

Perfiles de Dosis Absorbida vs Profundidad de Tejido Sinovial para El Y-90 y El P-32 Empleados en Tratamiento de Radiosinoviortesis

Ing Torres Berdeguez M.B¹, Ing. Ayra Pardo F.E¹
¹ *Centro de Isótopos*
mtorres@centis.edu.cu; feayrap@centis.edu.cu.....

Dr. García Rodríguez E², Ms. Cornejo Díaz N³, ⁴Dr Yoriyaz H
² *Hospital General Docente Enrique Cabrera*
³ *Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones*
⁴ *IPEN-Brasil*
nestor@cphr.edu.cu

Resumen

El tratamiento de radiosinoviortesis ha sido utilizado durante más de 40 años como una alternativa a la sinovectomía química y quirúrgica para aliviar el dolor y reducir la inflamación en pacientes aquejados de artropatías reumáticas, artropatías hemofílicas y otros trastornos de las articulaciones. Consiste en la inyección de isótopos radiactivos dentro de cualquier cavidad sinovial. Para evaluar la dosimetría del tratamiento de radiosinoviortesis es de gran interés saber la dosis absorbida en el volumen del blanco (sinovio). El cálculo preciso de la dosis absorbida en el sinovio inflamado es difícil, por numerosas razones, ya que el mismo dependerá del espesor de la membrana sinovial, el tamaño del espacio articular, la estructura de la membrana sinovial, la distribución en la articulación, la naturaleza del líquido articular, etc. También la presencia del hueso y el cartílago articular, componentes también de la articulación, complicará aún más los cálculos. El método empleado para evaluar la dosimetría en sinovectomía radiactiva es conocido como el método de Monte Carlo. El objetivo de nuestro trabajo consiste en estimar con el código de Monte Carlo MCNP4B la dosis absorbida del Y-90 y el P-32 en la profundidad de tejido sinovial. Los resultados son presentados como dosis absorbida por milicurie inyectado (Gy/mCi) versus profundidad de tejido sinovial. La simulación se realizó teniendo en cuenta varias áreas de sinovio, de 50 cm² a 250 cm² teniendo en cuenta tres estados de progresión de la enfermedad. Los valores de dosis absorbida obtenidos empleando el código MCNP4B permitirán introducir en nuestro país un método optimizado de prescripción de dosis al paciente, para tratar la artritis reumática en articulaciones medianas y grandes empleando el Y-90 y el P-32, eliminando las dosis fijas y radionúclidos fijos para cada articulación como ocurre en muchas clínicas de Europa, así como la dosis empíricas.

1. INTRODUCCIÓN

El tratamiento de radiosinoviortesis ha sido utilizado durante más de 40 años como una alternativa a la sinovectomía química y quirúrgica para aliviar el dolor y reducir la inflamación en pacientes aquejados de artropatías reumáticas, artropatías hemofílicas, oosteoartritis y otros trastornos de las articulaciones. Dicho tratamiento ha sido introducido en nuestro país como parte de un proyecto de cooperación técnica con el

Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), “Optimización de radiosinovioresis en artropatías hematológicas y reumáticas” durante el bienio 2001-2002. El tratamiento de radiosinovioresis consiste en la inyección de un preparado radiactivo dentro de cualquier cavidad sinovial de modo que el radionúclido inyectado en la cavidad haga contacto con la membrana sinovial. Las células fagocíticas a lo largo de la superficie sinovial rápidamente absorben parte de la radiactividad inyectada en la cavidad. Durante el decaimiento radiactivo del radionúclido, se impartirá una dosis terapéutica al tejido sinovial, el cual será destruido.

