

André Zandvoort
SBE/GARP



rijksuniversiteit
groningen

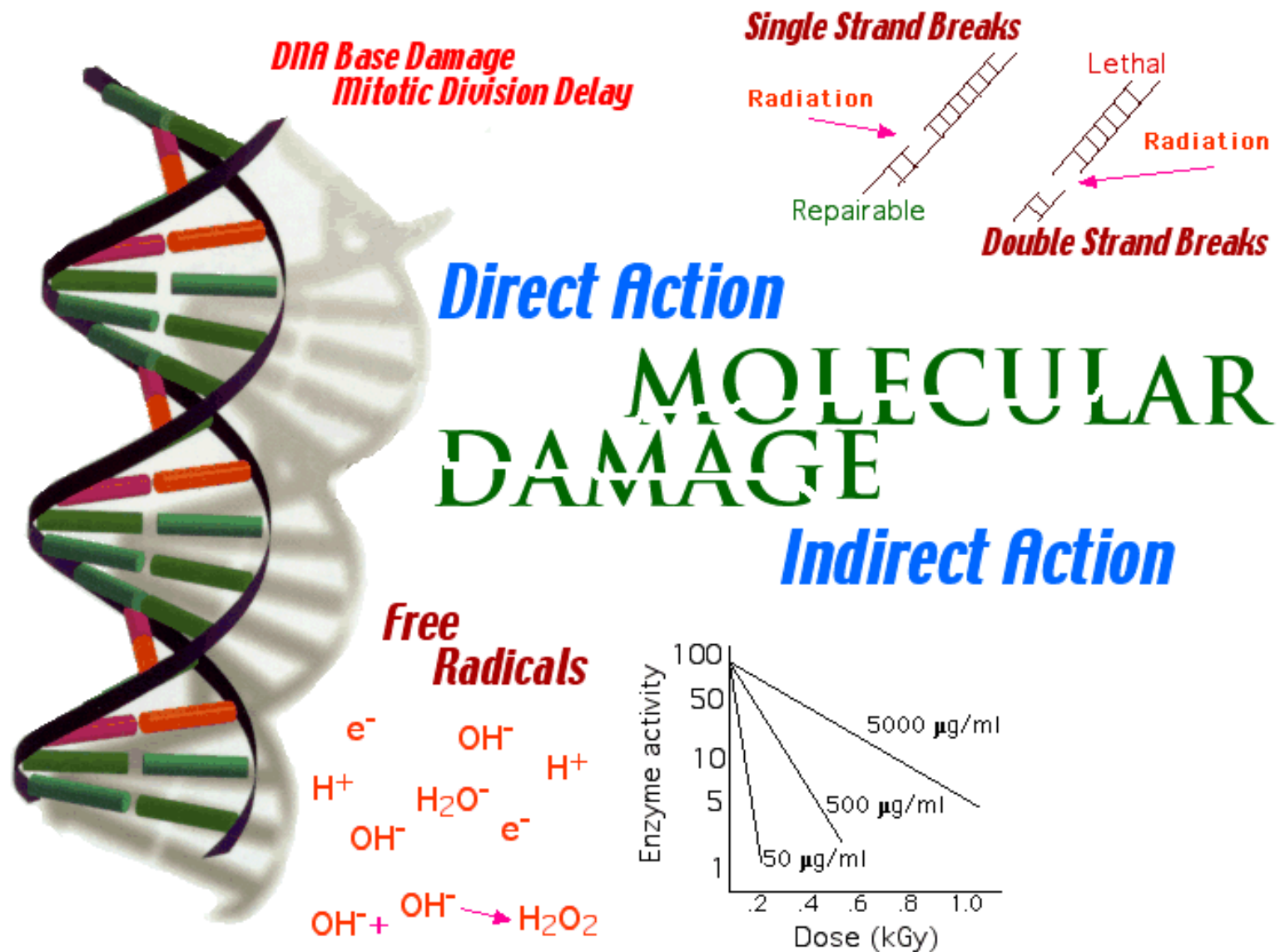
**Stralingshygiëne voor
Toezichthouders
Stralingsbescherming**

meet- en regeltoepassingen
&
verspreidbare radioactieve stoffen
niveau D

Dr. F. Pleiter en dr. H.F. Boersma

Hoofdstuk Biologische effecten van ioniserende straling





NEW! NEW! NEW!

Not getting enough sun because of the smog? Suffer no more!

Get all the health effects of sun bathing in just a few minutes!

FEEL THE AWESOME, HEALING POWER OF

RADIUM

Recommended by dozens of our happy customers.

Your friends will notice you are positively glowing with new energy!



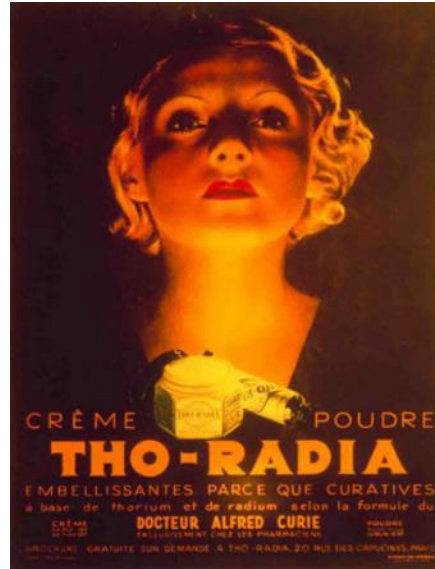
**HEALTH!
YOUTH!
ENERGY!
BUY NOW!**

RADI-CARE RADIOACTIVE TREATMENT CHAIR

Effective cure for all kinds of diseases of the skin, and even cure for grey hair and baldness! Great results also for treating hysteria and rickets.

(Bitter & son manufacturing Ltd.)

AT LAST IN NEW BABBAGE!



38 **Will Radium Restore Youth?**
Power of Mysterious Energy to Renew Worn Body Cells Is Recognized by Physicians

LONGER life. New hair on bald heads. A third set of natural teeth. Renewed vigor of youth. These are a few of the promises that the more optimistic radium experts are making for the use of radium emanation or radioactive waters in the treatment of disease and old age. And while recent glowing accounts of miraculous cures by radium therapy—as the new treatment is called—have not been accepted generally by the medical profession, there is a growing belief among physicians that radium emanation does have a definite place in medical treatment.

The "Spark of Life"?

Is it possible, as one physician has suggested, that in radium may be found the "spark of life"—the mysterious electronic force that drives the life of the world?



"Saratoga Springs" in the home. This apparatus is said to make ordinary drinking water radioactive



Popular Science Monthly

For office use, a handy syringe forces air through capsules of radium salts and into a glass of water, imparting radioactivity, its sponsors claim, to the drinking water

paratus is brought into use. These constant emanations have been one of the great marvels of science ever since Madame Curie isolated radium from uranium ore in 1898. One gram of radium emits 136,000,000,000 atoms a second. As each atom disrupts, what is known as an alpha ray is emitted. This resultant atom disrupts in turn, emitting another alpha ray. And so the process continues. In the



**rijksuniversiteit
groningen**

Wow! Now
CHEMCRAFT
 has **ATOMIC ENERGY!**



Safe! Exciting! Real!
ATOMIC ENERGY
Exclusive with CHEMCRAFT!



RADIOACTIVE SOURCE REPLACEMENT

The radioactive sources in your Gilbert Atomic Energy Lab will, in a period ranging from 1 to 50 years, deteriorate with time. Therefore, when replacement of your Alpha, Beta, Gamma or Cloud Chamber sources is required (see inside back cover of this manual) fill in the coupon below and send it to The A. C. Gilbert Company. You will be notified as to cost and mailing.

IMPORTANT!

NO REQUEST FOR RADIOACTIVE SOURCE REPLACEMENT CAN BE HONORED BY THE A. C. GILBERT COMPANY UNLESS IT IS ACCOMPANIED BY THE COUPON BELOW. KEEP THIS SHEET IN A SAFE PLACE, PREFERABLY WITH THE MANUAL OR WITH THE ATOMIC ENERGY LAB ITSELF.



rijksuniversiteit
 groningen

Onderwerpen:

1. Biologie: Cellen, DNA en eiwitten
2. Effecten van straling op de cel
3. Effecten van straling op de mens
4. Kansgebonden effect
5. Weefselreacties
6. Effect op ongeboren kind
7. Effect op nageslacht
8. Risicogetallen
9. Medische toepassingen





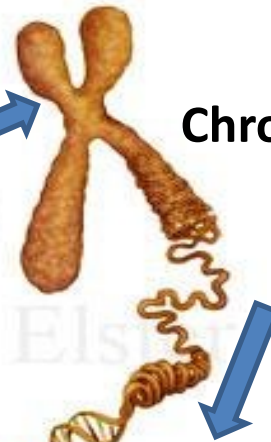
1: Biologie: Cellen, DNA en Eiwitten

Mens
(organisme)



Cellen

100.000.000.000.000 = 10^{14} per individu



Chromosomen

Genen

(code voor erfelijke eigenschappen)



DNA





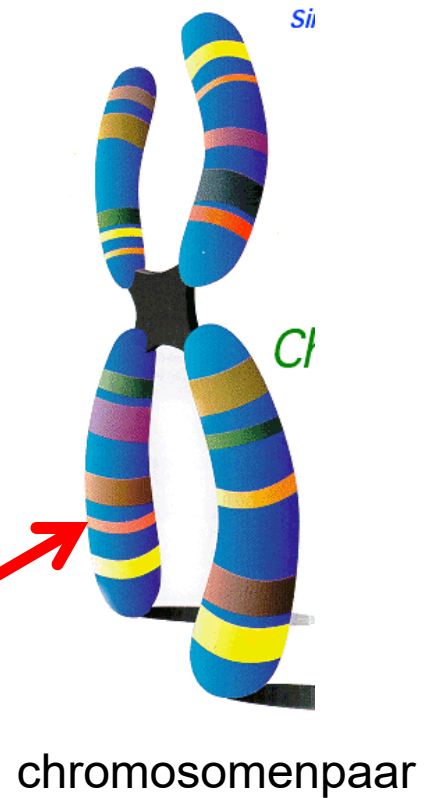
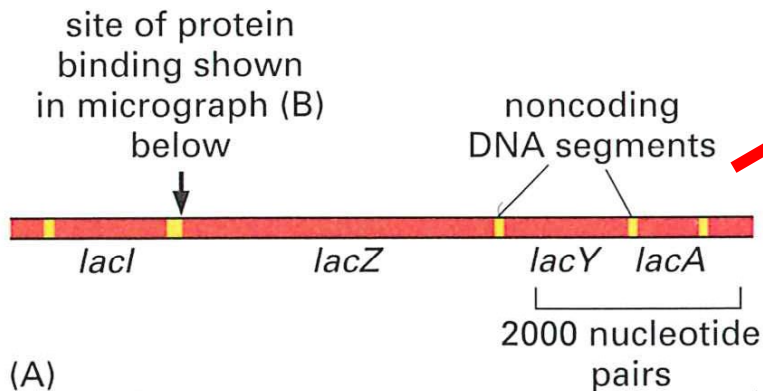
DNA

