

방사선 치료에서 N.S.D. 개념의 응용

원 자 력 병 원

이영준·김재휴·정인용

I. 서 론

오늘날 우리나라에는 많은 방사선 치료 장비를 보유하고 있으면서도 급증하는 환자의 수 또는 특정 병원에 집결하는 특이성에 따라 방사선 치료분야 종사자에게 여러가지 난점이 있다.

한편 대부분의 각 병원에서 보유한 장비는 유한하고 환자에게는 그의 장비를 이용하여 최선의 치료 효과를 얻기 위한 방사선 치료 분야의 연구는 활발히 전개되고 있다. 그러나 현재까지 일반적으로 이용되는 치료방법은 대부분 일정한 1일 치료 선량과 주당 회수를 일정하게 치료하는 방법 즉 치료 개시부터 종료까지 동일 선량으로 조사하는 단순 분할조사법에 의하여 치료하는 실정인 것이다.

그러나 현재 국내 상황으로는 모든 환자에게 단순 분할조사란 환자의 연령, 전신상태(빈혈, 혈구수의 감소, 영양상태 등), 경제적 사정 등 여러가지 이유로서 치료계획에 의한 이상적 치료란 거의 불가능한 상태라 말할 수 있다. 더욱이 치료의사에게는 환자에 대하여 방사선 치료후의 부작용과 치료의 효과등의 판단 또는 비교란 매우 곤란한 입장에 있음은 자명한 일이다. 그러므로 본문에서는 여러가지 이유에 의한 시간적 선량 분포의 변화에 따르는 생물학적 효과의 변화로서 치료 선량에 의한 오차를 수정, 보안 함으로써, 치료 선량을 보다 정확하게 취급하여 치료의 효과를 높이기 위하여 소개하고자 한다. 과거 우리가 이용하던 N.S.D(Nominal standard dose)의 개념이란 인체 각 부분에 대한 내용선량(Tolerance dose)을 이용하여 계산함으로써 그의 오차와 함께 대단히 복잡한 문제가 대두되었으나 금번 소개 하고자하는 T.D.F 즉 치료기간(Time), 1회 치료선량(dose), 분할수(Fractionation)에 대한 계수를 이용함으로써 방사선 치료서 종전의 N.S.D. 개념의 이용 보다 정확성 또

는 간편성을 인식시키고자하는 바이다.

즉, 본문은 N.S.D.의 이용을 간편하면서도 어떤 특정 부위에만 적용하는 것이 아니라, 전체적으로 이용할 수 있고, 기본 개념을 정확히 인식, 확인하는데 도움을 줄 수 있을것이다. 그리고 본 T.D.F.의 수표 제시로 컴퓨터, 특정 계산척, 또는 장문의 수표 등의 이용에 따르는 복잡성을 배제할 것이다.

원래 N.S.D.의 개념은 Ellis(1967)에 의하여 처음 소개 되었으며, 이는 이용상 제한 조건이 있었음에도 불구하고 전 세계로 광범하게 확산되었던 원인은 과거 방사선 치료의들은 형식이 상이한 치료시간, 선량, 분할에 의한 치료 계획을 비교하고 결과를 검토할 수 없었으며 특히 방사선 치료에 대한 각기 다른 치료계획을 비교할 때 난점이 많았고 조사 연구 논문에서 보고된바 있었으며 이를 해결 하려면 N.S.D.의 개념이 필요하다고 주장(Ortorn, 1972)한 바 있다.

그러나 Ellis에 의한 N.S.D의 개념을 이용하여 문제 해결을 시도하려는 자 중에는 과반수 이상이 거의 이용의 과오로 선량이 +5%부터 +19%까지 평균 11%의 오차를 갖게 되었다. 그의 실제 원인은 응용면에서 N.S.D 개념을 완전히 이해하지 못했던 결과로서 불가피한 오차였으므로 그의 이용에서 보다 간소화를 요하게 되었다.

그러므로 본문의 요점은 기본이 되는 N.S.D.의 개념을 정확히 인식시키고, 치료 계획을 확인하는데 도움을 주며 이용상 간편하도록 수표를 제시하고자하는 것이다.

Nominal Standard Dose

방사선 치료시 동일 효과를 얻기 위하여 관련된 기본식은 Ellis(1967)에 의하여 처음 소개되었다. 이는 전 치료기간(T. days), 분할수(N), 정상조직의 내용 선량(D. Rads), 이라한다면 기본식은 다음과

같이 표현된다.

$$D = (N. S. D.) \cdot (T)^{0.11} \cdot (N)^{0.24} \dots (1)$$

이는 Ellis의 N.S.D. 방정식이라 소개된 식으로서 피부에 대한 동일 효과 곡선(기율기 0.33)이고 전 치료기간중 부분적 기율기는 지수 0.11이고 분활수에 대한 값은 0.24이라 제의 되었으며 이때 기본 상수를 N.S.D.라 하였다.

