

Het werken met therapeutische doses radionucliden – potentiële blootstelling voor derden

Handleiding Rekentool

Disclaimer

Deze Rekentool voorziet in de inschatting van de externe blootstelling en blootstelling ten gevolge van besmetting en ingestie bij radionuclidentherapieën. De externe blootstelling wordt beschreven op basis van het model gepubliceerd in RIVM-briefrapport 2020-0113, 'Nucleair-geneeskundige therapieën: potentiële blootstelling voor derden' door Kloosterman et al., waarbij de keuze voor invoerparameters nader is beschreven in de richtlijntekst. Voor besmetting en ingestie kan gebruik gemaakt worden van hetzelfde model. Door patiëntspecifieke scenario's door te rekenen kan een set aan maatregelen en leefregels worden gedefinieerd die zo goed mogelijk op de individuele patiënt is toegesneden. Uiteraard kan de Rekentool bij correct gebruik in het beste geval een benadering van de blootstelling presenteren.

Ondanks dat de Rekentool met de grootst mogelijke zorg is opgesteld, is er een kleine kans dat deze onopgemerkte fouten bevat. De eindverantwoordelijkheid voor gebruik van deze Rekentool en de stralingshygiënische aspecten met betrekking tot de patiënt die radionuclidentherapie ondergaat, ligt altijd bij de daartoe aangewezen personen binnen de zorginstelling en derhalve expliciet niet bij de werkgroep die deze Rekentool heeft opgesteld of individuele leden daarvan.

Inhoudsopgave

Disclaimer	2
Inhoudsopgave	3
Opzet rekentool	4
Externe blootstelling	5
Besmetting & ingestie	9
Scenario	12
Inputparameters	13
f_{ti}	14

Versiebeheer

Versie	Datum	Wijziging
1.0	25-7-2021	Handleiding opgesteld

Opzet rekentool

De rekentool bevat twee rekenbladen, één voor bepaling van externe blootstelling en één voor bepaling van blootstelling ten gevolge van besmetting en/of ingestie. De resultaten die op die bladen worden gepresenteerd zijn op basis van een aantal invulvelden op het blad zelf, het blootstellingsscenario (bij externe blootstelling) en therapie-specifieke inputparameters. Deze handleiding geeft per werkblad een uitgebreide beschrijving van de betekenis van de inhoud van het blad en de achterliggende formules.

Alle werkbladen van de rekentool behalve het werkblad *Algemeen* zijn beveiligd met het wachtwoord 'NUCTHERAPIE'.

Externe blootstelling

Cellen D2 t/m D14 worden gebruikt voor gebruikersinput

Cellen D18 t/m D51 geven de voor de berekening gebruikte parameters weer

Cellen H3 t/m H17 geven resultaten van rekenstappen weer

Cellen in kolommen K tot en met AE geven blootstellingsresultaten weer

Gebruikersinput

Therapie

De therapie waarvoor de berekening wordt uitgevoerd.

Gebruik ontslagcriterium/-tjdstip

Met het drop-downmenu kan het gewenste ontslagmoment worden geselecteerd:

- *Nee*: ontslag direct na toediening
- *Ontslagcriterium*: ontslag wanneer het omgevingsdosistempo op één meter afstand een bepaalde waarde heeft bereikt; het bijbehorende tijdstip wordt berekend op basis van het biokinetisch model
- *Ontslagtijdstip*: ontslag op een vast tijdstip na toediening

Ontslagcriterium

Het omgevingsdosistempo waarbij de patiënt ontslagen wordt in $\mu\text{Sv h}^{-1}$ op 1 meter. Indien bij

Gebruikt ontslagcriterium/-tjdstip niet is gekozen voor *Ontslagcriterium* wordt deze waarde genegeerd.

Ontslagtijdstip

Het tijdstip waarop de patiënt ontslagen wordt in uren na toediening. Indien bij **Gebruikt ontslagcriterium/-tjdstip** wordt gekozen voor *Ontslagcriterium* wordt deze waarde automatisch ingevuld. Indien bij **Gebruikt ontslagcriterium/-tjdstip** reeds is gekozen voor *Ontslagcriterium* en vervolgens de input bij **Ontslagcriterium, Diameter patiënt, Toegediende activiteit, Verontreiniging #1, Activiteit verontreiniging #1, Verontreiniging #2 of Activiteit verontreiniging #2** wordt gewijzigd, wordt **Ontslagtijdstip** herberekend.

Rekenperiode

De periode waarbinnen de blootstelling wordt berekend in dagen, gerekend vanaf het onslagtijdstip.