DNA is verdeeld over chromosomen
mens: 23 paren → 46 chromosomen

Chromosomen bevatten genen

DNA codeert voor genen

Genen coderen voor eiwitten



DNA, erfelijke informatie

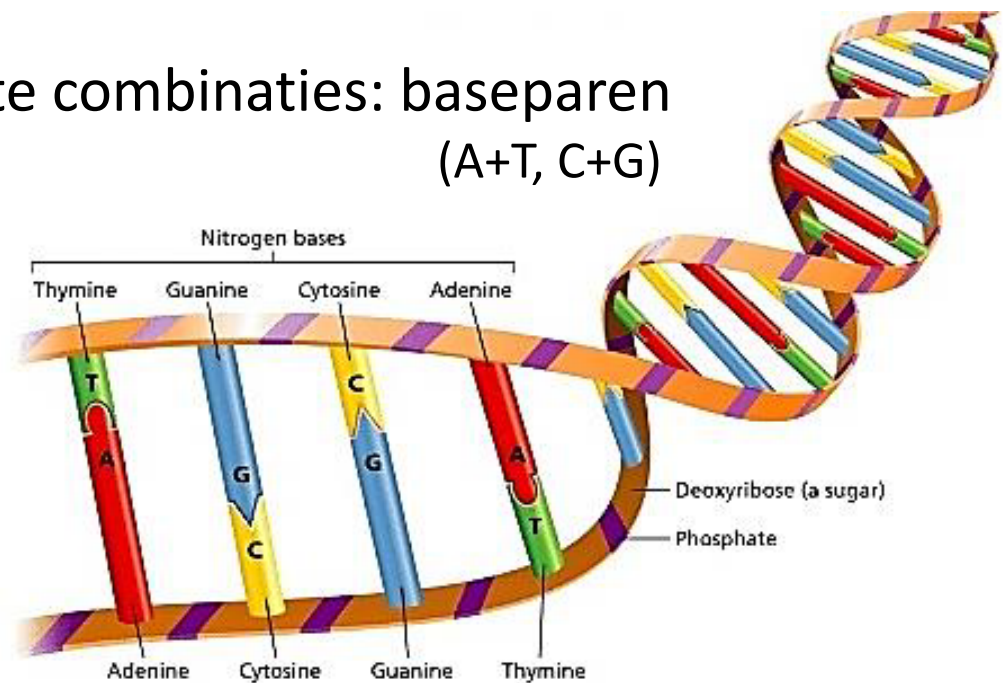
DNA is de drager van de erfelijke informatie

Genetische code bestaat uit 4 bouwstenen (basen)

- Adenine **A**
- Guanine **G**
- Cytosine **C**
- Thymine **T**

Vaste combinaties: baseparen
(A+T, C+G)

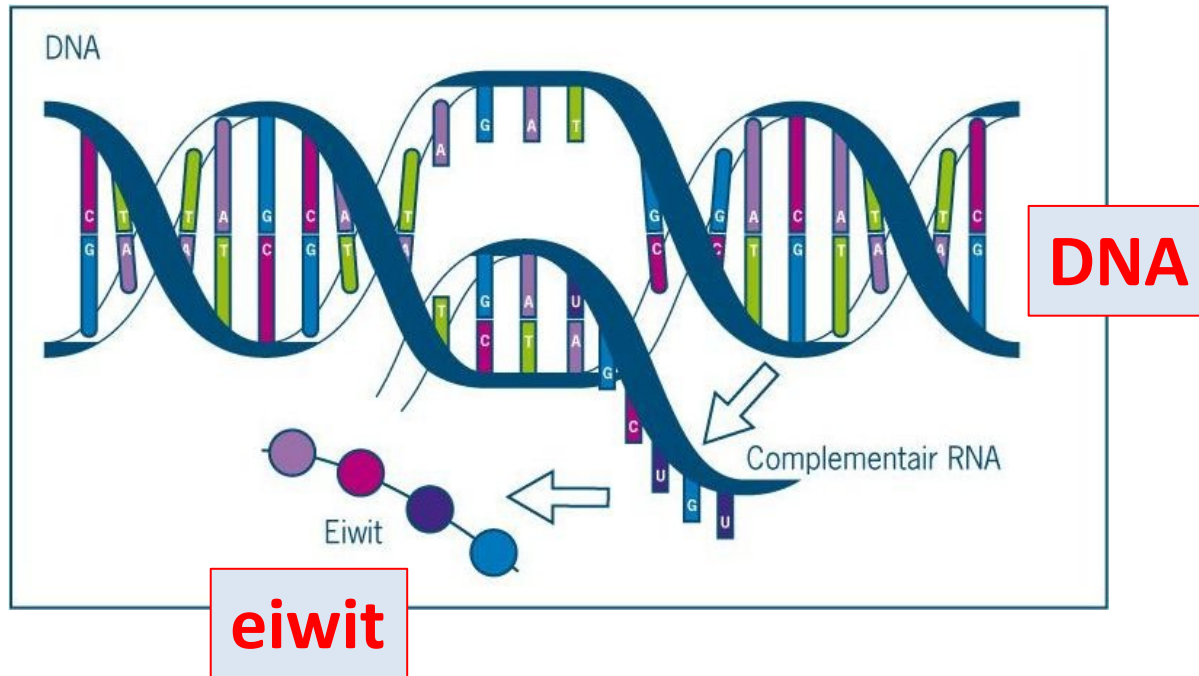
Dubbele helix





In de cel: van DNA naar eiwit

Elke soort cel maakt eigen set eiwitten uit het DNA





In de cel: DNA en eiwit

Elke cel heeft DNA nodig om eiwitten te maken

Elke lichaamscel heeft allerlei **eiwitten** nodig:

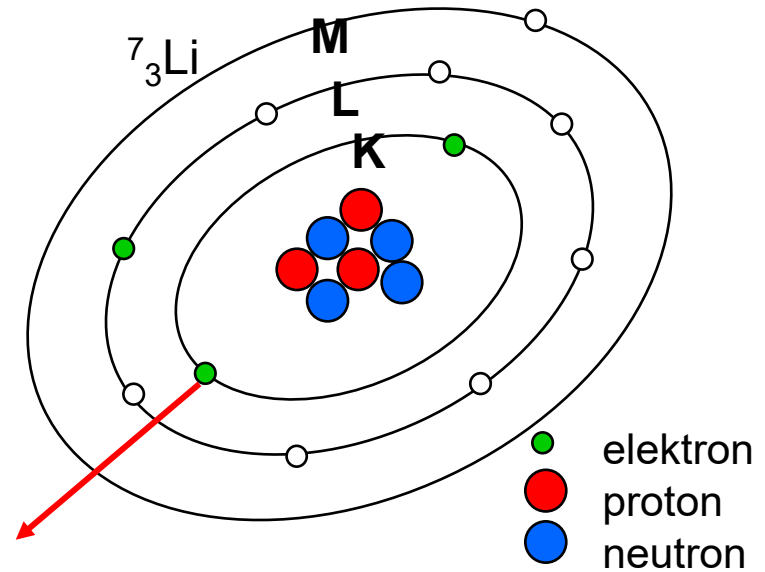
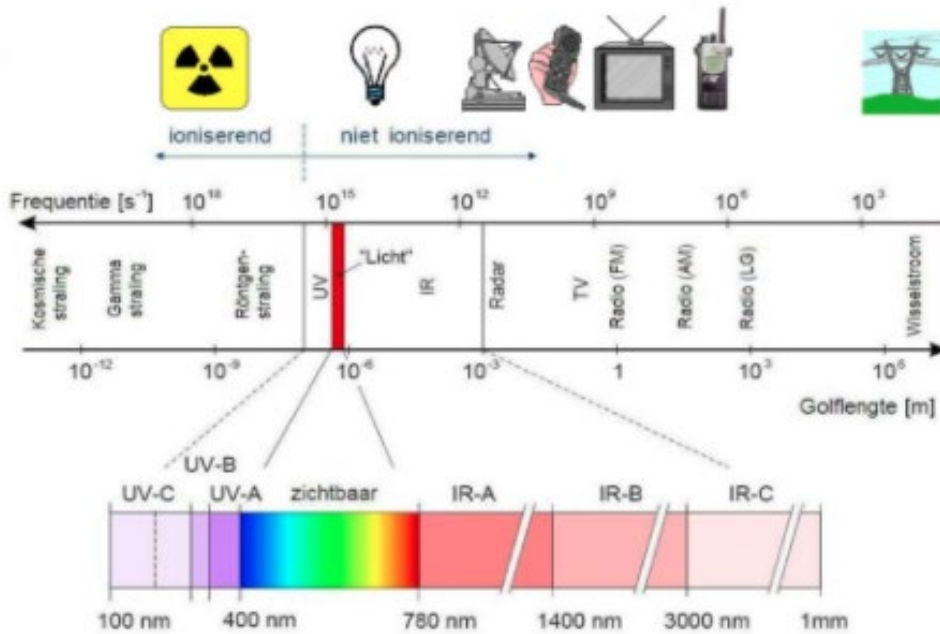
- Voor de bouw of het herstel van je lichaamscellen
- Enzymen zijn verantwoordelijk voor de stofwisseling
- Hormonen zorgen voor de communicatie tussen cellen en hun omgeving
- Eiwitten voor reparatie en vorming van nieuw DNA
- Vorming van nieuwe cellen door celdeling
- Etc.





2: Ioniserende straling

Ioniserende straling: hoge stralingsenergie
Energie hoog genoeg om elektronen los te slaan uit atoom

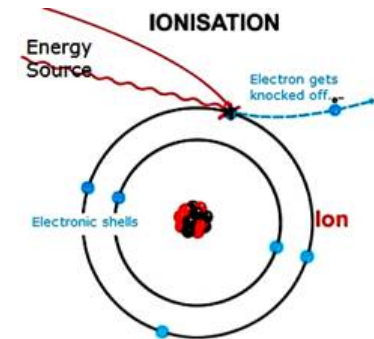


Ionisaties:
veroorzaken stralings schade





Ionisatie

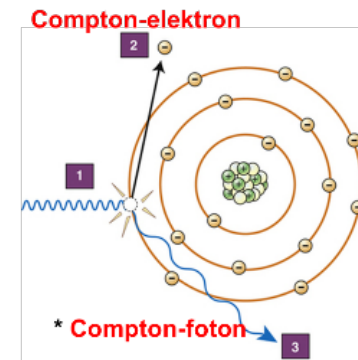


β -deeltjes \rightarrow inelastische botsingen \rightarrow ionisatie

γ -deeltjes en Röntgen-straling \rightarrow Compton-effect \rightarrow energierijke elektronen \rightarrow ionisatie

Ionisaties initiëren stralingschade:

- Schade op moleculair en cellulair niveau

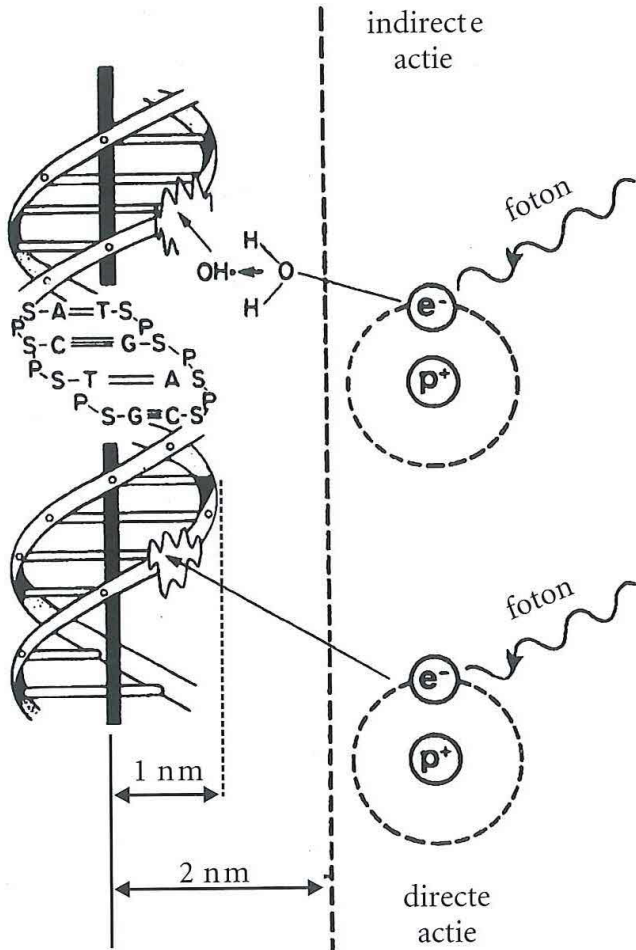


Ionisatie is het proces waarmee een atoom of molecuul uit ongeladen toestand een elektron kwijtraakt of er een bij krijgt en als gevolg daarvan verandert in een **geladen deeltje**, ook wel ion genoemd. **Ionisatie** is geen spontaan proces. Hiervoor is energie nodig, die ionisatiepotentiaal wordt genoemd.