Dicho tratamiento comparado con la sinovectomía quirúrgica es especialmente atractivo para el paciente, en especial para aquellos mayores de 50 años aquejados de artritis reumatoide, pues constituye una terapia simple y menos problemática para el paciente. A diferencia de la cirugía, la rehabilitación es mucho más sencilla, es una terapia ambulatoria, solo requiere anestesia local, los costos son bajos, por otra parte la duración del efecto de alivio es comparable con los logrados con la intervención quirúrgica [1,2]. Solo es necesario inmovilizar la articulación tratada por un período de tres días para reducir el escape del radionúclido inyectado desde la cavidad articular, no existe riesgo de infección del lugar de inyección después de realizarse el procedimiento y si el tratamiento no muestra el efecto deseado, este puede repetirse [2]. La sinovectomía química en comparación con el tratamiento de radiosinovioresis muestra un daño por erosión en el cartílago articular [3,4], además de ser una inyección dolorosa para el paciente.

Los notables avances en la síntesis y diseños radiofarmacéuticos han creado la oportunidad de generar nuevos tipos de agentes para la radiosinovioresis, los cuales exhiben un mínimo escape de la articulación sinovial, reduciéndose así las no deseadas dosis en los órganos no blancos fuera de la cavidad sinovial, tales como el hígado, bazo, riñón, etc. Como consecuencia, actualmente el rango de emisores beta empleados en radiosinovioresis va desde 0.34 MeV de energía y 0.33 mm de penetración (Er-169) hasta 2.27 MeV y 3.6 mm de penetración (Y-90). El período de semidesintegración de estos isótopos se encuentra en un rango de 2.3 horas (Dy-165) hasta 27.8 días (Cr-51), pero sin dudas el P-32 y el Y-90 son los dos isótopos más ampliamente usados como agentes en radiosinovioresis [5].

Para evaluar la dosimetría del tratamiento de radiosinovioresis es de gran interés saber la dosis absorbida en el volumen del blanco (sinovio). El cálculo preciso de la dosis absorbida en el sinovio inflamado es difícil, por numerosas razones, ya que el mismo dependerá del espesor de la membrana sinovial que no es uniforme en toda su extensión, el tamaño del espacio articular, la estructura de la membrana sinovial (lisa, vellosidades finas o gruesas, edematosa, etc), la distribución en la articulación, la absorción coloidal en el líquido articular, la naturaleza del líquido articular, la actividad inflamatoria de la sinovitis, etc. También la presencia del hueso y el cartílago articular, componentes también de la articulación, complicará aún más los cálculos.

El método empleado para evaluar la dosimetría en sinovectomía radiactiva es conocido como el método de Monte Carlo. La principal utilidad de los códigos de Monte Carlo en este campo es la verificación de técnicas y algoritmos y, más recientemente, la de proveer datos para nuevos procedimientos de planificación de dosis.

El código MCNP4B fue desarrollado en Los Alamos National Laboratory. El objetivo primordial de este trabajo está en usar el código MCNP4B para calcular la dosis en el tejido sinovial y otros componentes no blancos que rodean la articulación, con el propósito de aumentar la exactitud en el cálculo de dosis que se está prescribiendo al paciente que va a recibir el tratamiento. Los resultados obtenidos con el código permitirán establecer el rango terapéutico del radionúclido dado, la cantidad de actividad a administrar en cada caso, la dosis terapéutica esperada en el sinovio y la dosis de radiación impartida a otros componentes no blancos de la articulación, como hueso y cartílago articular, lo que permitirá al especialista médico prescribir la dosis adecuada de radionúclido para asegurar la total ablación de la sinovial sin exponer el resto de las estructuras sanas de la articulación a un excesivo e innecesario riesgo de radiación, lo que permitirá ofrecer un servicio de radiosinoviortesis en Cuba con mayor calidad.

2. DESARROLLO

El código empleado MCNP4B permite simular problemas de transporte de neutrones, electrones y fotones y problemas acoplados de transporte (neutrón - fotón - electrón), geometrías tridimensionales complejas, presenta técnicas de reducción de varianza, una estructura de entrada de datos para el hacer el cálculo más flexible y tiene la facilidad de plotear la geometría del problema, mediante lo cual es posible verificar el modelo geométrico antes de ejecutar la parte de transporte, aspecto muy importante especialmente cuando la geometría es compleja.