여기에서 N.S.D.는 단일 조사선량으로 연결 조직에 최대 내용 선량이라 밝힌바(Ellis, 1967)였다.

기본식에서의 적용 범위는 분활수 4-30회이며 동일 효과를 얻는데 비례 상수로 이용되는 것이다. 그리고 실제에서 단일, N.S.D가 연결조직의 내용 선량 범위라면 모든 분활된 치료 전 과정에 적용된다고 생각하는 것이 간편한 것이다.

그러나 (1)식은 내용수준(Tolerance level)내에서만 타당한 관계식 이므로 단일 T.D.N. 각각의 수치가 전 내용 선량의 범위를 초과한 값이라면 논문(Ellis, 1967)에서 지적된바와 같이 계산된 N.S.D.의 값은 의미가 없는 수치가 될 것이다. 더구나 치료 계획이 N.S.D.를 반복 이용하는 계획이라면 (1)식 이용에서 분리된 N.S.D.의 값을 각각 계산하여 합산하는 것은 분명히 허용할 수 없다. 이것은 이미 서론에서 설명한 바와 같이 과오의 가장 일반적인 예가 되는 것이다.

부분적 내용 선량

정상 연결 조직의 최대 내용 선량에 의한 방사선 치료 계획이라면 그의 효과(Ellis, 1969)는 다음과같이 부분적 내용선량(PT)의 값으로 표기되어야 한다.

$$PT = (N. S. D.) \cdot \frac{n}{N} \dots (2)$$

여기에서 N은 전 내용 선량 범위내 결정된 최대 분활수이고 n은 이미 받은 실제 분활수로서 부분적 내용량이다.

특히 치료과정이 몇개로 분리된 복잡한 계획이라면 그로부터 조화있는 분석이 있어야 가치가 있을 것이다.

즉, 방사선 치료의 전 과정의 효과는 각 부분의 효과인 PTs의 값으로 표기되어야 할 것이며, 부분적 N.S.Ds를 추가분으로 가산하는 것은 부당한 방법이라 밝히는 바이다.

만일 치료 계획이 몇개로 분리된 상태라면 그의

부분적 내용량을 각각 (PT)a, (PT)b, ……(PT)n이라 할 때 이와 대등한 생물학적 효과에 도달되는 부분적 내용량이 (PT)'a, (PT)'b ……(PT)'n이라 한다면 그의 결과는 다음과 같다.

$$(PT)a + (PT)b + \dots (PT)n = (PT)'a + (PT)'b + \dots (PT)'n \dots (3)$$

그러나 과거 부분적 내용량에 대한 N.S.D.의 개념은 이미 (Ellis 1967 : Winston, Ellis and Hall, 1969) 발표된 바 있으나 부분적 내용량을 이용시 계산상 일반적 실수의 원인은 계산이 어색하고 지루하면서도 문헌상 간단히 산출할 수 있는 PTs의 수표가 마련되어 있지 않았기 때문이다.

그러므로 많은 치료인들 중 일부는 PT의 수표 부제와 PTs에서의 이용시 N.S.D. 개념의 인식 결여 등으로 (2)식의 이용에서 복잡한 문제로 인하여 곤란을 겪는 입장이었다. 더욱 불행한 것은 N.S.D.의 값이 해부학적 부위에 따라 각기 다르고, 치료받는 개인간의 차가 있기 때문이었다.

예를들면 Kidney와 같은 장기의 내용 선량은 연결 조직의 내용 선량과 다르기 때문에 N.S.D.의 값 역시 다르기 마련이다. 고로 본문에서는 각기 다를 수 있는 N.S.D.의 값에 대하여 가능한한 PTs의 값으로 변화할 수 있는 방향의 연구가 진행되어 왔으므로 현재 일반적 N.S.D.의 개념보다 일보 전진되어 전 치료기간, 총선량, 분활에 의한 PTs의 값을 얻었기 때문에 방사선 치료에서의 실제 문제를 해결할 수 있고 치료 계획에서 계산이 간소화되어 상호 비교가 가능하게 되었기 때문에 다음 절에 소개하고자 한다.