Stralingschade



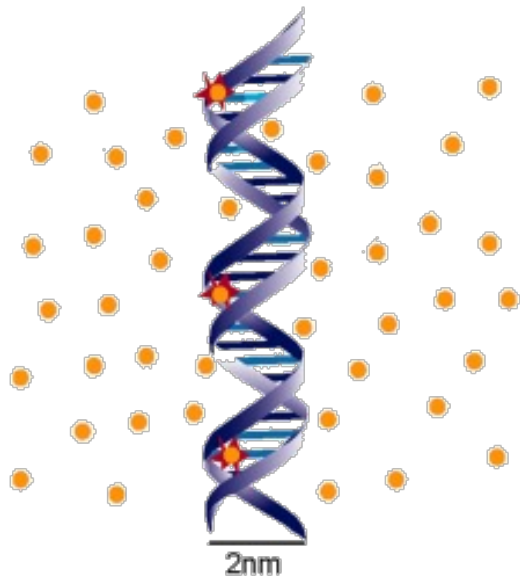
indirecte schade: belangrijkste bijdrage!

- weefsel bestaat voor 70-90% uit water (H_2O)
- ioniserende straling vormt **vrije radicalen $H\bullet$ en $\bullet OH$**
- Vrije radicalen zijn erg reactief: veroorzaken schade aan biomoleculen zoals DNA

directe schade

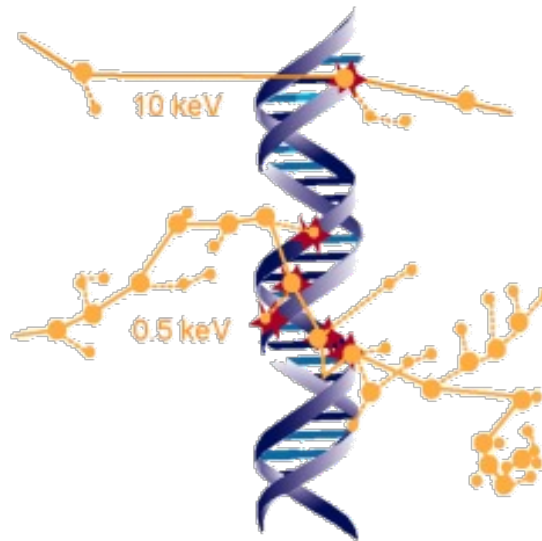
- door ionisatie: **beschadiging van biomoleculen** (koolhydraat, eiwit, vet, DNA, ...)





