29
3.17	1/8	8	39
4.76	3/16	12	59
6.35	1/4	16	78
8.50	1/3	20	98
10.1	2/5	24	117
12.7	1/2	30	146
16.9	2/3	40	195
25.4	1	60	293

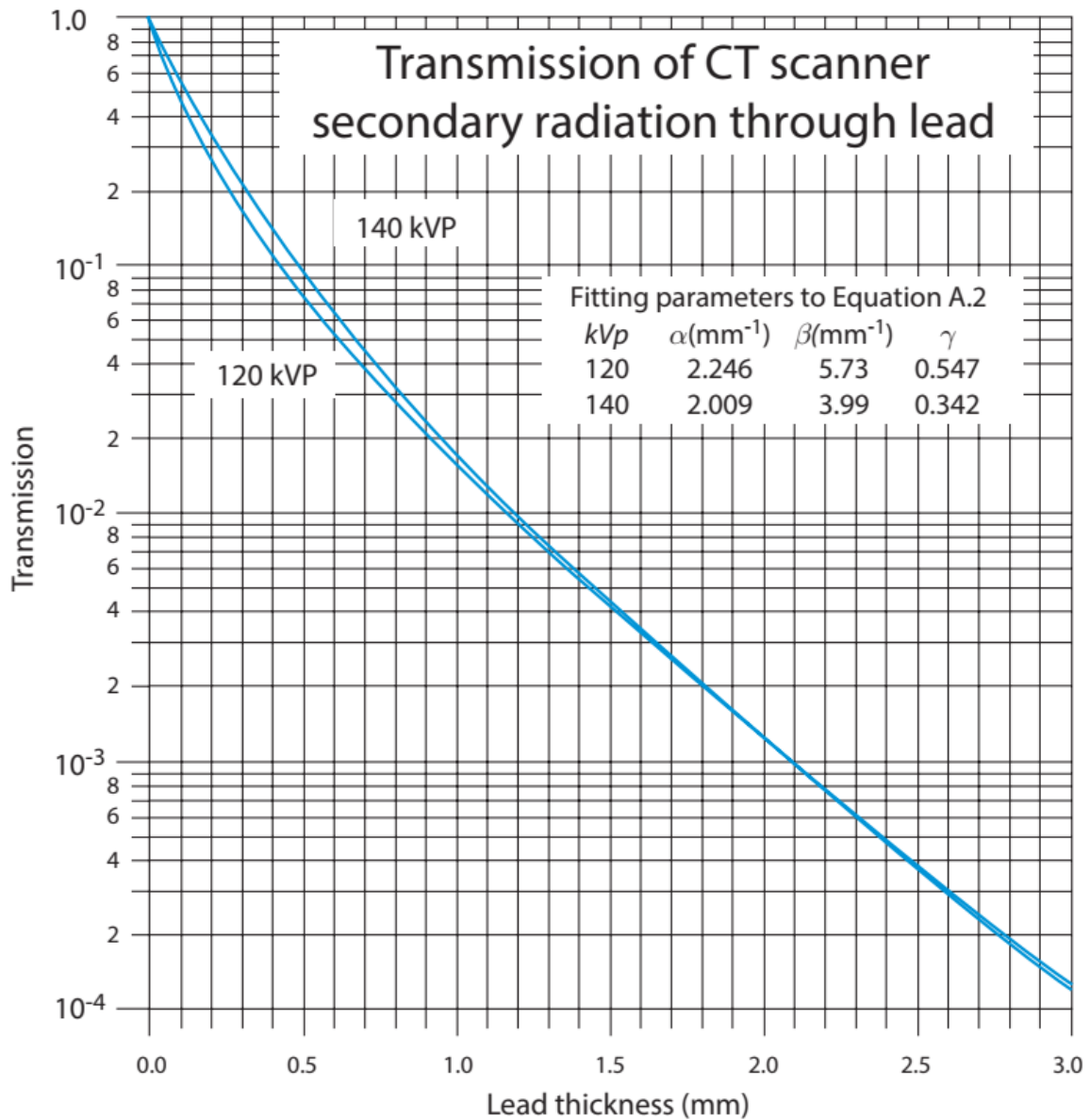


Figure 10-17. Transmission through lead of secondary radiation from CT scanners. (Reproduced with permission of the National Council on Radiation Protection and Measurements from *Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities*. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection & Measurement; 2004. NCRP Report 147.)