치료기간, 선량, 분활(T.D.F)의 계수

일반적 치료 계획 설정시 전 선량의 (D), 전 치료 경과일 (T), 일회 조사량 (d), 전 조사횟수를 (N)이라 한다면 치료 개시 요일에 따라 주당 치료수에 대한 합수를 x라 할 때 $D=N \cdot d$, $T=x \cdot N$ 이다. 그리고 치료개시 요일에 따라 T의 값이 약간 다를 수 있기 때문에 x의 평균치를 택하면 (1)식은 다음과 같다.

$$N = \left[\frac{(N. S. D.)}{d} \cdot x^{0.11} \right]^{1.538}$$

그리고 (2)식의 N의 값을 대입하면

$$PT = n(N.S.D.)^{-0.538} d^{1.538} \cdot \bar{x}^{0.169} \dots\dots\dots (4)$$

만일 (4)식이 (3)식에서의 PTs의 값이라면 (N.S.D.)^{-0.538}의 값은 상수로서 양측이 상쇄되고 그 이외의 것만 남게 된다. 이는 치료계획 설정이 각기 다르더라도 계산상 N.S.D.의 값은 양측이 상쇄되기 때문에 PT에서의 N.S.D.의 값은 어떤 특정 조건을 고려할 필요없이 효과의 비교는 물론 어떠한 문제라도 해결할 수 있으므로 부분적 내용 선량의 이용에 의한 계산에서 N.S.D. 개념에 대한 이용이 간소화 되었음을 알 수 있다.

즉, 이는 부분적 내용 선량들을 이용하면서도 전 기간, 분활당 선량, 분활방법등을 이용한 기본식 N.S.D와 관련이 되어 있으므로 이들을 시간, 선량, 분활(T.D.F.)의 상수라 부르게 되었고, 본 PT에서의 계산에 의한 T.D.F.의 이용 (Ortorn, 1972)은 분활 조사에 의한 방사선 치료계획을 보다 간편한 방법으로 설정 가능토록 되었다.

즉 부분적 내용량에 대한 (4)식은 다음과 같다.

$$PT = (N.S.D.)^{-0.538} \cdot (T.D.F.) \cdot 10^3 \dots\dots (5)$$

그러면 T.D.F.는 다음과 같이 정의된다.

$$T.D.F. = n \cdot d^{1.538} \cdot \bar{x}^{0.169} \cdot 13^{-3} \dots\dots (6)$$

여기에서 10⁻³은 T.D.F.의 값을 척도로 이용하는데 간편하도록 인자로 이용되고 있고, PT의 표현은 (5)식을 (3)식의 형식으로 유도한 것이므로 부분적 내용량의 합은 T.D.F.의 값과 동일하다.

$$(T.D.F.)_a + (T.D.F.)_b + \dots (T.D.F.)_n = (T.D.F.)^a + (T.D.F.)^b + \dots (T.D.F.)^n$$

PTs의 입장에서 T.D.F.s.를 이용할 때의 최대 이점은 특정 N.S.D.의 값과는 관계없이 T.D.F.의 값에 대한 수표를 마련하였으므로 모든 경우에 이용 가능한 것이다. 그리고 뒤에 첨부된 수표는 치료계획시 분활 방법이 주당 1, 2, 3, 4, 5회로 각각 분리되어 표 I부터 V까지 분리 작성되었으므로 치료 방법의 변경 또는 결과의 비교 등은 약간의 숫자 계산만으로 가능하게 되었다.

치료과정 중 분리조사

방사선 치료는 경우에 따라 치료 과정 중 휴식 시간을 요할 경우가 있어 치료과정을 전,후로 분

리되었다고 가정할 수 있다.

그러면 후반 치료 시작시는 치료 전반부의 효과가 약간의 소멸 현상을 갖게 된다. 그러므로 전반의 T.D.F.의 값은 소멸된 양을 교정하지 않고는 후반 T.D.F.에 추가되어서는 아니된다. (Winston, 1969)

이때 시간에 의한 소멸인자(Decay factor)는 기본식으로부터 다음과 같이 표시된다.

$$\text{"decay factor"} = \left[\frac{T}{T+R} \right]^{0.11}$$

여기에서 만일 전반 치료 경과 기간을 T days, 휴식시간을 R days라 한다면 이식에 의한 이용할 수 있는 decay factor는 표 VI에 제시되었다.

만일 분리치료 과정의 효과를 계속되는 치료 계획에 준하여 비교하려면 다음과 같이 교정되어야 한다.

$$(T.D.F.)_1 \left[\frac{T}{T+R} \right]^{0.11} + (T.D.F.)_2$$

여기에서 (T.D.F.)₁과 (T.D.F.)₂는 전, 후반에서의 시간, 선량, 분활에 대한 T.D.F.s의 값이다.

T.D.F. 인자의 응용

다음은 치료계획에 따라 N.S.D.의 개념과는 달리 분리치료 과정에 T.D.F.의 값을 이용하여 치료 선량의 계산이 가능한 예문이다.

(예 1) 분활당 선량의 변경

문제 : 치료계획의 원안이 만일 주당 5회, 200 Rads씩 25회로 설정된 이후 20회로 변경되었다.

원안과 동일한 생물학적 효과를 얻기 위한 분활당 선량은?