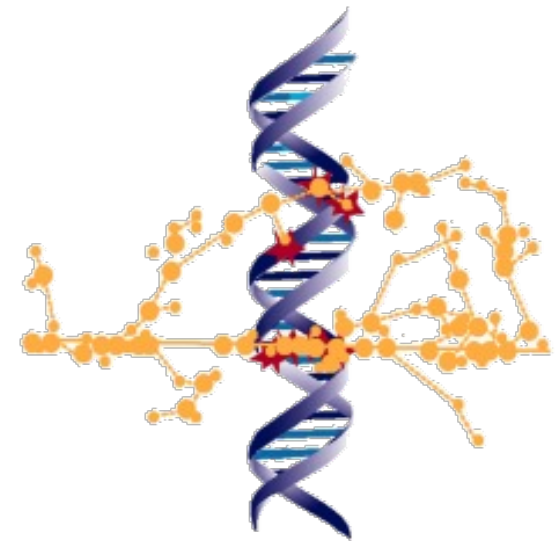
•OH radicals

10 keV and 0.5 keV
electron tracks

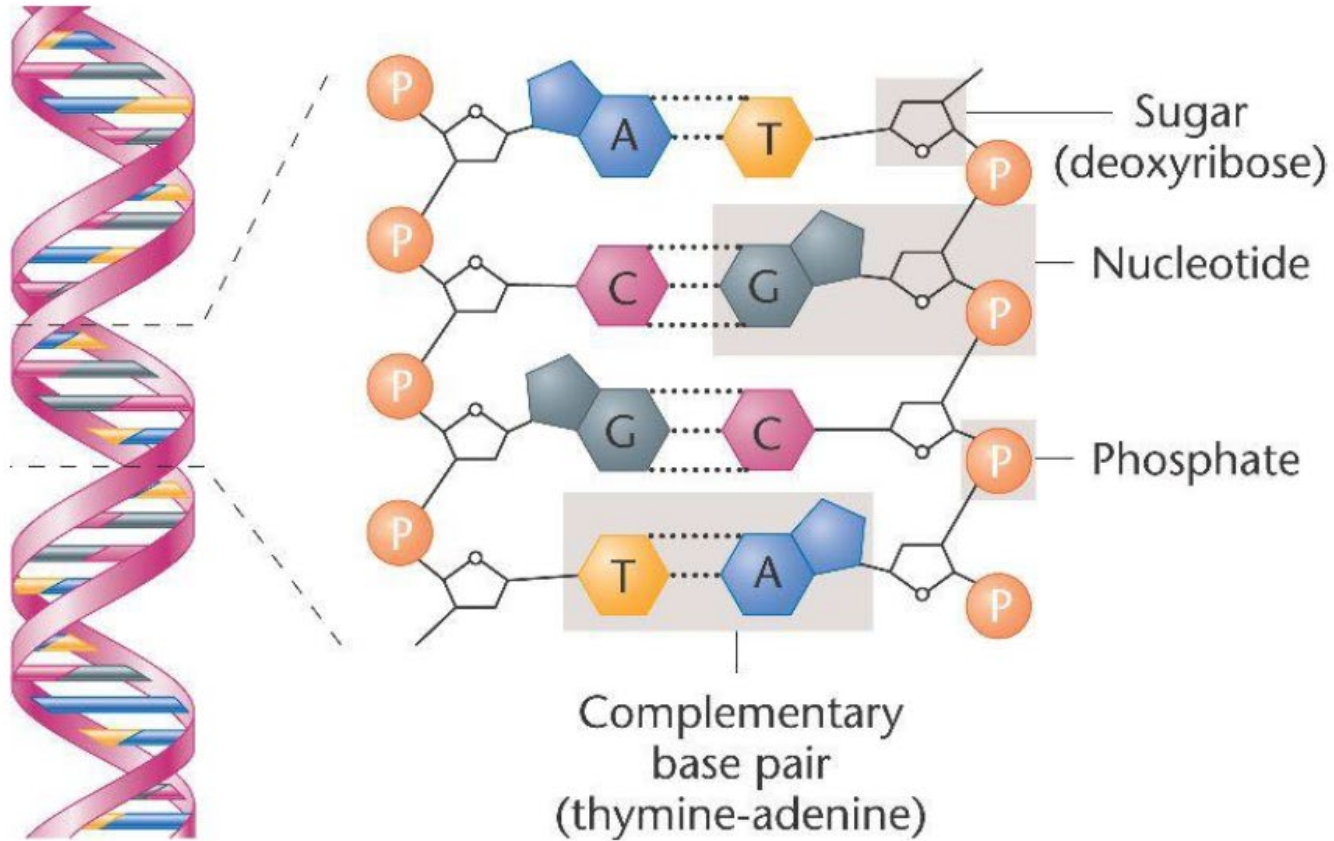


Low LET radiation

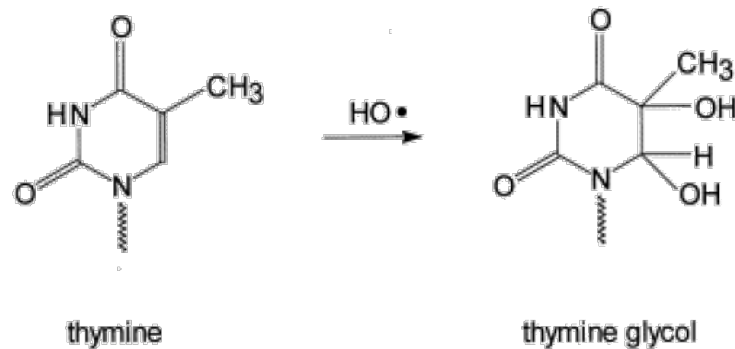
4 MeV alpha particle



High LET radiation



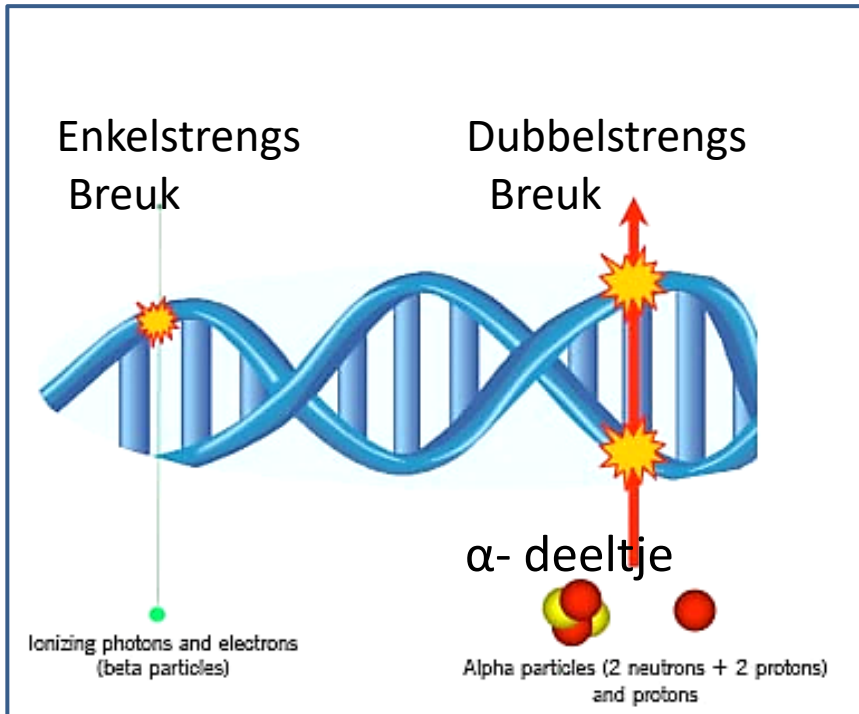
Watson and Crick, Nature, 1953



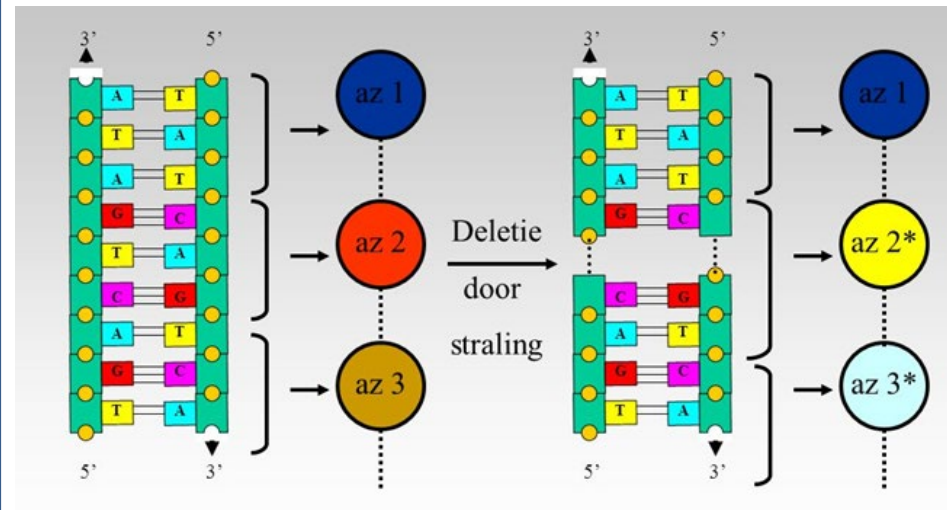


Stralingschade

Breuk aan zijkant DNA helix



Verlies of verandering van DNA basen



Gevolg: DNA functioneert niet goed





Beperking van stralingschade (4 methoden)

1. **DNA-reparatie** door **DNA-reparatie enzymen** (eiwitten)
Dubbelstrengs DNA- breuken moeilijk te repareren!



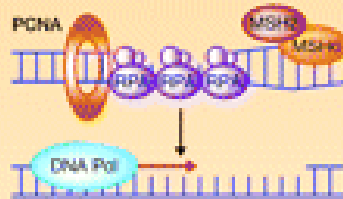
Base Excision Repair (BER)

Key Players:	APE1	MBD4	NUDT1	SMUG1
	APE2	MPG	OGG1	TDG
	APTX	MUTYH	PARP1	TDP1
	DNA2	NEIL1	PARP2	UNG
	FEN1	NEIL2	PARKP	XRCC1
	LIG1	NEIL3	POLB	
	LIG3	NTHL1	POLG	



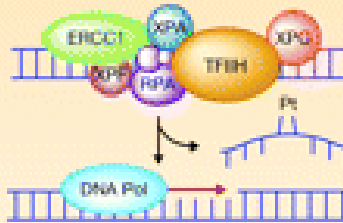
Mismatch Mediated Repair (MMR)

Key Players:	EXO1	MSH6
	HMSH1	PCNA
	LIG1	PMS1
	MLH1	PMS2
	MLH3	POLD
	MSH2	RFC
	MSH3	RPA



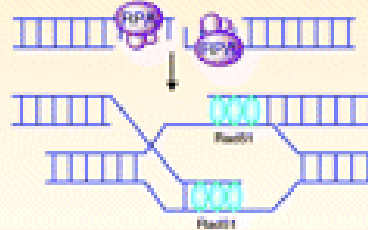
Nucleotide Excision Repair (NER)

Key Players:	CEN2	ERCC1/XPF	XPA
	CSA	HR23B	XPC
	CSB	LIG1	XPG
	CUL4A	LIG3	XRCC1
	DOB1	POL D/E	
	DOB2/XPE	RPA	
	ERCC1	TFIIH	



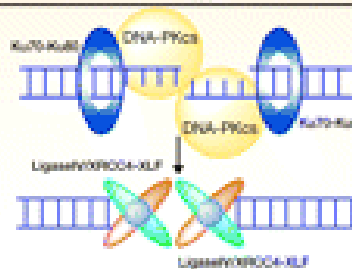
Homology Directed Repair (HDR)

Key Players:	ATM	FANCF	Rad50	XRCC2
	ATR	FANCG	Rad51	XRCC3
	BLM	FANCD1	Rad52	
	BRCA1	GEN1	Rad54	
	EME1	MRE11	RecQ4	
	EXO1	NBS1	RPA	
	FANCD2/BRCA2		WRN	



Nonhomologous End-Joining (NHEJ)

Key Players:	ARTEMIS	POL4
	ATM	XRCC4
	ATR	XLF/ceppax
	DNA-PKcs	
	Ku70	
	Ku80	
	LIG4	



DNA Reparatie Stralingschade

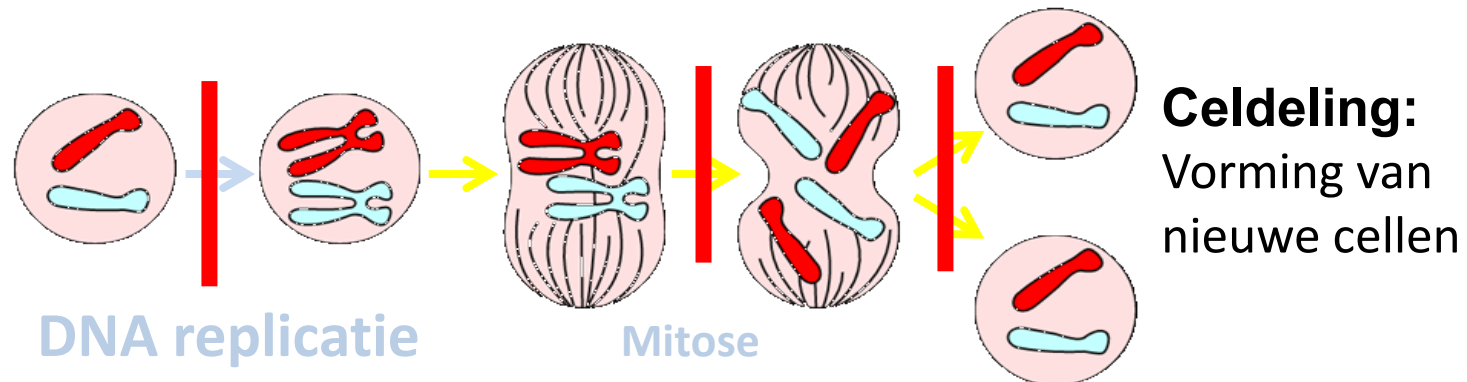




Beperking van stralings schade

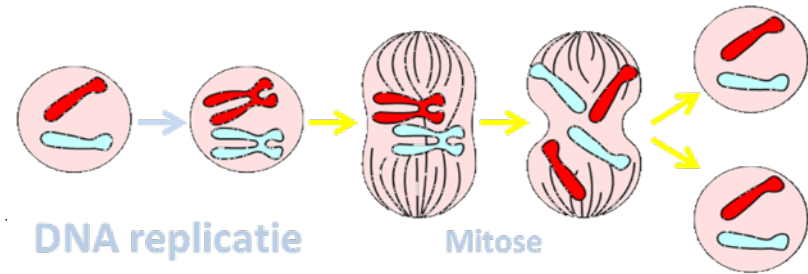
2. Checkpoints in **celcyclus**:

celcyclus wordt onderbroken bij detectie van DNA-schade

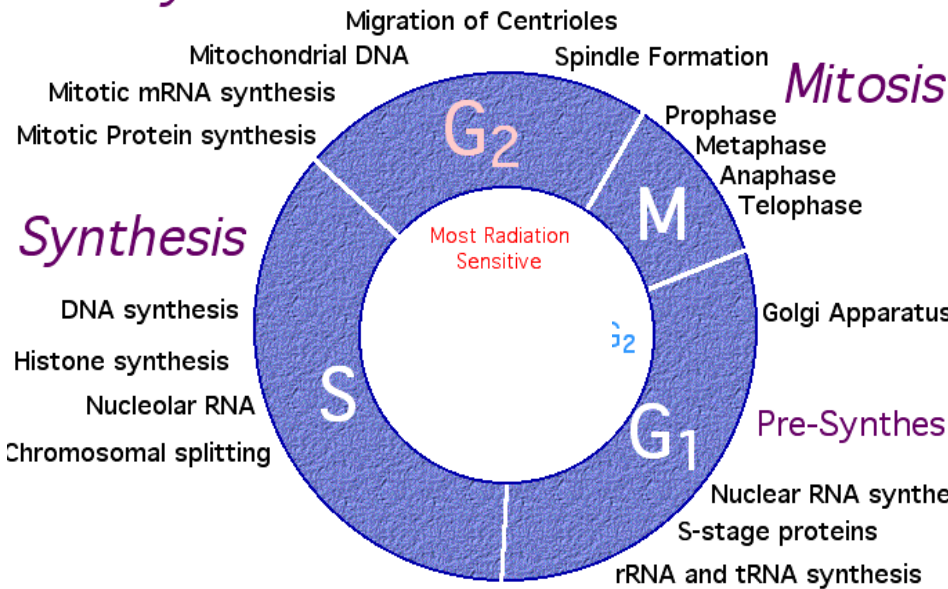


Controle in celcyclus

Checkpoints: DNA-schade vertraagt voortgang cel-cyclus.
Ernstige fouten: celdood



Post Synthesis



Snel delende cel:
geen tijd voor reparatie!