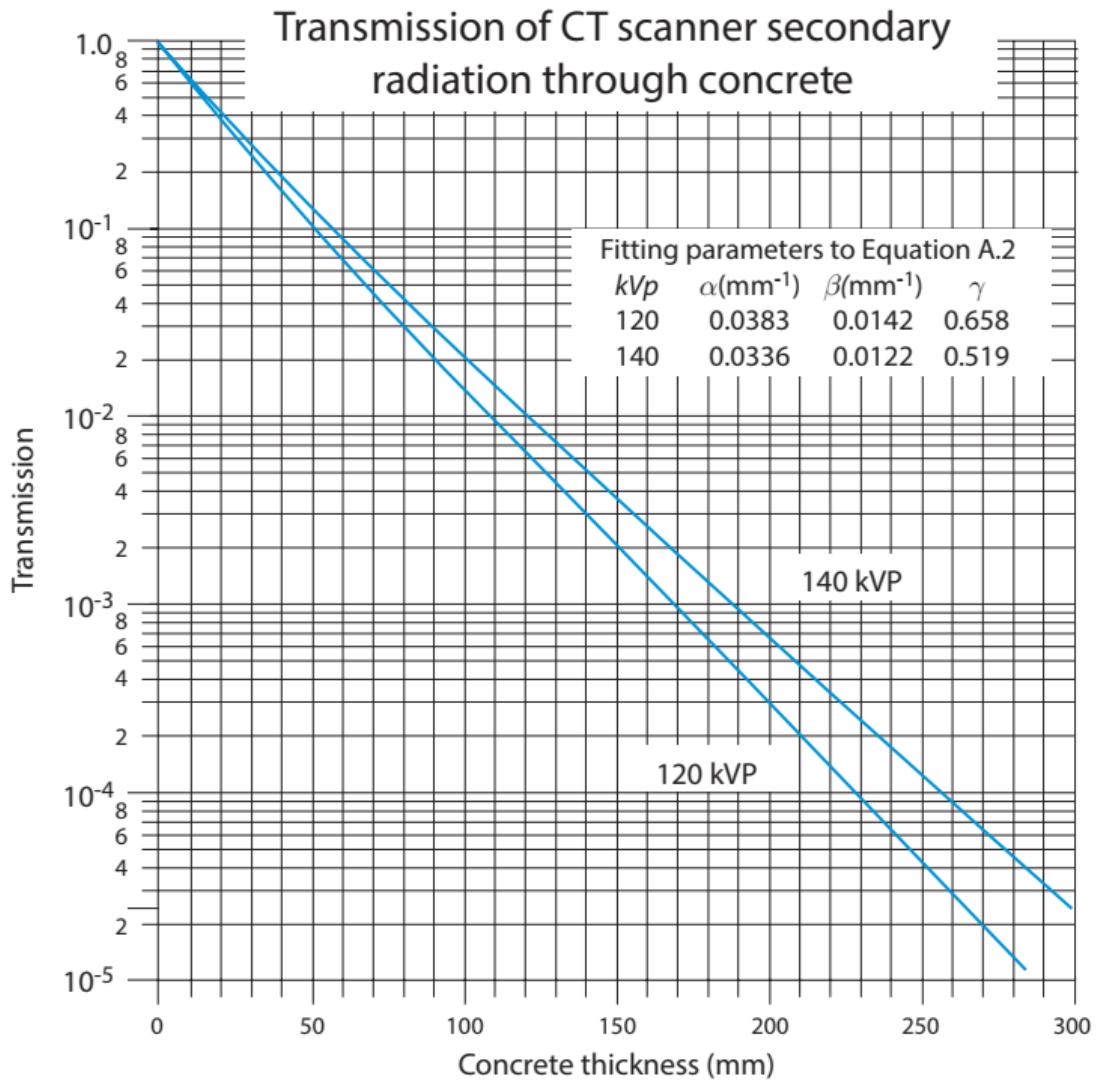


Figure 10-18. Transmission through concrete of secondary radiation from CT scanners. Computed axial tomography (CAT) scanner. (Used with permission from InnerVision Advanced Medical Imaging, Lafayette, IN.)

TABLE 10-7 Primary Barrier Tenth Value Layers (TVLs) for Ordinary Concrete (2.35 g/cm³), Steel (7.87 g/cm³), and Lead (11.35 g/cm³)

ENDPOINT ENERGY	MATERIAL	TVL ₁ (cm)	TVL _e (cm)
4	Concrete	35	30
	Steel	9.9	9.9
	Lead	5.7	5.7
6	Concrete	37	33
	Steel	10	10
	Lead	5.7	5.7
10	Concrete	41	37
	Steel	11	11
	Lead	5.7	5.7
15	Concrete	44	41
	Steel	11	11
	Lead	5.7	5.7
18	Concrete	45	43
	Steel	11	11
	Lead	5.7	5.7
20	Concrete	46	44
	Steel	11	11
	Lead	5.7	5.7
25	Concrete	49	46
	Steel	11	11
	Lead	5.7	5.7
30	Concrete	51	49
	Steel	11	11
	Lead	5.7	5.7
Co-60	Concrete	21	21
	Steel	7.0	7.0
	Lead	4.0	4.0

The first (TVL₁) and equilibrium (TVL_e) tenth-value layers are used to account for the spectral changes in the radiation as it penetrates the barrier.

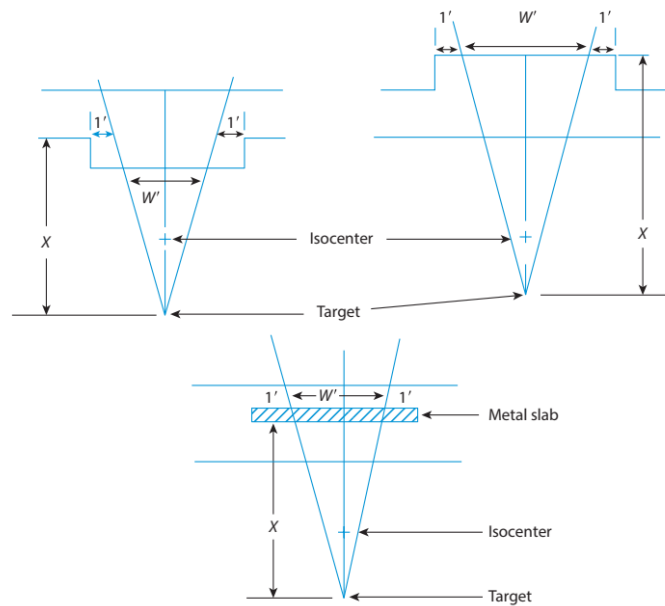


Figure 10-21. Widths of primary barriers. The lower figure shows a metal slab that is embedded in the concrete to provide the additional shielding for the primary beam. (Reproduced with permission from McGinley PH. *Shielding Techniques for Radiation Oncology Facilities*. 2nd ed. Madison, WI: Medical Physics Publishing Corp; 2002: Fig 2-3, p. 27.)