해 : 표 V에서 주당 5회인 원래 계획한 200 Rads씩 25회 치료시 T.D.F.의 값은 82임을 알 수 있다.

이때 20회 란으로부터 82를 찾으면 분활당 선량은 230 Rads가 된다. 이것은 230 Rads씩 20회를 치료하면 원래의 계획과 동일한 결과를 얻게 됨을 의미한다.

(예 2) 주당 분활수의 변경

문제 : 예 1의 원안으로부터 주당 3회로 변경되었다면 그의 동일한 효과의 치료계획은?

해 : 표 III에서 T.D.F. 82의 값을 찾으면 그의 근사치는

15회 - 292 Rads

20회 - 243 Rads

25회 - 210 Rads

최선의 방법은 이들 중 임상적 고려에 따라 선택할 수 있다.

(예 3) 치료 기간중 주당 분할 수의 변경

문제 : 고식전 치료 목표로 주당 2 회, 300 Rads씩, 14회의 계획이 설정되었으나 8 회 치료 후 환자의 입장 또는 임상적 상태변화에 따라 주당 1 회씩 6 회로 치료를 완료하려면 분할당 선량은?

해 : 표 II 에서 치료계획 원안에 따라 300 Rads씩 14 회로 치료할 경우 T. D. F. = 75 이고, 이미 받은 8 회에 대한 값은 T. D. F. = 43 이므로 여분의 값은 T. D. F. = 32 이다.

그러므로 이를 주당 1 회씩 6 회를 추가하여 치료할 경우는 표 I 에서 6 회란에 T. D. F. = 32 를 찾으면 분할당 선량은 320 Rads가 되므로 변경된 후는 주당 1 회, 320 Rads씩 6 회를 치료하면 된다.

(예 4) 치료안의 비교

문제 : 임의의 치료과 "A" 는 정상조직의 내용 선량을 4 주간에 250 Rads씩 20 회 이라 판단하였고, 임의의 치료과 "B" 는 6 주간에 200 Rads씩 30 회라 판단하였다면 N. S. D. 개념에 의한 생물학적 상해는 어느 편이 크겠는가?

해 : 표 V 에서 "A" 로 부터의 T. D. F. = 93 이고, "B" 는 99 이다. 고로 200 Rads씩 30 회의 원안이 생물학적 상해 효과가 클 것이다.

그러나 현재 양과의 원안은 임상적 차이가 크지 않기 때문에 현재 이용되는 치료 방법이다.

(예 5) 분리된 치료 과정

문제 : 치료계획이 처음 주당 5 회, 250 Rads씩, 10 회 조사하고 20 일간 휴식한 다음 10 회를 계속하도록 분리된 치료계획안이 설정된 이후 연속적으로 6 주간 30 회로 변경되었을 때, 전과 동일한 효과를 얻기 위한 분할당 선량은?

해 : 처음 10 회 치료에 의한 생물학적 작용은 후반 치료 개시전 20 일간의 휴식이 있으

으로써 소멸 ("decayed") 되므로 표 V 에서 얻은 10 회 치료에 대한 T. D. F. = 46 은 표 VI 에 있는 소멸 계수 (decay factor) 를 승화 함으로써 수정되어야 한다.

이때 주말을 고려하면 경과일 수는 T = 12 일, 그리고 휴식 기간은 R = 20 일 이므로 소멸 계수는 0.90 이다.

그러므로 원안에 의한 전체 T. D. F. 는 $(46 \times 0.90) + 46 = 87$ 이다. 이때 T. D. F. = 에 대한 30 회에서의 분할당 선량은 184 Rads 이다.

II. 결 론

본문은 N. S. D. 개념 이용시 다음과 같은 잇점이 있다.

첫째, N. S. D. 값과는 관계없이 치료 경과 기간, 분할당 선량, 분할수 (T. D. F.) 에 대한 계수를 이용함으로써 국제적으로 간편하게 응용될 수 있도록 수표가 작성되었다.

둘째, 분리된 부분적 치료는 과거 N. S. D. 기본식에 의하여 직접 "N. S. Ds" 를 계산함으로써 부분적 내용량을 가산함으로써 오차를 갖게 되었으나 T. D. F. 의 계수를 이용하여 부분적 내용량을 계산할 때 소멸 계수를 이용하고 가산함으로써 정확을 기하였다. 예를 들면 Kroening and Deiterman (1971) 에 의한 "Time-dose relationships" 의 표는 단순하게 연속된 치료 계획에서만 적용되었으나 N. S. Ds와 관련된 분리 치료 과정의 분할을 T. D. F. 계수의 이용으로 간편하게 계산할 수 있게 되었고 N. S. D. 의 기본 개념을 정확하게 응용할 수 있도록 고취시키고 있다.