El modelo matemático empleado para calcular la dosis absorbida en la profundidad de tejido sinovial, hueso y cartílago articular consistió en un sistema formado por superficies muy finas (0.2 mm de espesor) consecutivas, de forma rectangular. Este modelo incorpora las siguientes regiones: hueso, cartílago articular, cavidad articular y tejido sinovial. La actividad inyectada se distribuye uniformemente en la cavidad articular y la membrana sinovial, situada a todo lo largo de la superficie sinovial, como se muestra en la siguiente figura 1.

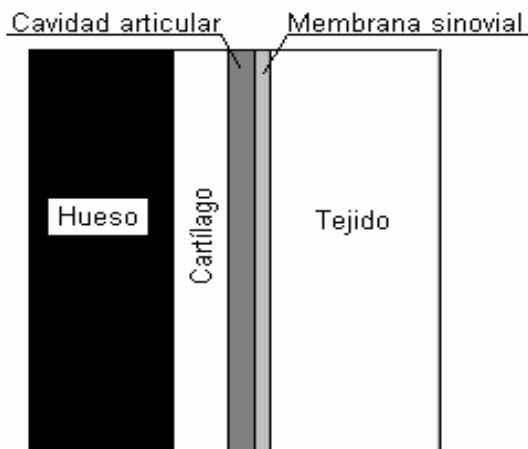


Figura 1. Modelo geométrico de la articulación sinovial

Para ello se emplearon 50 celdas rectangulares, de ellas, 13 celdas de 0.2 mm de espesor simulan el tejido óseo, 5 celdas del mismo espesor simulan el cartílago, 2 celdas fuentes, una que simula el fluido sinovial (agua) y la otra la membrana sinovial (tejido) y el resto de las celdas corresponden al tejido dañado que se forma.

La simulación se realizó teniendo en cuenta varias áreas de sinovio, de 50 cm² a 250 cm². El área del sinovio puede ser estimada a través de una tomografía axial computarizada (TAC) de rodillas de pacientes [3]. Se estima que el área de la superficie sinovial de una rodilla artrítica para un adulto se encuentra entre 150 cm² a 250 cm²[3], y el área de una muñeca artrítica tiene aproximadamente 50 cm² [1].

El espesor de la región fuente representa el estado de progresión de la artritis reumática en una rodilla artrítica [6]. Los espesores de la región fuente para los diferentes estados de progresión de la enfermedad se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Estados de progresión de la artritis reumática

Estados	Espesor de la cavidad articular (cm)	Espesor de la membrana sinovial (cm)
Estado 1	0.035	0.020
Estado 2	0.044	0.030
Estado 3	0.053	0.040

La tabla 2 muestra la composición de los elementos de la articulación sinovial

Tabla 2. Composición y densidad de los componentes de la articulación

Elementos	Hueso (%)	Cartílago (%)	Tejido (%)
H	3.4	9.6	10.0
C	15.5	9.9	14.9
N	4.2	2.2	3.5
O	43.5	74.4	71.6
Na	0.1	0.5	-
Mg	0.2	-	-
P	10.3	2.2	-
S	0.3	0.9	-
Ca	22.5	-	-
Cl	-	0.3	-
ρ (g/cm ³)	1.92	1.1	1.0

El Y-90, es un emisor beta puro de energía máxima de 2.3 MeV y una energía media de 0.9 MeV, el período de semidesintegración es de 2.7 días. El P-32, es un emisor beta puro de energía máxima de 1.71 MeV, y una energía media de 0.6945 MeV, el período de semidesintegración es de 14.29 días.

En el modelo geométrico simulado con el código las partículas beta emitidas de la región fuente (líquido articular-membrana sinovial) son transportadas a través de toda la articulación, se incluye además la radiación de frenado. En la tabla 4 se muestran los parámetros utilizados en la simulación.