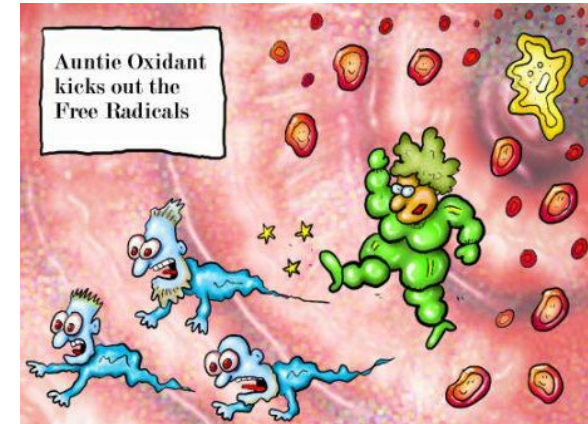


Beperking van stralings schade

3. Antioxidanten

(bijv. Vitamine C)

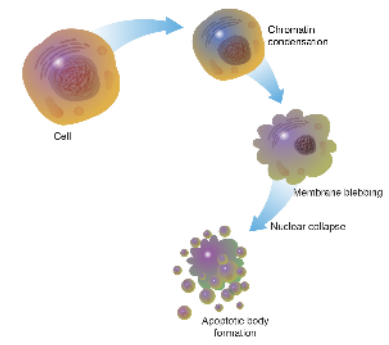
- neutraliseren schadelijke vrije radicalen ($H\bullet$ en $\bullet OH$)

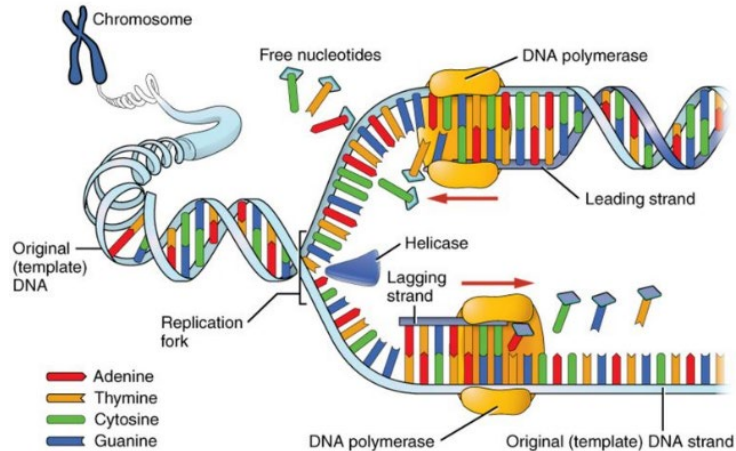


4. Geprogrammeerde celdood (Apoptose)

- Opruimen van beschadigde cellen of
- Opruimen ongecontroleerd delende cellen

(Bcl-2 en p53 zijn belangrijke eiwitten voor apoptose)





cnx.org/content/m46073/latest/0323_DNA_Replication.jpg

Stralingsgevoeligheid

Bij celdeling: DNA wordt gesplitst, nieuwe basen worden ingebouwd:

Meest stralingsgevoelig: snel delende cellen

Snel delende cel heeft minder tijd voor reparatie

- Beenmerg, milt, darmepitheel, maar ook **tumorcellen (radiotherapie)**
- Kinderen zijn gevoeliger voor straling dan volwassenen

Minst stralingsgevoelig: gedifferentieerde en functionele cellen die zich weinig delen:

- Spieren, zenuwcellen, hersenen



Effect van 1 Gy

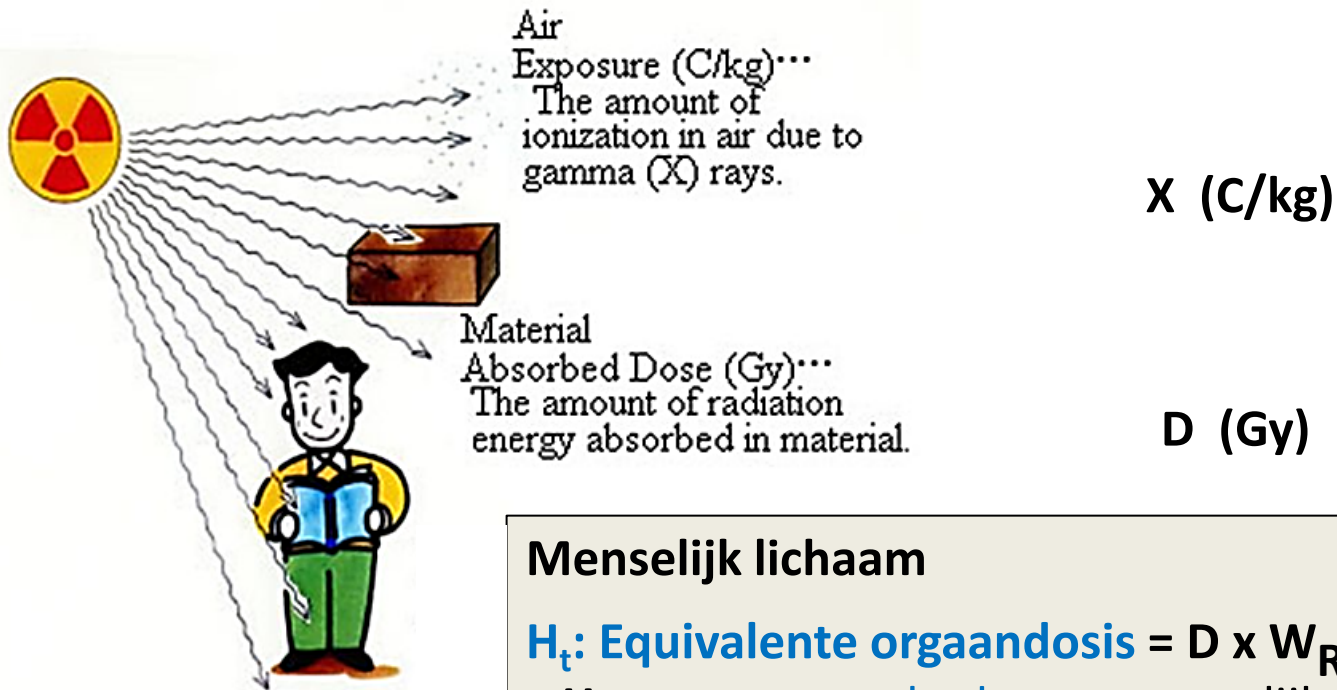
Schade van een dosis van 1 Gy



→ 2×10^5 ionisaties in een cel

- Ongeveer 1% schade in het genomisch materiaal, rest chemische/eiwit schade in cel
- Ongeveer 1000 DNA breuken
- Bijna alle breuken verdwijnen binnen een aantal uren
- Rond de 40% van de bestraalde cellen behoud het vermogen om te groeien

Effecten op de mens: de dosis (herhaling)



Menselijk lichaam

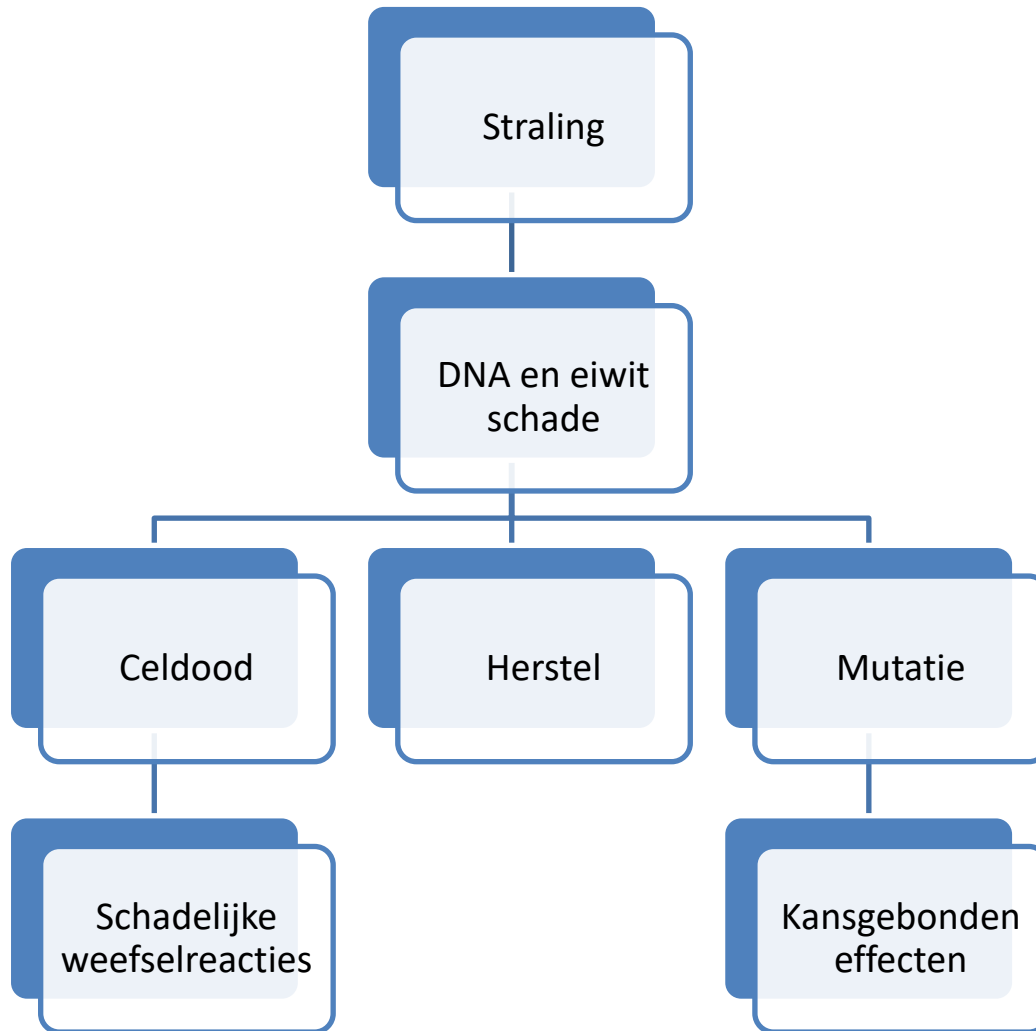
H_t : Equivalente orgaandosis = $D \times W_R$ (Sv)

H_t maat voor schade aan menselijk weefsel

E : Effectieve dosis = $H_t \times W_T$ (Sv)

E maat voor gezondheidsrisico

Effecten op de mens





3: Effecten op de mens

Somatische effecten

De schade komt tot uitdrukking in het bestraalde individu

Schadelijke weefselreactie

Acute effecten
< enkele maanden

Late effecten
Na jaren

Kansgebonden effect

Laat effect
Na jaren

Genetische effecten

De schade komt tot uitdrukking bij het nageslacht

Kansgebonden effect



Tijdschaal

tijdschaal

proces

10^{-18} - 10^{-17} s

absorptie van stralingsenergie

10^{-12} - 10^{-7} s

beschadiging molecuul door **vrije radicalen H• en •OH**

minuten - uren

reparatie van DNA-schade, hersensyndroom

dagen

celdood, darmsyndroom

dagen - weken

meer acute effecten, beenmergsyndroom, huidsyndroom

maanden - jaren

late effecten, kanker

generaties

genetische schade bij nakomelingen



Effecten op de mens

Somatische effecten

De schade komt tot uitdrukking
in de bestraalde individu

Schadelijke
weefselreactie

Acute effecten
< enkele maanden

Late effecten
Na jaren

Kansgebonden
effect

Laat effect
Na jaren

Genetische effecten

De schade komt tot uitdrukking
bij het nageslacht





4: Kansgebonden effecten

(*stochastisch effect*)

Hoe hoger de dosis, hoe groter de kans op het van optreden van het effect (letale kanker)