셋째, 분리된 치료 과정을 간단히 응용 가능토록 T. D. F. 계수표를 마련함으로써 간단한 수학으로 계산이 가능하게 되었으므로 컴퓨터, 특정 계산척은 물론 장문의 수표 등 그의 필요성을 배제하였다.

끝으로 본문은 모든 치료 종사자에게 간단히 소개 됨으로서 복잡한 치료 선량 계산의 오차를 감소시키는데 크게 기여할 것이다.

TABLE I. Time, dose, and fractionation factors for one fractions per week.

Dose/ fraction (rad)	Number of fractions																	
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
20	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
40	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	
60	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	
80	3	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	9	10	11	11	12	13	
100	4	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15	16	17	18	
110	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	18	19	20	21	
120	5	6	7	8	9	11	12	13	14	15	16	18	19	20	21	22	24	
130	5	7	8	9	11	12	13	15	16	17	19	20	21	23	24	25	27	
140	6	7	9	10	12	13	15	16	18	19	21	22	24	25	27	28	30	
150	7	8	10	12	13	15	17	18	20	22	23	25	27	28	30	32	33	
160	7	9	11	13	15	17	18	20	22	24	26	28	29	31	33	35	37	
170	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	
180	9	11	13	15	18	20	22	24	26	29	31	33	35	37	40	42	44	
190	10	12	14	17	19	22	24	26	29	31	33	36	38	41	43	45	48	
200	10	13	16	18	21	23	26	28	31	34	36	39	41	44	47	49	52	
210	11	14	17	20	22	25	28	31	33	36	39	42	45	47	50	53	56	
220	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	
230	13	16	19	22	26	29	32	35	38	42	45	48	51	54	58	61	64	
240	14	17	21	24	27	31	34	38	41	44	48	51	55	58	62	65	68	
250	15	18	22	26	29	33	36	40	44	47	51	55	58	62	66	69	73	
260	15	19	23	27	31	35	39	43	46	50	54	58	62	66	70	74	77	
270	16	21	25	29	33	37	41	45	49	53	57	62	66	70	74	78	82	
280	17	22	26	30	35	39	43	48	52	56	61	65	69	74	78	82	87	
290	18	23	27	32	37	41	46	50	55	60	64	69	73	78	82	87	92	
300	19	24	29	34	39	43	48	53	58	63	68	72	77	82	87	92	96	
320	21	27	32	37	43	48	53	59	64	69	75	80	85	91	96	101	107	
340	23	29	35	41	47	53	58	64	70	76	82	88	94	99	105	111	117	
360	26	32	38	45	51	57	64	70	77	83	89	96	102	109	115	121	128	
380	28	35	42	49	56	62	69	76	83	90	97	104	111	118	125	132	139	
400	30	38	45	53	60	68	75	83	90	98	105	113	120	128	135	143	150	
420	32	40	49	57	65	73	81	89	97	105	113	121	129	138	146	154		
440	35	43	52	61	70	78	87	96	104	113	122	130	139	148	156			
460	37	47	56	65	74	84	93	102	112	121	130	140	149	158				
480	40	50	60	70	80	89	99	109	119	129	139	149	159					
500	42	53	63	74	85	95	106	116	127	138	148	159						
520	45	56	67	79	90	101	112	124	135	146	157							
540	48	60	71	83	95	107	119	131	143	155								
560	50	63	76	88	101	113	126	139	151									
580	53	66	80	93	106	120	133	146	160									
600	56	70	84	98	112	126	140	154										
700	71	89	107	124	142	146	178											
800	87	109	131	153	174													
900	105	131	157															
1000	123	154																

TABLE II. Time, dose, and fractionation factors for two fractions per week.