Tabla 4. Parámetros utilizados en la simulación con el código MCNP4B

Parámetro	Valor usado
Mode	p e
tally	*f8:p,e
cut:e	0.01
cut:p	0.01
Números de historias	100000

La tally *f8 (energía depositada en la celda, MeV), fue la empleada para obtener los resultados de cada una de las corridas. El valor de dosis absorbida por cada desintegración se obtiene según la ecuación 1.

$$D(\text{Gy}) = \frac{*f8^*}{m} \times 1.6E-10 \text{ (Gy)} \quad (1)$$

Donde:

m: masa (g) de la celda.
 *f8: resultados de la tally

Integrando en el tiempo se obtiene:

$$D_t = D_0 \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt \quad (2)$$

$$D_t = \frac{D_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (3)$$

Para un tiempo mucho mayor que la vida media del radionúclido, no se considera la fuga del radionúclido de la articulación sinovial, la ecuación (3) se reduce a:

$$D_t = \frac{D_0}{\lambda}, \quad (4)$$

Donde:

D₀, dosis absorbida inicial
 λ, constante de decaimiento física del radionúclido, h⁻¹

Un tiempo de vida mucho mayor que la vida media (T_{1/2}) se puede considerar, para la mayoría de los propósitos como un tiempo mayor que 6T_{1/2}. Esto es para los emisores de corta vida más comúnmente utilizados en radiosinoviortesis, entre 1 y 20 días [1].

El programa de cálculo estadístico Statgraphics 4 fue empleado para realizar un test de comparación de los resultados obtenidos con el código MCNP4B con los resultados publicados por L. Scott Johnson empleando el código EGS4 [1] para áreas de sinovio de 50 cm² a 250 cm² en el estado II de progresión de la enfermedad.

3. RESULTADOS

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos para el Y-90 y el P-32 (perfiles de dosis absorbida en la profundidad de tejido sinovial, en los estados 1 y 2 de progresión de la enfermedad) para áreas de sinovio de 50 cm² a 250 cm².

Tabla 5. Dosis absorbida por milicurie inyectado en la profundidad de tejido sinovial para diferente áreas de sinovio. Y-90-Estado I

D (mm)	Gy/mCi 50cm ²	Gy/mCi 100cm ²	Gy/mCi 150cm ²	Gy/mCi 200cm ²	Gy/mCi 250cm ²
0.1	133,56	67,40	45,07	33,86	27,11
0.3	97,55	49,23	32,94	24,74	19,82
0,5	78,11	39,57	26,47	19,89	15,93
0,7	65,44	33,15	22,20	16,68	13,37
0,9	55,80	28,29	18,95	14,25	11,41
1,1	48,53	24,69	16,52	12,42	9,95
1,3	42,95	21,90	14,69	11,05	8,86
1,5	37,33	19,01	12,73	9,57	7,67
1,7	32,78	16,71	11,20	8,42	6,74
1,9	29,22	14,91	9,99	7,51	6,02
2,1	25,93	13,19	8,85	6,65	5,32
2,3	22,45	11,47	7,69	5,79	4,64
2,5	19,99	10,22	6,85	5,16	4,14
2,7	17,73	9,07	6,09	4,58	3,67
2,9	15,89	8,13	5,45	4,10	3,28
3,1	13,93	7,11	4,78	3,59	2,88
3,3	12,07	6,17	4,15	3,12	2,51
3,5	10,80	5,52	3,72	2,79	2,24
3,7	9,51	4,86	3,26	2,46	1,97
3,9	8,34	4,26	2,86	2,16	1,72
4,1	7,40	3,78	2,54	1,91	1,53
4,3	6,18	3,17	2,14	1,61	1,29
4,5	5,43	2,78	1,87	1,41	1,13
4,7	4,69	2,40	1,61	1,22	0,98
4,9	4,01	2,05	1,38	1,04	0,83
5,1	3,44	1,75	1,18	0,89	0,71