Periode leefregels

De periode waarbinnen de blootstelling wordt berekend in dagen, gerekend vanaf het onslagtijdstip, waarbij blootstellingsbeperkende leefregels in acht worden genomen. **Periode leefregels** is onderdeel van **Rekenperiode**.

Diameter patiënt

De diameter van de patiënt in centimeters. Deze waarde wordt bij sommige therapieën gebruikt voor het bepaling van de transmissie door het lichaam van de patiënt. Bij therapieën waarbij deze waarde niet wordt gebruikt is de transmissie op 1 gesteld.

Toegediende activiteit (optioneel)

De toegediende activiteit per gift in GBq. Voor elke therapie is op het werkblad Inputparameters een uitgangswaarde voor toegediende activiteit gedefinieerd. Indien **Toegediende activiteit** niet wordt ingevuld, wordt de uitgangswaarde gehanteerd. Indien **Toegediende activiteit** wordt ingevuld, wordt voor de berekening gebruik gemaakt van de ingevulde activiteit.

Aantal giften (optioneel)

Het aantal giften ten behoeve van blootstellingsbepaling. Voor elke therapie is op het werkblad Inputparameters een uitgangswaarde voor het aantal giften gedefinieerd. Indien **Aantal giften** niet wordt ingevuld, wordt de uitgangswaarde gehanteerd. Indien **Aantal giften** wordt ingevuld, wordt voor de berekening gebruik gemaakt van het ingevulde aantal giften.

Verontreiniging #1

Indien gewenst kan een verontreiniging worden geselecteerd.

Activiteit verontreiniging #1 (optioneel)

De activiteit van de verontreiniging per gift in GBq. Voor elke therapie is op het werkblad Inputparameters een uitgangswaarde voor toegediende activiteit gedefinieerd. Indien **Activiteit verontreiniging #1** niet wordt ingevuld, wordt de uitgangswaarde gehanteerd. Indien **Activiteit verontreiniging #1** wordt ingevuld, wordt voor de berekening gebruik gemaakt van de ingevulde activiteit. Dit

Verontreiniging #2

Indien gewenst kan een verontreiniging worden geselecteerd.

Activiteit verontreiniging #2 (optioneel)

De activiteit van de verontreiniging per gift in GBq. Voor elke therapie is op het werkblad Inputparameters een uitgangswaarde voor toegediende activiteit gedefinieerd. Indien **Activiteit verontreiniging #2** niet wordt ingevuld, wordt de uitgangswaarde gehanteerd. Indien **Activiteit verontreiniging #2** wordt ingevuld, wordt voor de berekening gebruik gemaakt van de ingevulde activiteit.

Gebruikte parameters

Op basis van de input en de gegevens op het werkblad Inputparameters worden de parameters die in de berekening worden gebruikt vastgesteld. Deze cellen dienen als overzicht van de gehanteerde waarden. Wijzigingen kunnen niet direct in deze cellen worden doorgevoerd, maar moeten elders worden verwerkt.

Therapie: de door de gebruiker gekozen therapie.

Ontslagcriterium: het ontslagcriterium. Alleen weergegeven als is gekozen voor het gebruik van een ontslagcriterium, anders is het veld leeg.

Ontslagtijdstip: op basis van gebruikersinput of berekend uit het opgegeven ontslagcriterium.

Rekenperiode: de rekenperiode in uren na toediening.

Periode leefregels: het deel van **Rekenperiode** waarin leefregels van toepassing zijn.

Diameter patiënt: de diameter van de patiënt.

Toegediende activiteit: de toegediende activiteit per gift.

Aantal giften: het aantal giften.

λ_f : fysische de vervalconstante van de isotoop.

$h_p(10)$: dosisequivalenttempoconstante van de isotoop.

$h_p(0.07)$: dosisequivalenttempoconstante voor de huid van de isotoop.

f_{tH} : de transmissiefactor door de patiënt.

Verontreiniging #1: de door de gebruiker gekozen verontreiniging.

Activiteit verontreiniging #1: de activiteit van de verontreiniging per gift.

λ_f : de fysische vervalconstante van de isotoop voor verontreiniging #1.

$h_p(10)$: dosisequivalenttempoconstante van de isotoop voor verontreiniging #1.

$h_p(0.07)$: dosisequivalenttempoconstante voor de huid van de isotoop voor verontreiniging #1
 $f_{t,i}$: de transmissiefactor door de patiënt voor verontreiniging #1.

Verontreiniging #2: de door de gebruiker gekozen verontreiniging.