Dose/ fraction (rad)	Number of fractions																								
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
20	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2		
40	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6		
60	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9	10	10	11	11	11		
80	3	4	4	5	6	6	7	8	8	9	10	10	11	12	13	13	14	15	15	16	17	17	17		
100	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	25		
110	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	26	27	28	28		
120	5	7	8	9	10	12	13	14	16	17	18	20	21	22	23	25	26	27	29	30	31	33	33		
130	6	7	9	10	12	13	15	16	19	21	22	24	25	27	28	30	31	32	34	35	35	37	37		
140	7	8	10	12	13	15	17	18	20	21	23	25	26	28	30	31	33	35	36	38	40	41	41		
150	7	9	11	13	15	17	18	20	22	24	26	28	29	31	33	35	37	39	40	42	44	46	46		
160	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	35	37	39	41	43	45	47	49	51	51		
170	9	11	13	16	18	20	22	25	27	29	31	33	36	38	40	42	45	47	49	51	53	56	56		
180	10	12	15	17	19	22	24	27	29	32	34	37	39	41	44	46	49	51	54	56	58	61	61		
190	11	13	16	19	21	24	26	29	32	34	37	40	42	45	44	50	53	56	58	61	63	66	66		
200	11	14	17	20	23	26	29	31	34	37	40	43	46	49	52	54	57	60	63	66	69	72	72		
210	12	15	19	22	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52	56	59	62	65	68	71	74	77	77		
220	13	17	20	23	27	30	33	36	40	43	46	50	53	56	60	63	66	70	73	76	80	83	83		
230	14	18	21	25	28	32	35	39	43	46	50	53	57	60	64	67	71	75	78	82	85	89	89		
240	15	19	23	27	30	34	38	42	45	49	53	57	61	64	68	72	76	80	83	87	91	95	95		
250	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	61	65	69	73	77	81	85	89	93	97	101	101		
260	17	21	26	30	34	39	43	47	51	56	60	64	69	73	77	81	86	90	94	99	103	107	107		
280	19	24	29	34	38	43	48	53	58	62	67	72	77	82	86	91	96	101	106	110	115	120	120		
290	20	25	30	35	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101	106	111	117	122	127	127		
300	21	27	32	37	43	48	53	59	64	69	75	80	85	91	96	101	107	112	117	123	128	133	133		
320	24	29	35	41	47	53	59	65	71	77	83	88	94	100	106	112	118	124	130	136	142	147	147		
340	26	32	39	45	52	58	65	71	78	84	91	97	104	110	117	123	129	136	142	149	155	162	162		
360	28	35	42	49	57	64	71	78	85	92	99	106	113	120	127	134	141	148	155	163					
380	31	38	46	54	61	69	77	84	92	100	108	115	123	131	138	146	154	161							
400	33	42	50	58	66	75	83	91	100	108	116	125	133	141	150	158									
420	36	45	54	63	72	81	90	99	107	116	125	134	143	152											
440	38	48	58	67	77	87	96	106	115	125	135	144	154												
460	41	52	62	72	82	93	103	113	124	134	144	155													
480	44	55	66	77	88	99	110	121	132	143	154														
500	47	59	70	82	94	105	117	129	141	152															
520	50	62	75	87	100	112	124	137	149	162															
540	53	66	79	92	105	119	132	145	158																
560	56	70	84	98	112	125	139	153																	
580	59	74	88	103	118	132	147	162																	
600	62	78	93	109	124	140	155																		
700	79	98	118	138	157	177																			
800	97	121	145	169																					
900	116	145	174																						
1000	136	170																							

TABLE III. Time, Dose, and fractionation factors for three fractions per week.

Dose/ fraction (rad)	Number of fractions																					
	4	5	6	8	10	12	14	15	16	18	20	22	24	25	26	28	30	32	34	35	36	40
20	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4
40	1	1	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	9	10
60	2	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	10	11	12	12	13	14	15	16	17	17	19
80	3	4	4	6	7	9	10	11	12	13	15	16	18	19	19	21	22	24	25	26	27	30
100	4	5	6	8	10	13	15	16	17	19	21	23	25	26	27	29	31	33	36	37	38	42
110	5	6	7	10	12	15	17	18	19	22	24	27	29	30	32	34	36	39	41	42	44	48
120	6	7	8	11	14	17	19	21	22	25	28	30	33	35	36	39	42	44	47	48	50	55
130	6	8	9	13	16	19	22	24	25	28	31	34	38	39	41	44	47	50	53	55	56	63
140	7	9	11	14	18	21	25	26	28	32	35	39	42	44	46	49	53	56	60	61	63	70
150	8	10	12	16	20	23	27	29	31	35	39	43	47	49	51	55	59	62	66	68	70	78
160	9	11	13	17	22	26	30	32	35	39	43	47	52	54	56	60	65	69	73	75	78	86
170	9	12	14	19	24	28	33	36	38	43	47	52	57	59	62	66	71	76	80	83	85	95
180	10	13	16	21	26	31	36	39	41	47	52	57	62	65	67	72	78	83	88	90	93	103
190	11	14	17	22	28	34	39	42	45	51	56	62	67	70	73	79	84	90	96	98	101	112
200	12	15	18	24	30	36	43	46	49	55	61	67	73	76	79	85	91	97	103	106	109	122
210	13	16	20	26	33	39	46	49	52	59	66	72	79	82	85	92	98	105	111	115	118	131
220	14	18	21	28	35	42	49	53	56	63	70	77	84	88	92	99	106	113	120	123	127	141
230	15	19	23	30	38	45	53	57	60	68	75	83	90	94	98	106	113	121	128	132	136	151
240	16	20	24	32	40	48	56	60	64	72	80	89	97	101	105	113	121	129	137	141	145	161
250	17	21	26	34	43	51	60	64	69	77	86	94	103	107	111	120	129	137	146	150	154	
260	18	23	27	36	46	55	64	68	73	82	91	100	109	114	118	127	137	146	155			
270	19	24	29	39	48	58	68	72	77	87	96	106	116	121	125	135	145	154				
280	20	25	31	41	51	61	71	76	82	92	102	112	127	133	143	153						
290	23	27	32	43	54	65	75	81	86	97	108	118	129	135	140	151						
300	23	28	34	45	57	68	79	85	91	102	113	125	136	142	147	159						
320	25	31	38	50	63	75	88	94	100	113	125	138	150	157	163							
340	27	34	41	55	69	82	96	103	110	124	137	151										
360	30	38	45	60	75	90	105	113	120	135	150	165										
380	33	41	49	65	82	98	114	122	131	147	163											
400	35	44	53	71	88	106	124	132	141	159												
420	38	48	57	76	95	114	133	143	152													
460	41	51	61	82	102	123	143	153														
460	44	55	66	88	109	131	153															
480	47	58	70	93	117	140	164															
500	52	62	75	100	124	149	174															
520	53	60	79	106	132	159																
540	56	70	84	112	140	168																
560	59	74	89	118	148	178																
580	63	78	94	125	156																	
600	66	82	99	132	165																	
700	83	104	125	167																		
800	103	128	154																			
900	123	154																				
1000	145	181																				