Tabla 6. Dosis absorbida por milicurie inyectado en la profundidad de tejido sinovial para diferente áreas de sinovio. Y-90-Estado II

D (mm)	Gy/mCi 50 cm ²	Gy/mCi 100 cm ²	Gy/mCi 150 cm ²	Gy/mCi 200 cm ²	Gy/mCi 250 cm ²
0,15	131,29	66,25	44,30	33,27	26,63
0,3	109,88	55,51	37,13	27,89	22,33
0,5	86,08	43,58	29,17	21,91	17,55
0,7	70,39	35,71	23,92	17,97	14,40
0,9	59,65	30,30	20,30	15,26	12,23
1,1	51,19	26,04	17,44	13,12	10,51
1,3	44,23	22,47	15,04	11,31	9,06
1,5	38,92	19,76	13,23	9,96	7,97
1,7	34,30	17,46	11,71	8,81	7,05
1,9	30,25	15,39	10,33	7,77	6,23
2,1	26,89	13,68	9,17	6,91	5,54
2,3	23,73	12,08	8,11	6,11	4,89
2,5	21,03	10,72	7,20	5,42	4,35
2,7	18,67	9,54	6,41	4,82	3,87
2,9	16,55	8,47	5,69	4,28	3,43
3,1	14,53	7,45	5,00	3,76	3,02
3,3	12,90	6,59	4,43	3,34	2,68
3,5	11,32	5,78	3,90	2,93	2,36
3,7	9,87	5,06	3,41	2,57	2,06
3,9	8,75	4,48	3,02	2,27	1,82
4,1	7,69	3,94	2,65	2,00	1,60
4,3	6,63	3,40	2,29	1,73	1,38
4,5	5,69	2,91	1,97	1,48	1,19
4,7	4,96	2,54	1,71	1,29	1,04
4,9	4,26	2,18	1,47	1,11	0,89
5,1	3,63	1,85	1,25	0,94	0,76

Tabla 7. Dosis absorbida por milicurie inyectado en la profundidad de tejido sinovial para diferente áreas de sinovio. P-32-Estado I

D (mm)	Gy/mCi 50cm ²	Gy/mCi 100 cm ²	Gy/mCi 150 cm ²	Gy/mCi 200 cm ²	Gy/mCi 250 cm ²
0.1	686,68	345,56	230,87	173,34	138,73
0.3	486,91	245,68	164,18	123,28	98,72
0,5	370,50	187,00	125,02	93,90	75,21
0,7	299,80	151,49	101,32	76,10	60,98
0,9	243,67	123,28	82,51	61,98	49,64
1,1	201,61	101,98	68,14	51,25	41,05
1,3	171,29	86,92	58,15	43,76	35,07
1,5	140,33	71,14	47,65	35,85	28,71
1,7	118,27	60,01	40,22	30,24	24,23
1,9	98,80	50,08	33,54	25,20	20,19
2,1	82,82	42,06	28,17	21,21	16,96
2,3	68,16	34,63	23,22	17,45	13,99

D (mm)	Gy/mCi 50cm ²	Gy/mCi 100 cm ²	Gy/mCi 150 cm ²	Gy/mCi 200 cm ²	Gy/mCi 250 cm ²
2,5	56,53	28,75	19,27	14,48	11,60
2,7	46,47	23,57	15,86	11,91	9,56
2,9	37,67	19,13	12,86	9,67	7,77
3,1	30,45	15,51	10,45	7,82	6,29
3,3	24,16	12,26	8,24	6,20	4,97
3,5	19,40	9,85	6,65	4,99	4,00
3,7	15,53	7,93	5,33	4,01	3,22
3,9	11,75	5,98	4,02	3,02	2,42
4,1	9,26	4,69	3,16	2,37	1,90
4,3	6,86	3,52	2,36	1,78	1,43
4,5	5,08	2,60	1,74	1,31	1,05
4,7	3,70	1,89	1,26	0,96	0,77
4,9	2,70	1,37	0,92	0,70	0,56
5,1	1,91	0,98	0,66	0,50	0,40