Activiteit verontreiniging #2: de activiteit van de verontreiniging per gift.

λ_f : de fysische vervalconstante van de isotoop voor verontreiniging #2.

$h_p(10)$: dosisequivalenttempoconstante van de isotoop voor verontreiniging #2.

$h_p(0.07)$: dosisequivalenttempoconstante voor de huid van de isotoop voor verontreiniging #2

$f_{t,i}$: de transmissiefactor door de patiënt voor verontreiniging #2.

Modus: de wijze waarop het biokinetisch model gedefinieerd is: *tijd of fractie*.

- In het geval van *tijd* bestaat het biokinetisch model uit N opeenvolgende tijdsintervallen met elk een biologische halveringstijd $\lambda_{b,i}$ en omslagpunten T_i tussen tijdsintervallen i en $i+1$.
- In het geval van *fractie* bestaat het biokinetisch model uit N fracties van de toegediende activiteit met voor elke fractie f_i elk een biologische halveringstijd $\lambda_{b,i}$.

Resultaten van rekenstappen

Activiteit op Ontslagtijdstip: de berekende activiteit op het ontslagtijdstip voor zowel de gekozen therapie als eventueel geselecteerde verontreinigingen. De berekening is op basis van de parameters zoals beschreven bij Gebruikte parameters. Voor de verontreinigingen wordt hetzelfde biokinetisch model gebruikt als voor de gekozen therapie.

Indien de **Modus tijd** is:

Op tijdstip t tussen T_{i-1} en T_i met $1 \leq i \leq N$ bedraagt de activiteit A op basis van de toegediende activiteit A_0

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda_f t} e^{-\lambda_{b,i}(t-T_{i-1})} \prod_{k=1}^{i-1} e^{-\lambda_{b,k}(T_k-T_{k-1})}$$

Indien de **Modus fractie** is:

Op tijdstip t bedraagt de activiteit A op basis van de toegediende activiteit A_0

$$A(t) = A_0 \sum_{i=1}^N f_i e^{-(\lambda_f + \lambda_{b,i})t}$$

Dosistempo op Ontslagtijdstip: de berekende activiteit op het ontslagtijdstip voor zowel de gekozen therapie als eventueel geselecteerde verontreinigingen, elk vermenigvuldigd met de dosisequivalenttempoconstante $h(10)$

Desintegraties gedurende leefregels en desintegraties gedurende rekenperiode na leefregels

Het aantal desintegraties voor zowel de gekozen therapie als eventueel geselecteerde verontreinigingen in GBq h:

$$\Delta N = \int_{T_{start}}^{T_{eind}} A(t) dt$$

Blootstellingsresultaten

Op basis van de scenariodetails in werkblad Scenario wordt de blootstelling de gehele **Rekenperiode** bepaald, als sommatie van de blootstelling in de **Periode** met **leefregels** en de periode zonder leefregels. De blootstelling tijdens een handeling die een fractie f_{exp} van de totale tijd in beslag neemt bij een afstand L tot een derde bedraagt:

$$H_p(10) = h_p(10) \frac{f_{exp} f_{tli}}{L^2} \int_{T_{start}}^{T_{eind}} A(t) dt$$

De waarden zijn gemarkeerd overeenkomstig de signaalwaarden, waarbij graduele verkleuring is gebruikt om beter visueel onderscheid te kunnen maken.

Besmetting & ingestie

Cellen D2 t/m D13 worden gebruikt voor gebruikersinput

Cellen D14 t/m D44 geven de voor de berekening gebruikte parameters weer

Cellen H3 t/m H15 en K3 t/m K5 geven resultaten van rekenstappen weer

Cellen H18 en H19 geven blootstellingsresultaten weer

Gebruikersinput

Therapie

De therapie waarvoor de berekening wordt uitgevoerd.

Toegediende activiteit (optioneel)

De toegediende activiteit per gift in GBq. Voor elke therapie is op het werkblad Inputparameters een uitgangswaarde voor toegediende activiteit gedefinieerd. Indien **Toegediende activiteit** niet wordt ingevuld, wordt de uitgangswaarde gehanteerd. Indien **Toegediende activiteit** wordt ingevuld, wordt voor de berekening gebruik gemaakt van de ingevulde activiteit.

Verontreiniging #1

Indien gewenst kan een verontreiniging worden geselecteerd.