TABLE IV. Time, Dose, and fractionation factors for four fractions per week

Dose/ fraction (rad)	Number of fractions																							
	4	5	6	8	10	12	14	15	16	18	20	22	24	25	26	28	30	32	34	35	36	40		
20	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4		
40	1	1	2	2	3	3	4	4	4	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	9	10	11		
60	2	3	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	13	13	14	15	16	17	18	18	20		
80	3	4	5	6	8	9	11	12	13	14	16	17	19	20	22	23	25	27	27	27	28	31		
100	4	6	7	9	11	13	15	17	18	20	22	24	26	28	29	31	33	35	37	39	40	44		
110	5	6	8	10	13	15	18	19	20	23	26	28	31	32	33	36	38	41	43	45	46	51		
120	6	7	9	12	15	18	20	22	23	26	29	32	35	36	38	41	44	47	50	51	53	58		
130	7	8	10	13	16	20	23	25	26	30	33	36	40	41	43	46	49	53	56	58	59	66		
140	7	9	11	15	18	22	26	28	30	33	37	41	44	46	48	52	55	59	63	65	67	74		
150	8	10	12	16	21	25	29	31	33	37	41	45	49	51	53	58	62	66	70	72	74	82		
160	9	11	14	18	23	27	32	34	36	41	45	50	54	57	59	64	68	73	77	79	82	91		
170	10	12	15	20	25	30	35	37	40	45	50	55	60	62	65	70	75	80	85	87	90	100		
180	11	14	16	22	27	33	38	41	44	49	54	60	65	68	71	76	82	87	93	95	98	109		
190	12	15	18	24	30	35	41	44	47	53	59	65	71	74	77	83	89	95	101	103	106	118		
200	13	16	19	26	32	38	45	48	51	58	64	70	77	80	83	90	96	102	109	112	115	128		
210	14	17	21	28	34	41	48	52	55	62	69	76	83	86	90	97	103	110	117	121	124	138		
220	15	19	22	30	37	44	52	56	59	67	74	82	89	93	96	104	111	119	126	130	133	148		
230	16	20	24	32	40	48	56	60	63	71	79	87	95	99	103	111	119	127	135	139	143	159		
240	17	21	25	34	42	51	59	64	68	76	85	93	102	106	110	119	127	136	144	148	152			
250	18	23	27	36	45	54	63	68	72	81	90	99	108	113	117	126	135	144	153					
260	19	24	29	38	48	57	67	72	77	86	96	105	115	120	125	134	144	153						
270	20	25	30	41	51	61	71	76	81	91	102	112	122	127	132	142	152							
280	21	27	32	43	54	64	75	81	86	97	107	118	129	134	140	150	161							
290	23	28	34	45	57	68	79	85	91	102	113	125	136	142	147	159								
300	24	30	36	48	60	72	84	90	96	107	119	131	143	149	155									
320	26	33	40	53	66	79	92	95	105	119	132	145	158	165										
340	29	36	43	58	72	87	101	109	116	130	145	159												
360	32	40	47	63	79	95	111	119	126	142	158													
380	34	43	52	69	86	103	120	129	137	155														
400	37	46	56	74	93	112	130	139	149	167														
420	40	50	60	80	100	120	140	150	160															
440	43	54	65	86	108	129	151																	
460	46	58	69	92	115	138	161																	
480	49	61	74	98	123	148	172																	
500	52	65	79	105	131	157																		
520	56	70	83	111	139	167																		
540	59	74	88	118	147	177																		
560	62	78	94	125	156																			
580	66	82	99	132	165																			
600	69	87	104	139	173																			
700	88	110	132	176																				
800	108	135	162																					
900	129	162																						
1000	152																							

Table V. Time, dose, and fractionation factors for five fractions per week.