Tabla 8. Dosis absorbida por milicurie inyectado en la profundidad de tejido sinovial para diferente áreas de sinovio. P-32-Estado II

D (mm)	Gy/mCi 50 cm ²	Gy/mCi 100 cm ²	Gy/mCi 150 cm ²	Gy/mCi 200 cm ²	Gy/mCi 250 cm ²
0,15	683,00	343,95	229,49	171,76	137,43
0,3	557,61	280,96	188,06	140,50	112,44
0,5	417,16	210,47	141,35	105,79	84,67
0,7	325,53	164,30	110,26	83,01	66,49
0,9	264,81	133,72	88,41	67,32	53,94
1,1	218,08	110,32	72,76	55,49	44,47
1,3	180,34	91,27	61,09	46,21	37,05
1,5	150,02	75,96	51,18	38,61	30,95
1,7	125,40	63,53	42,98	32,42	25,97
1,9	104,34	52,85	35,63	27,15	21,73
2,1	86,67	43,91	29,78	22,59	18,08
2,3	72,34	36,62	24,82	18,80	15,05
2,5	60,23	30,54	20,47	15,51	12,41
2,7	49,53	25,15	16,77	12,62	10,11
2,9	40,44	20,55	13,79	10,30	8,27
3,1	33,00	16,83	11,34	8,32	6,68
3,3	26,49	13,49	9,15	6,73	5,40
3,5	21,11	10,70	7,20	5,40	4,34
3,7	16,86	8,55	5,65	4,21	3,38
3,9	13,30	6,76	4,42	3,28	2,63
4,1	10,27	5,22	3,41	2,56	2,05
4,3	7,84	3,98	2,58	1,95	1,57
4,5	5,92	3,00	1,89	1,45	1,17
4,7	4,41	2,23	1,40	1,07	0,86
4,9	3,21	1,62	1,03	0,77	0,62
5,1	2,28	1,15	0,71	0,54	0,43

Una comparación de los resultados obtenidos con el código MCNP4B fue realizada con los resultados publicados por L. Scott Johnson empleando el código EGS4 [1] para áreas de synovium de 50 cm^2 a 250 cm^2 en el estado II de progresión de la enfermedad. Los resultados obtenidos en dicha comparación expresan que no existen diferencias estadísticas entre los valores medios de los perfiles de dosis absorbida obtenidos con los códigos MCNP4B y el EGS4 para el Y-90 y el P-32, para un intervalo de confianza de 95%, valor de $P > 0.05$.

4. DISCUSIÓN

Como se puede observar el valor de dosis absorbida por milicurie inyectado disminuye rápidamente con el aumento del espesor del tejido inflamado, Y-90(**tablas 5-6**), P-32(**tablas 7-8**). También se observa que con el aumento del estado de progresión de la enfermedad aumenta la dosis absorbida en el sinovio inflamado, Esto se debe a que al engrosarse aun más la membrana sinovial aumenta el número de células fagocíticas en la superficie sinovial, lo cual se traduce en un aumento de la capacidad de absorción del radionúclido inyectado en dicha membrana [1]. Dicho aspecto es introducido en el código mediante el incremento de la probabilidad de emisión de la partícula beta en la región fuente correspondiente a la membrana sinovial.