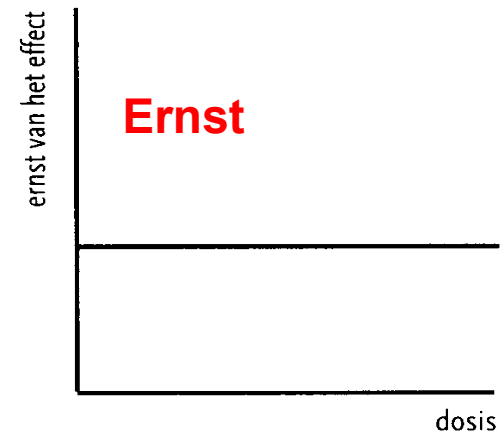
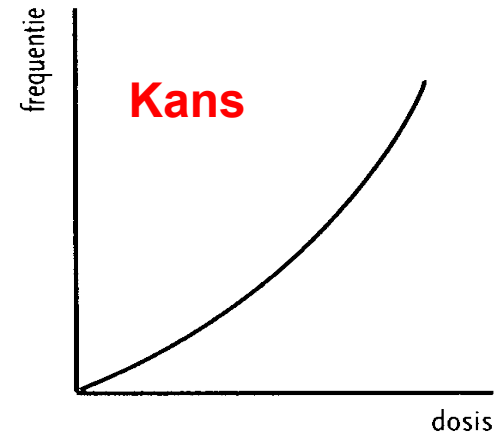
- **GEEN drempel-dosis**

- **Ernst hangt NIET af van de dosis: alles-of-niets effect**

Treedt pas op na lange latentieperiode :

Laat effect

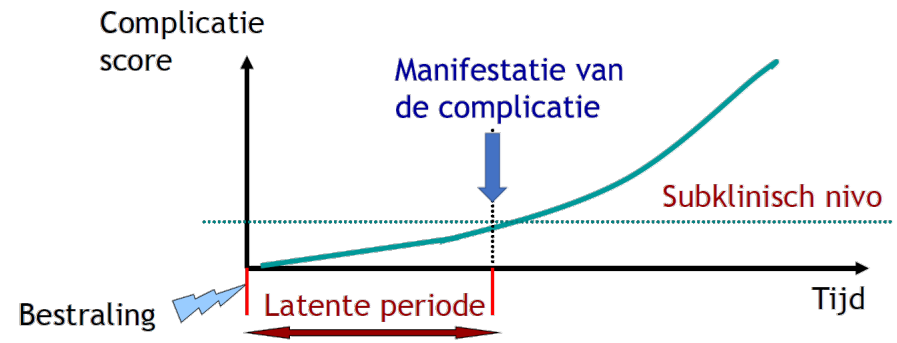
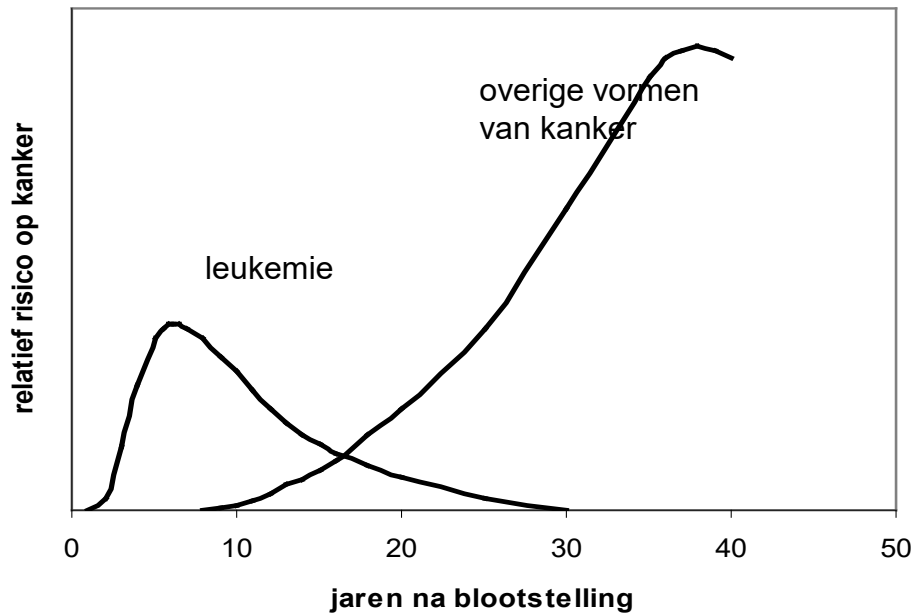
stochastisch





Kansgebonden effecten: latentietijd

- minimaal 3 tot 5 jaar voor leukemie
- minimaal 10 jaar voor overige vormen van kanker





Kansgebonden effecten

Effecten:

- Tumorinductie (ongeremde groei eigen cel)
- Genetische effecten in het nageslacht

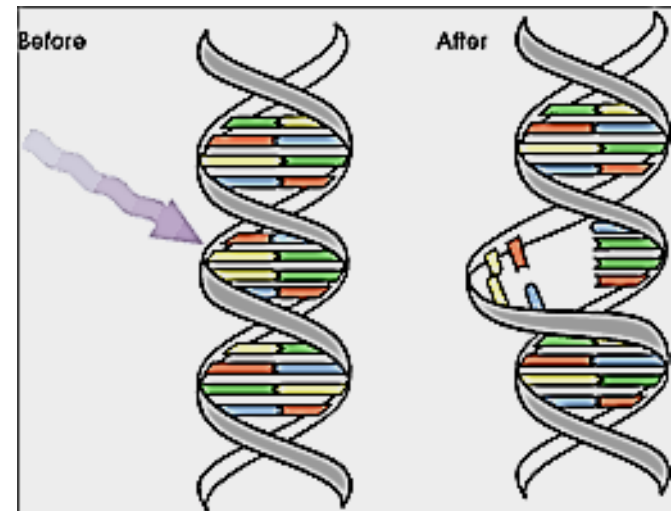
Zeer lange latentietijd

begint met DNA-schade:

DNA mutatie

Bijvoorbeeld:

Insertie en deletie (stukken DNA ontbreken of teveel) of puntmutatie (1 base verkeerd)



Mutatie van DNA door straling





Kansgebonden effecten

Genen

Twee typen genen van belang in ontwikkeling van kanker:

- **Proto-oncogenen**
bevorderen ongeremde celgroei
- **Tumor-suppressorgenen**
remmen de groei

Mutaties in deze genen kunnen kanker bevorderen
(Mutaties kunnen ook aangeboren zijn)



Kansgebonden effecten

Proto-oncogen: te actief:

	kanker
N-ras	neuroblastoma leukemie
Ki-ras	long, eierstokken darm, alvleesklier
c-myc	lymfeweefsel borst, maag, long
Bcl-2	lymfeweefsel
Bcl-1	borst, hoofd, hals

tumorsupressor-gen: te weinig actief:

	kanker
NF-1	zenuwweefsel myeloïde leukemie
NF-2	hersenen
p-53	veel kankers
BRCA-1	borst, eierstokken
BRCA-2	borst
VHL	nier

P-53: cruciaal tumorsupressor-gen:
DNA-reparatie, celcyclus-arrest, apoptose



Effecten op de mens

Somatische effecten

De schade komt tot uitdrukking in de bestraalde individu

Schadelijke weefselreactie

Acute effecten
< enkele maanden

Late effecten
Na jaren

Kansgebonden effect

Laat effect
Na jaren

Genetische effecten

De schade komt tot uitdrukking bij het nageslacht





5: Schadelijke weefselreactie

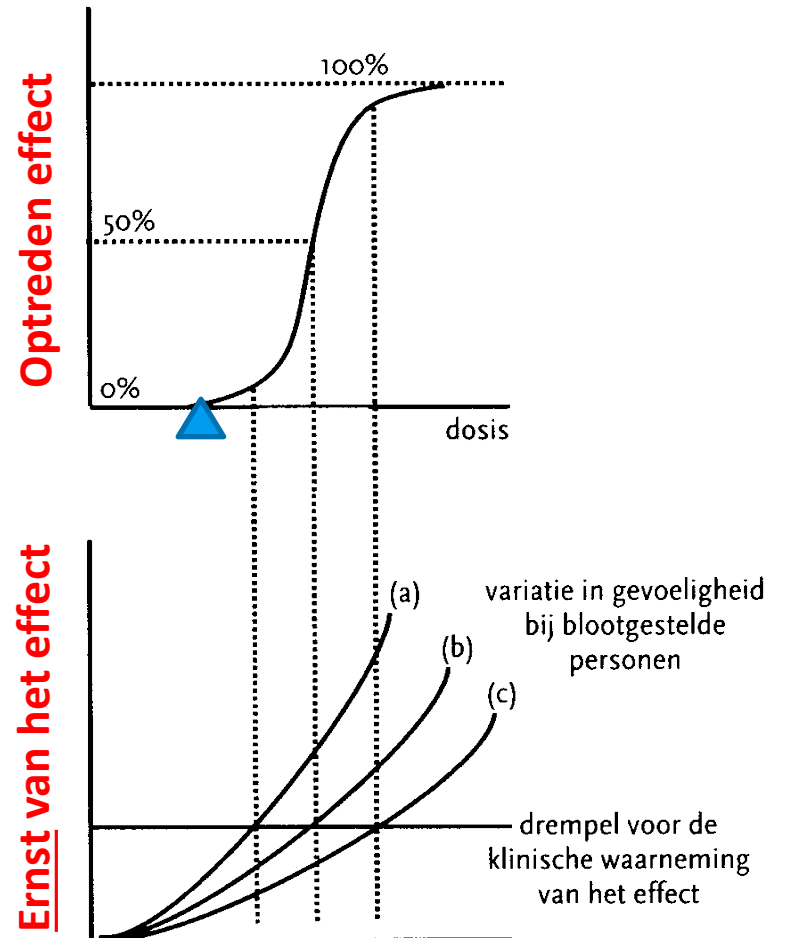
(niet-kansgebonden effect, deterministisch effect)

Alleen boven een bepaalde
▲ **drempel- dosis**

Treedt op als veel cellen van een orgaan of weefsel beschadigd zijn

**Hoe hoger de dosis
hoe ernstiger het effect**

acuut of laat effect





Schadelijke weefselreactie

Drempel-Dosis	Effect	Mortaliteit
0,1 Gy	tijdelijke steriliteit (man)	
3 Gy	afname vruchtbaarheid (vrouw)	
0,5 Gy	staar in oog (cataract)	
0,5 Gy	tijdelijk minder witte bloedlichaampjes (afweer)	
1 Gy*	beenmergsyndroom (*zonder medische zorg)	10 - 30 dagen
5 Gy*	Darmsyndroom (*zonder medische zorg)	4 - 10 dagen
50 Gy	Hersensyndroom	Binnen 2 dagen



Bij **totale lichaamsbestraling** ($W_T = 1$) van **ca. 3-5 Gy** overlijdt 50 % van personen

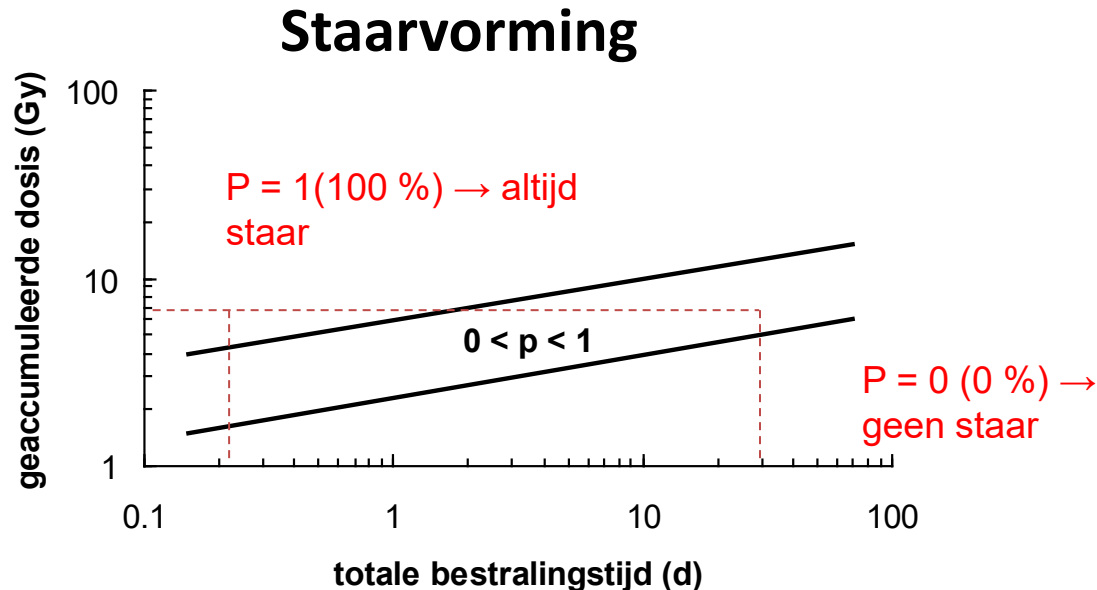




Schadelijke weefselreactie

Als straling over langere tijd verdeeld wordt daalt de kans op schadelijke weefselreacties: **tussentijds herstel mogelijk**

**Drempeldosis
bij eenmalige
bestraling:
0,5 Gy**



De kans op het optreden van staar (cataract) bij patiënten die een behandeling met radiotherapie hebben ondergaan.