Activiteit verontreiniging #1 (optioneel)

De activiteit van de verontreiniging per gift in GBq. Voor elke therapie is op het werkblad Inputparameters een uitgangswaarde voor toegediende activiteit gedefinieerd. Indien **Activiteit verontreiniging #1** niet wordt ingevuld, wordt de uitgangswaarde gehanteerd. Indien **Activiteit verontreiniging #1** wordt ingevuld, wordt voor de berekening gebruik gemaakt van de ingevulde activiteit. Dit

Verontreiniging #2

Indien gewenst kan een verontreiniging worden geselecteerd.

Activiteit verontreiniging #2 (optioneel)

De activiteit van de verontreiniging per gift in GBq. Voor elke therapie is op het werkblad Inputparameters een uitgangswaarde voor toegediende activiteit gedefinieerd. Indien **Activiteit verontreiniging #2** niet wordt ingevuld, wordt de uitgangswaarde gehanteerd. Indien **Activiteit verontreiniging #2** wordt ingevuld, wordt voor de berekening gebruik gemaakt van de ingevulde activiteit.

V_{druppel} (optioneel)

Het volume van een druppel urine. Indien niet ingevuld wordt een volume van 50 µl gebruikt.

v_u (optioneel)

Het urineproductietempo. Indien niet ingevuld wordt een productietempo van 1 liter per etmaal (0,04 liter per uur) gebruikt.

T_{mictie} (optioneel)

Het aantal uren na **T_{aanmaak}** waarop de mictie plaatsvindt. Indien niet ingevuld wordt een periode van 6 uur gebruikt.

T_{aanmaak} (optioneel)

Het tijdstip in uren na toediening van de activiteit wanneer de urine-aanmaak start. Indien niet ingevuld wordt het tijdstip van toedienen gebruikt.

Gebruikte parameters

Op basis van de input en de gegevens op het werkblad Inputparameters worden de parameters die in de berekening worden gebruikt vastgesteld. Deze cellen dienen als overzicht van de gehanteerde waarden. Wijzigingen kunnen niet direct in deze cellen worden doorgevoerd, maar moeten elders worden verwerkt.

Therapie: de door de gebruiker gekozen therapie.

Toegediende activiteit: de toegediende activiteit.

λ_f : de fysische vervalconstante van de isotoop.

$h_{\text{huidbesmetting}}(0.07)$: dosisequivalenttempoconstante voor de huidbesmetting van de isotoop.

DCC: de dosisconversiecoëfficiënt voor de isotoop.

Verontreiniging #1: de door de gebruiker gekozen verontreiniging.

Activiteit verontreiniging #1: de activiteit van de verontreiniging.

λ_f : de fysische vervalconstante van de isotoop voor verontreiniging #1.

$h_{\text{huidbesmetting}}(0.07)$: dosisequivalenttempoconstante voor de huidbesmetting van de isotoop voor verontreiniging #1

DCC: de dosisconversiecoëfficiënt voor de isotoop voor verontreiniging #1

Verontreiniging #2: de door de gebruiker gekozen verontreiniging.

Activiteit verontreiniging #2: de activiteit van de verontreiniging.

λ_f : de fysische vervalconstante van de isotoop voor verontreiniging #2.

$h_{\text{huidbesmetting}}(0.07)$: dosisequivalenttempoconstante voor de huidbesmetting van de isotoop voor verontreiniging #2

DCC: de dosisconversiecoëfficiënt voor de isotoop voor verontreiniging #2

Modus: de wijze waarop het biokinetisch model gedefinieerd is: *tijd of fractie*.

- In het geval van *tijd* bestaat het biokinetisch model uit N opeenvolgende tijdsintervallen met elk een biologische halveringstijd $\lambda_{b,i}$ en omslagpunten T_i tussen tijdsintervallen i en $i+1$.
- In het geval van *fractie* bestaat het biokinetisch model uit N fracties van de toegediende activiteit met voor elke fractie f_i elk een biologische halveringstijd $\lambda_{b,i}$.

Resultaten van rekenstappen

Activiteit op T_{aanmaak} : de berekende activiteit op het tijdstip dat de urineproductie start voor zowel de gekozen therapie als eventueel geselecteerde verontreinigingen. De berekening is op basis van de parameters zoals beschreven bij Gebruikte parameters. Voor de verontreinigingen wordt hetzelfde biokinetisch model gebruikt als voor de gekozen therapie.

Activiteit op $T_{\text{aanmaak}} + T_{\text{mictie}}$: de berekende activiteit op het tijdstip van de mictie voor zowel de gekozen therapie als eventueel geselecteerde verontreinigingen. De berekening is op basis van de parameters zoals beschreven bij Gebruikte parameters. Voor de verontreinigingen wordt hetzelfde biokinetisch model gebruikt als voor de gekozen therapie.