Al aumentar el área del sinovio inflamado, disminuye el valor de dosis absorbida por mCi inyectado, por ejemplo, si consideramos que 5 mCi de Y-90 en un paciente con rodilla artrítica en el estado 2 de progresión de la enfermedad con un área de sinovio de 250 cm^2 (**tabla 6**) produce un valor de dosis absorbida de 52.5 Gy en 1.1 mm de profundidad de sinovio, solo es necesario inyectar 4 mCi de Y-90 para obtener el mismo valor de dosis absorbida en un paciente con una rodilla artrítica con área de sinovio de 200 cm^2 . Este último aspecto debe ser considerado oportunamente por el médico en el momento de prescribir la dosis al paciente para tratar otras articulaciones tales como hombro, muñeca, codo. Por ejemplo una actividad de 1mCi de Y-90 en un área de sinovio de 50 cm^2 (se considera que una muñeca artrítica tiene un área de sinovio de aproximadamente 50 cm^2) [1] es suficiente para lograr el mismo valor de dosis absorbida alcanzado con 5 mCi de Y-90 en un área de sinovio de 250 cm^2 .

Los valores de dosis absorbida obtenidos para el P-32 superan en 5 veces a los obtenidos con el Y-90, esto se debe a que el período de semidesintegración del P-32 es de 14.1 días por 2.6 días del Y-90, de manera que solo será suficiente inyectar 1 mCi de P-32 para alcanzar el mismo efecto terapéutico logrado con 5 mCi de Y-90 al tratar una rodilla artrítica adulta (250 cm^2) en cualquier estado de progresión de la enfermedad. La actividad de 1mCi de P-32 ha sido utilizada para el tratamiento de rodillas con buenos resultados, los mismos autores empíricamente han administrado la mitad, 0.5 mCi, para tratar articulaciones medianas [8].

La selección del radionúclido para el tratamiento dependerá del espesor del sinovio a tratar y de la proximidad de los órganos no blancos de la articulación (hueso y cartílago articular), de manera que se basará al menos en parte, en una evaluación de la penetración de la dosis absorbida del radionúclido potencial. En particular se quiere asegurar que la profundidad límite del volumen blanco se encuentre dentro del rango terapéutico del radionúclido y que la otras

estructuras sanas, tales como el hueso y cartílago articular no estén sometidas a un innecesario riesgo de radiación [1]. El rango terapéutico se define como la profundidad a la cual el valor de dosis absorbida es igual al 10 % del máximo valor de dosis, depositado en la superficie sinovial. Dados los valores obtenidos con el código MCNP4B el rango terapéutico para el Y-90 es de **3.2 mm** y **2.3 mm** para el P-32. Debe ser el rango terapéutico el que determine el espesor sinovial que puede ser tratado y no el rango máximo. El rango máximo para el Y-90 en tejido es igual a 10.8 mm; 7.9 mm para el P-32 [1].

En todos los cálculos se asume la retención total del radionúclido inyectado en la articulación sinovial, de manera que el valor de dosis absorbida en la articulación, si consideramos el potencial de escape de la articulación es menor.

El escape del radionúclido de la articulación es sumamente variable, pues varía de articulación a articulación y de paciente a paciente [1], por lo que tener en cuenta este factor conllevaría a que el mismo sea considerado de forma individual. Lo mismo ocurre si evaluamos el espesor de la membrana sinovial entre todas las articulaciones. No obstante, una aproximación grosera puede ser útil para estimar la dosis absorbida por milicurie inyectado que se obtendría sobre las articulaciones medianas (muñeca, hombro, codo etc.).

Aunque no existen dudas respecto a que el tratamiento de radiosinovioartrosis con Y-90 ha sido realizado en rodillas artríticas fundamentalmente [1,2,9] y para tratar las artropatías hemofílicas el P-32 [8,10], la posibilidad de conocer de manera aproximada los valores de dosis absorbida que estos radionúclidos producen sobre otras geometrías de sinovio (menor de 250 cm²) permitiría que ambos puedan ser utilizados para tratar otras articulaciones medianas (muñeca, hombro, codo, etc.), aspecto de gran importancia si tenemos en cuenta la posibilidad de desarrollo de los radiocoloides de Y-90 y P-32 en nuestro país, ya que resulta demasiado costoso tener toda la gama de radionúclidos emisores beta que son utilizados para tratar estas articulaciones [2,4,5] en países de Europa.