Schadelijke weefselreactie

Beenmergsyndroom

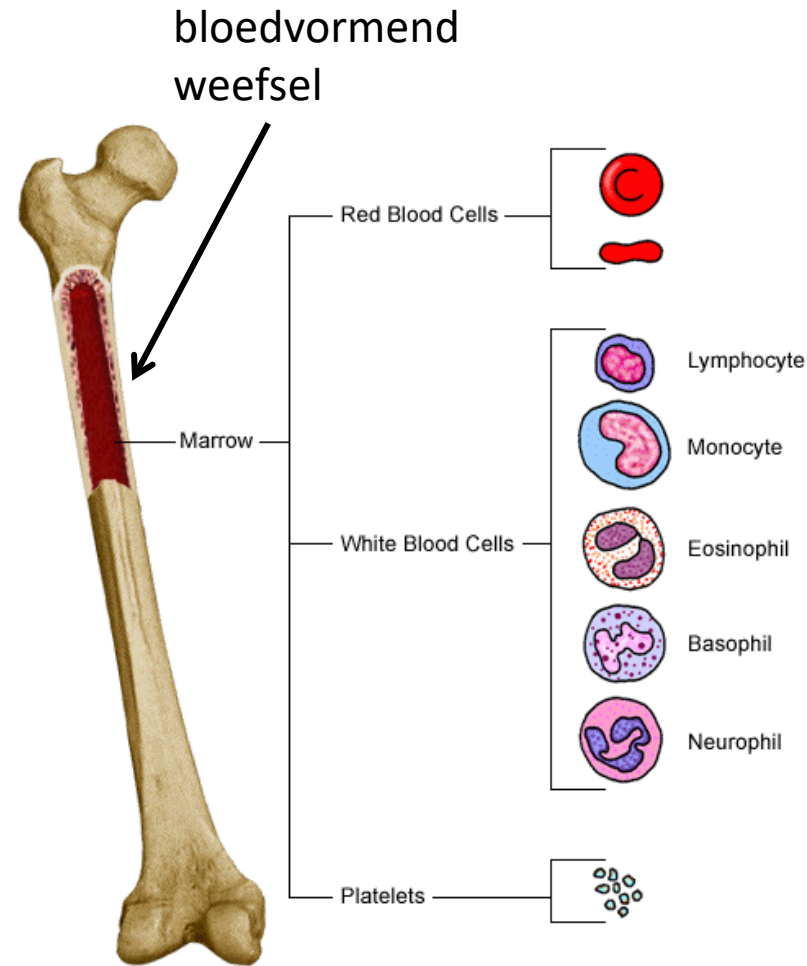
Lichaamsbestraling > 1 Gy

Bij dosis ca. 3-5 Gy ineens overlijdt 50 % van personen

Binnen 1 tot 2 dagen aantasting
Immuunsysteem en vorming
bloedplaatjes (nodig voor stolling)

Verminderde weerstand tegen infecties,
Na 7 tot 10 dagen bloedingen

Herstel mogelijk na transfusie of
beenmergtransplantatie.



Schadelijke weefselreactie

Darmsyndroom

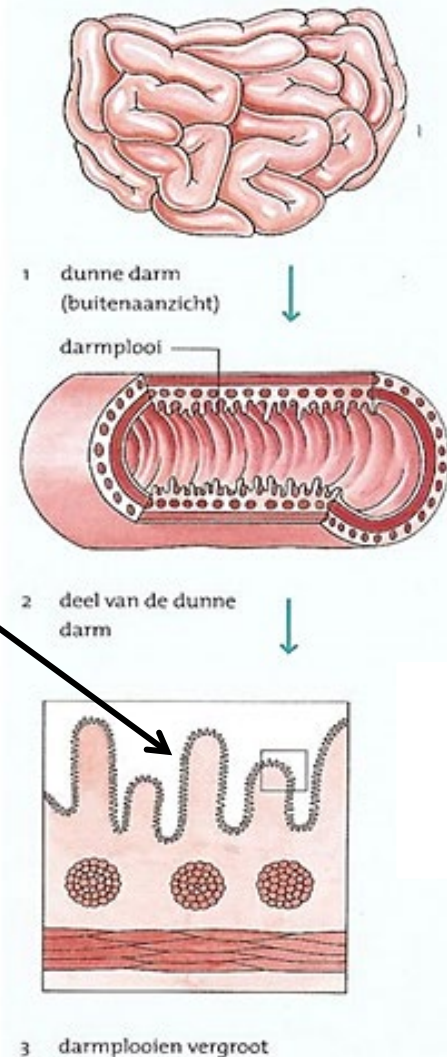
Lichaams- of buikholte bestraling met
> 5 Gy binnen korte tijd

Aanmaak nieuwe darmvlokken stopt

Sterk verminderde opname van water,
mineralen en voedingsstoffen

- Diarree en braken, overlijden door uitdroging.
- Lichte vormen te behandelen, mits celdeling weer op gang komt.
- Ook letten op beenmergsyndroom!

Afb. 43 De bouw van de dunne darm (schematisch).



Schadelijke weefselreactie, huid

*Vlak na de ontdekking van röntgenstraling in 1895 en natuurlijke radioactiviteit in 1896: medische toepassingen, zoals het **gebruik van röntgenstraling voor ontharing !***

*Vrij snel kwam aan het licht dat deze toepassing niet zonder gevaar was ...
Het eerste gevolg van overbestraling is roodheid na enkele uren (erytheem).*

Huidsyndroom

Zeer ernstige, moeilijk te behandelen
brandwonden

Foto rechts:

huiddosis : 50 Gy

lichaamsdosis : 4,5 Gy



(Na uitgebreide plastische chirurgie)
Gilam, Iran, juli 1996

https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1123_scr.pdf



rijksuniversiteit
 groningen

Piepkleine, maar levensgevaarlijk capsule kwijt in Australië

27 januari 2023 18:42 • Aangepast 27 januari 2023 21:08



Het is een piepkleine onopvallende capsule, van 6 bij 8 millimeter, maar hij is levensgevaarlijk. En hij is kwijtgeraakt, ergens langs een 1400 kilometer lange weg in Australië.



Cs-137
19 GBq

Stel:
2 uur in borstzak
(1 cm afstand):

$$\frac{0,077 \mu\text{Gy/h} \times 19 \cdot 10^3}{0,01^2}$$

$\Rightarrow 14,6 \text{ Gy/h} \times 2 = 29,3 \text{ Gy}$
equivalente dosis $W_r = 1$:
29,3 Sv lokale huidbestraling

$W_t = 0,01$
Effectieve dosis: 0,3 Sv



Schadelijke weefselreactie, late effecten

Orgaan/weefsel	Drempeldosis (mGy)	Biologisch effect	Latente periode
Testis	~100	Tijdelijke steriliteit	3-9 weken
Testis	~6 x 10 ³	Permanente steriliteit	3 weken
Ovaria	~3 x 10 ³	Permanente steriliteit	< 1 week
Beenmerg	~500	Verminderde Hematopoëse	3-7 dagen
Huid (groot oppervlak)	< 3-6 x10 ³	Roodheid van de huid	1-4 weken
Huid (groot oppervlak)	5-10 x10 ³	Brandwonden	2-3 weken
Huid	~4 x10 ³	Tijdelijk haarverlies	2-3 weken
Huid (groot oppervlak)	10 x10 ³	Late atrofie	>1 jaar
Huid (groot oppervlak)	10 x10 ³	Telangiectasia op 5 jaar	>1 jaar
Oog	~100 per 5 jaar**	Cataract (verminderde visus)	>20 jaar
Hersenen	100-200	Cognitieve defecten bij baby's jonger dan 18 maanden	Enkele jaren
Carotide	~500	Cardiovasculaire ziekte	>10 jaar
Hart	~500	Cardiovasculaire ziekte	>10-15 jaar

Tabel 1. Schattingen van drempeldoses voor een 1% indicatie van weefselschade na blootstelling aan ioniserende straling, zoals beschreven in NCS rapport 26 [NCS16].





6: Schadelijke weefselreacties - Effecten op het ongeboren kind

week 1-2 : **alles-of-niets-effect**: spontane abortus (drempeldosis: 100 mGy)

week 3-8 : vorming van organen (organogenese)
stralingsschade kan leiden tot misvormingen

week 8-15 : ontwikkeling van de hersenen
stralingsschade kan leiden tot vermindering van IQ
drempeldosis: 100 mGy

week 16-36 : voltooiing van de ontwikkeling
stralingsschade kan leiden tot groeiachterstand
risico voor ongeboren kind ongeveer gelijk aan dat voor jong kind

Kansgebonden effecten - risico voor ongeboren kind
ongeveer gelijk aan dat voor jong kind

(Denk om term trimester: periode van 3 maand)



7: Kansgebonden effecten – nageslacht

Somatische effecten

De schade komt tot uitdrukking
in de bestraalde individu

Schadelijke
weefselreactie

Acute effecten
< enkele maanden

Late effecten
Na jaren

Kansgebonden
effect

Laat effect
Na jaren

Genetische effecten

De schade komt tot uitdrukking
bij het nageslacht

Kansgebonden
effect





Kansgebonden effecten – nageslacht

Effect mogelijk als er **stralingsschade is in de geslachtscellen van de ouders** voordat er sprake is van een zwangerschap

Elk stadium in de vorming van de geslachtscellen heeft zijn eigen gevoeligheid voor stralingsschade

- rijpende eicellen en zaadcellen meest kwetsbaar

Risico van **erfelijke afwijkingen** (teratogeen effect) is waarschijnlijk veel kleiner dan tot nu toe gedacht (alleen aangetoond in proefdieronderzoek)

(Gonadendosis op latere leeftijd heeft geen genetische consequenties meer)



Radiobiologie: vragen

- 1 Ioniserende straling veroorzaakt vooral schade door directe breuk van moleculen in de cel of door ionisatie van watermoleculen?

ionisatie van watermoleculen

- 2 Wat zijn in het algemeen de meest stralingsgevoelige cellen?

cellen die snel delen

- 3 Wat zijn in het algemeen de minst stralingsgevoelige cellen?

cellen die niet meer delen

Radiobiologie: vragen

- 4 Wat gebeurt er als de ongeboren vrucht gedurende de eerste week van de zwangerschap bestraald wordt?