Indien de **Modus** *tijd* is:

Op tijdstip t tussen T_{i-1} en T_i met $1 \leq i \leq N$ bedraagt de activiteit A op basis van de toegediende activiteit A_0

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda_f t} e^{-\lambda_{b_i}(t-T_{i-1})} \prod_{k=1}^{i-1} e^{-\lambda_{b_k}(T_k - T_{k-1})}$$

Indien de **Modus fractie** is:

Op tijdstip t bedraagt de activiteit A op basis van de toegediende activiteit A_0

$$A(t) = A_0 \sum_{i=1}^N f_i e^{-(\lambda_f + \lambda_{b_i})t}$$

ΔA gedurende T_{mictie} : de hoeveelheid activiteit in de urine in de tijdsperiode T_{mictie} voor zowel de gekozen therapie als eventueel geselecteerde verontreinigingen, gecorrigeerd voor fysisch verval. De berekening is op basis van de parameters zoals beschreven bij Gebruikte parameters. Voor de verontreinigingen wordt hetzelfde biokinetisch model gebruikt als voor de gekozen therapie. Uitgangspunt is dat alle biologische klaring via de urine verloopt.

Activiteit in druppel: de activiteitsconcentratie in de urine vermenigvuldigd met het volume van een druppel:

$$A_{druppel} = \frac{V_{druppel} \Delta A}{v_u T_{mictie}}$$

Blootstellingsresultaten

Door te vermenigvuldigen met de dosisequivalenttemperconstanten voor huidbesmetting voor de therapie en eventuele verontreinigingen en vervolgens te sommeren, wordt het huiddosistempo bij besmetting met 10% van de activiteit in een druppel berekend.

Door te vermenigvuldigen met de dosisconversiecoëfficiënten voor de therapie en eventuele verontreinigingen en vervolgens te sommeren, wordt de volg dosis bij ingestie van 10% van de activiteit in een druppel berekend.

Scenario

In dit werkblad kan een scenario worden gedefinieerd. Een scenario is een beschrijving van de handelingen die de patiënt uitvoert gedurende een week. Het al ingevulde scenario is ontleend aan de RIVM-publicatie 'Nucleair-geneeskundige therapieën: potentiële blootstelling voor derden' van Kloosterman et al., waarbij het scenario is gebaseerd op SCP-studie 'Alle ballen in de lucht: Tijdsbesteding in Nederland en de samenhang met kwaliteit van leven' van Roeters et al.

Gebruikersinput

Handeling

Beschrijving van de activiteit

Karakteristieke handeling

Niet gebruikt, overgenomen vanuit de RIVM-publicatie

Duur

De duur van de **Handeling**, waarbij voor correcte bepaling van de blootstelling de sommatie van de **Duur** voor alle **Handelingen** maximaal 168 uur bedraagt.

Duur met leefregels

De duur van de **Handeling** wanneer leefregels van toepassing zijn, waarbij voor correcte bepaling van de blootstelling de sommatie van de **Duur** voor alle **Handelingen** maximaal 168 uur bedraagt.

Afstand

De afstand tussen de patiënt en derden.

Afstand met leefregels

De afstand tussen de patiënt en derden wanneer leefregels van toepassing zijn.

Blootstelling zonder leefregels

Per categorie binair (ja/nee) aangegeven of blootstelling plaatsvindt tijdens de handeling. Zo zal bijvoorbeeld tijdens bedrust de partner typisch wel worden blootgesteld, en derden niet.

Inputparameters

Voor alle therapieën worden in dit werkblad een aantal standaardwaarden gedefinieerd. De gebruikte waarden komen terug op de werkbladen Externe blootstelling en Besmetting & ingestie. De betekenis van de verschillende parameters is bij de beschrijving van die werkbladen reeds gegeven.

f_{tli}

De transmissiefactor f_{tli} , gedefinieerd als de verhouding tussen de persoonsdosistempoconstante met en zonder afscherming door de patiënt zelf, wordt berekend door per fotonergie de attenuatie te bepalen. Daarin wordt als vereenvoudiging aangenomen dat de patiënt volledig uit water bestaat. In de berekening wordt zowel röntgen- als gammastraling meegenomen. De build-up factor wordt bepaald middels de vergelijkingen en coëfficiënten van Shultis & Faw[1]. De **Diameter patiënt** zoals gedefinieerd op werkblad Externe blootstelling wordt gebruikt om de dikte van de laag afscherming te bepalen.

[1] Shultis JK, Faw RE. Radiation Shielding. American Nuclear Society, 2000. ISBN: 0-89448-456-7.