La comparación de los resultados obtenidos en este trabajo con los valores publicados por Johnson L.S, Yanch J.C, Shortkroff S., et. al [1], evidenció la idoneidad de nuestros resultados.

5. CONCLUSIONES

La experiencia alcanzada en la aplicación del Y-90 y el P-32 para el tratamiento de las enfermedades de las articulaciones está dada fundamentalmente por la disponibilidad comercial del radiocoloide marcado con estos radionúclidos. La posibilidad de desarrollo de radiocoloides marcados con Y-90 y P-32 en nuestro país sienta las bases para la aplicación de manera sostenida de este tratamiento a un costo mucho menor. Los valores de dosis absorbida obtenidos empleando el código MCNP4B permitirán introducir en nuestro país un método optimizado de prescripción de dosis al paciente, para tratar la artritis reumática en articulaciones medianas y grandes empleando el Y-90 y el P-32, eliminando las dosis fijas y radionúclidos fijos para cada articulación como ocurre en muchas clínicas de Europa, así como la dosis empíricas. Los perfiles de dosis en profundidad permitirán al especialista médico prescribir la dosis adecuada del

radionúclido para asegurar la total ablación sinovial sin exponer las estructuras sanas de la articulación sinovial a un excesivo e innecesario riesgo de radiación.

REFERENCIAS

1. Johnson L.S, Yanch J.C, Shortkroff S, et.al, “Beta-particle dosimetry in radiation synovectomy”, *European Journal of Nuclear Medicine*, (Sep 1995) V.22 (9).p.977-988.
2. Prof. Dr. med. Gynter Modder, “Radiosynoviorthesis, Involvement of Nuclear Medicine in Rheumatology and Orthopaedics”, March 1995.
3. Martti Hannelin, “A dosimetric study of Dysprosium-165 macroaggregates used in treating rheumatoid arthritis”, *Commentationes physico-mathematicae 87/1988, Dissertationes No. 16*, Central Hospital of Etela-Saimaa, Lappeenranta, Finland.
4. Sonya Shortkroff, Clement B. Sledge. “Radiation synovectomy”, *Principles of Nuclear Medicine*, 2^{da} Edición. 1998.
5. Deutsch, E, Brodack, J. W, Deutsch, K.F, “Radiation synovectomy revisited”, *European Journal of Nuclear Medicine*, (Nov1993) V.20 (11). p.1113-1127.
6. L.Scott Johnson and Jacquelyn C. Yanch, “Absorbed dose profiles for radionuclides of frequent use in radiation synovectomy”, *Arthritis and Rheumatism*, Vol 34. No 12, December 1991.
7. “EGS4 Monte Carlo determination of the beta dose kernel in water, *Medical Physics*”, Vol 17, No. 2, Mar/Apr 1990.
8. Herrick. Siegel, BA. James V.Luck, Jr, MD. Michael E. Siegel, MD. Cristobal Quines, CNMT. Eric Anderson, BA, “Hemarthrosis and synovitis associated with hemophilia: Clinical use of P-32 Chromic Phosphate synoviorthesis for treatment”, *Therapeutics radiology*, Vol 190, No 4, pages 257-261, January 1994.
9. Jones G, “Yttrium synovectomy: a Meta - analysis of the literature”, *Australian and New Zealand Journal of Nuclear Medicine*, (Jun 1993) V.23(3).p.272-275.
10. Georges-Etienne Rivard, MD et al, “Synoviorthesis with colloidal P-32 Chromic Phosphate for the Treatment of hemophilic Arthropathy”, *The journal of bone and joint surgery*, 1994.
11. Clunie. G, “A survey of radiation synovectomy in Europe”, *European Journal of Nuclear Medicine*, V.22 (9).p.970-976 Sep 1995.