Dose/ fraction (rad)	Number of fractions																					
	4	5	6	8	10	12	14	15	16	18	20	22	24	25	26	28	30	32	34	35	36	40
20	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	4
40	1	1	2	2	3	3	4	4	4	5	6	6	7	7	7	8	8	9	9	10	10	11
60	2	3	3	4	5	6	7	8	8	9	10	11	12	13	13	15	16	17	18	18	19	21
80	3	4	5	6	8	10	11	12	13	15	16	18	19	20	21	23	24	26	27	28	29	32
100	5	6	7	9	11	14	16	17	18	20	23	25	27	28	30	32	34	36	39	40	41	45
110	5	7	8	11	13	16	18	20	21	24	26	29	32	33	34	37	39	42	45	46	47	53
120	6	8	9	12	15	18	21	23	24	27	30	33	36	38	39	42	45	48	51	53	54	60
130	7	9	10	14	17	20	24	26	27	31	34	37	41	43	44	48	51	54	58	60	61	68
140	8	10	11	15	19	23	27	29	31	34	38	42	46	48	50	53	57	61	65	67	69	76
150	9	11	13	17	21	25	30	32	34	38	42	47	51	53	55	59	64	68	72	74	76	85
160	9	12	14	19	23	28	33	35	37	42	47	51	56	58	61	66	70	75	80	82	84	94
170	10	13	15	21	26	31	36	39	41	46	51	57	62	64	67	72	77	82	87	90	92	103
180	11	14	17	22	28	34	39	42	45	50	56	62	67	70	73	79	84	90	95	98	101	112
190	12	15	18	24	31	37	43	46	49	55	61	67	73	76	79	85	97	104	107	110	112	122
200	13	17	20	26	33	40	46	49	53	59	66	73	79	82	86	92	99	105	112	115	119	132
210	14	18	21	28	36	43	50	53	57	64	71	78	85	89	92	99	107	114	121	124	128	142
220	15	19	23	31	38	46	53	57	61	69	76	84	92	95	99	107	115	122	130	134	137	153
230	16	20	25	33	41	49	57	61	65	74	82	90	98	102	106	114	123	131	139	143	147	163
240	17	22	26	35	44	52	61	65	70	79	87	96	105	109	113	122	131	140	148	153	157	
250	19	23	28	37	46	56	65	70	74	84	93	102	112	116	121	130	139	149	158			
260	20	25	30	40	49	59	69	74	79	89	99	109	118	123	128	138	148	158				
270	21	26	31	42	52	63	73	78	84	94	105	115	126	131	136	146	157					
280	23	28	33	44	55	66	77	83	89	100	111	122	133	144	155							
290	23	29	35	47	58	70	82	88	93	105	117	128	140	146	152							
300	25	31	37	49	62	74	86	92	98	111	123	135	148	154								
320	27	34	41	54	68	82	95	102	109	122	136	149	163									
340	30	37	45	60	75	89	104	112	119	134	149	164										
360	33	41	49	65	81	98	114	122	130	147	163											
380	35	44	53	71	88	106	124	133	142	159												
400	38	48	57	77	96	115	134	144	153													
420	41	52	62	83	103	124	144	155														
440	44	55	67	89	111	133	155															
460	48	59	71	95	119	142	166															
480	51	63	76	101	127	152																
500	54	67	81	108	135	162																
520	57	72	86	115	143	172																
540	61	76	91	121	152																	
560	64	80	96	128	161																	
580	68	85	102	136	169																	
600	71	89	107	143	179																	
700	91	113	136	181																		
800	111	139	167																			
900	133	167																				
1000	157																					

TABLE VI. "Decay factors" for split-course radiotherapy. The duration of the first part of the treatment is T days, and the rest period is R days.

T (days)	Rest period (R days)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	80	100
5	0.93	0.89	0.86	0.84	0.82	0.81	0.80	0.79	0.77	0.75	0.73	0.72
10	0.96	0.93	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85	0.84	0.82	0.81	0.79	0.77
15	0.97	0.95	0.93	0.91	0.90	0.89	0.88	0.87	0.85	0.84	0.82	0.80
20	0.98	0.96	0.94	0.93	0.91	0.90	0.89	0.89	0.87	0.86	0.84	0.82
25	0.98	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.92	0.90	0.89	0.87	0.85	0.84
30	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.87	0.85
35	0.99	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	0.92	0.91	0.90	0.88	0.86
40	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	0.91	0.90	0.89	0.87
45	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.95	0.94	0.92	0.91	0.89	0.88	0.88
50	0.99	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.94	0.94	0.93	0.92	0.90	0.89