òf er gebeurt niets òf de vrucht sterft af

- 5 Kunnen misvormingen optreden als de ongeboren vrucht gedurende de eerste week van de zwangerschap bestraald wordt?

nee

- 6 Kunnen misvormingen optreden als de ongeboren vrucht gedurende de tweede maand van de zwangerschap bestraald wordt?

ja, want dan worden de organen gevormd

Radiobiologie: vragen

7 Kunnen misvormingen optreden als de ongeboren vrucht gedurende de tweede helft van de zwangerschap bestraald wordt?

nee, want dan is de organogenese voltooid

8 Wat kan er gebeuren als de ongeboren vrucht gedurende de tweede helft van de zwangerschap bestraald wordt?

groeiachterstand

9 Is er bij kansgebonden effecten sprake van een drempeldosis?

nee

10 Hangt de ernst van kansgebonden effecten af van de dosis?

nee

Radiobiologie: vragen

11 Is er bij schadelijke weefselreacties sprake van een drempeldosis?

ja

12 Hangt de ernst van schadelijke weefselreacties af van de dosis?

ja

13 Leukemie is een stochastisch of een deterministisch effect?

stochastisch effect

14 Staar is een stochastisch of een deterministisch effect?

deterministisch effect

Radiobiologie: vragen

- 15 Bij γ -bestraling bedraagt de LD₅₀ ongeveer
- 0,4 Sv
 - 4 Sv
 - 40 Sv

Ongeveer 4 Sv

- 16 Na bestraling van het gehele lichaam met een dosis van 3 Sv loopt de mens 50% kans te overlijden aan het
- beenmergsyndroom
 - darmsyndroom
 - hersensyndroom

beenmergsyndroom

Radiobiologie: vragen

- 17 Na bestraling van het gehele lichaam met een dosis van 5 Sv of meer is er kans op overlijden aan
- beenmergsyndroom
 - darmsyndroom
 - hersensyndroom

darmsyndroom of, bij genezing daarvan, beenmergsyndroom

- 18 Na bestraling van het gehele lichaam met een dosis van 50 Sv of meer overlijdt de mens aan het
- beenmergsyndroom
 - darmsyndroom
 - hersensyndroom

hersensyndroom



8: Risicogetal van stralingschade

Kansgebonden effecten – risicofactor

Risicofactor (detriment) = 5% per sievert

Kwantificatie van het risico voor **fatale** kankers

Niet te gebruiken voor een individueel risico, alleen populatierisico

Afgeleid uit epidemiologisch onderzoek onder de overlevenden van de atoombommen op Hiroshima en Nagasaki;





Risico stralingschade in perspectief

beroepsrisico $> 1 \times 10^{-3}$ is **onaanvaardbaar**

beroepsrisico $< 1 \times 10^{-5}$ is **aanvaardbaar**

werkzaamheden

overlijdenskans / jaar

Gezondheidsraad

Lichte industrie

2×10^{-5}

Zware industrie

4×10^{-5}

Bouw

1×10^{-4}

Wegtransport

$1,7 \times 10^{-4}$

radiologisch werk (20 mSv per jaar) 1×10^{-3} hoog risico

(afgeleid van 5% per Sv)

natuurlijke straling (2 mSv per jaar) 1×10^{-4}

sigaretten (10 stuks per dag) 2×10^{-3}

1 sigaret $\triangleq 10\mu\text{Sv}$





Jaardosis verschillende beroepsgroepen

beroepsrisico $> 1 \times 10^{-3}$ is onaanvaardbaar

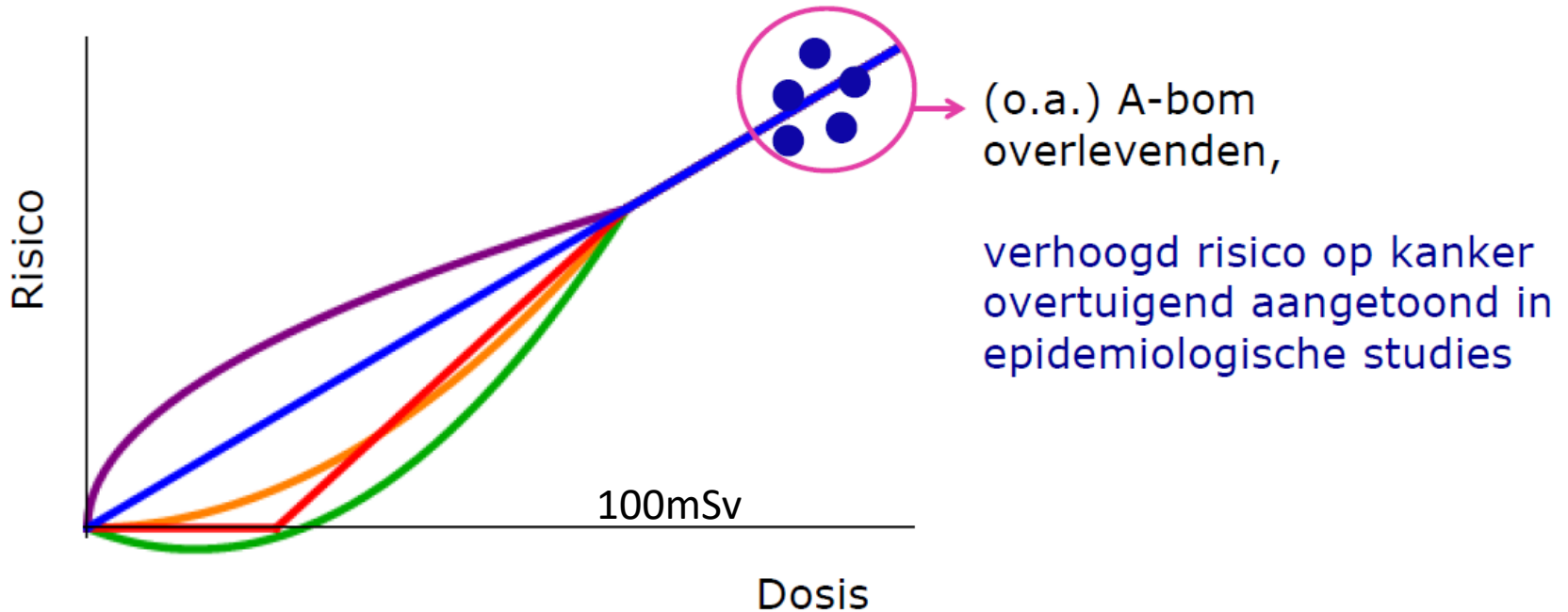
beroepsrisico $< 1 \times 10^{-5}$ is aanvaardbaar

Beroepsgroep	Jaardosis
Medische sector	0,54 mSv
Nucleaire sector	0,25 mSv
Industriële sector	0,46 mSv
Luchtvaartsector	1,88 mSv
Overige sectoren	0,38 mSv
Gemiddeld	1 mSv

Risico: $1 \times 10^{-3} \text{ Sv} \times 5 \times 10^{-2} \text{ kans} = 5 \times 10^{-5} \Rightarrow$ risico aanvaardbaar

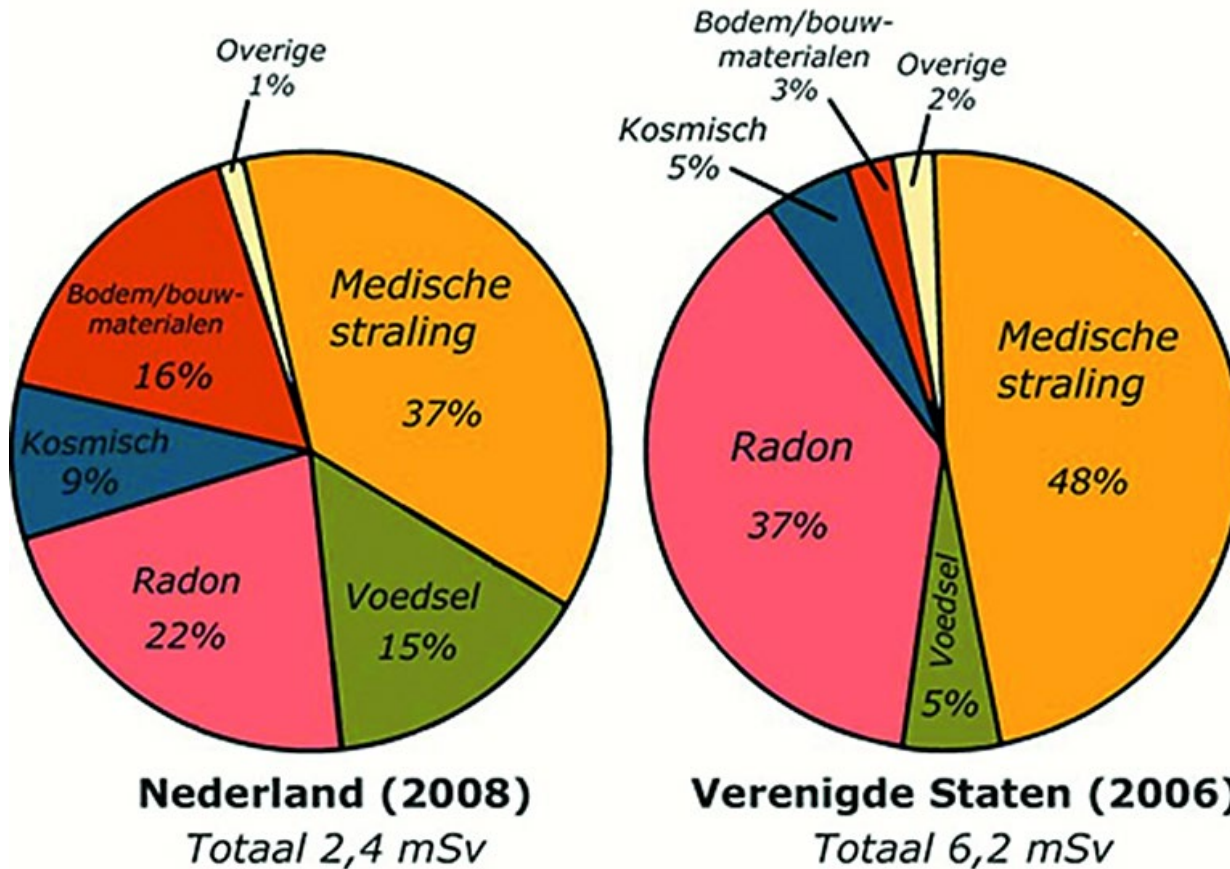


Risico bij lage dosis onduidelijk

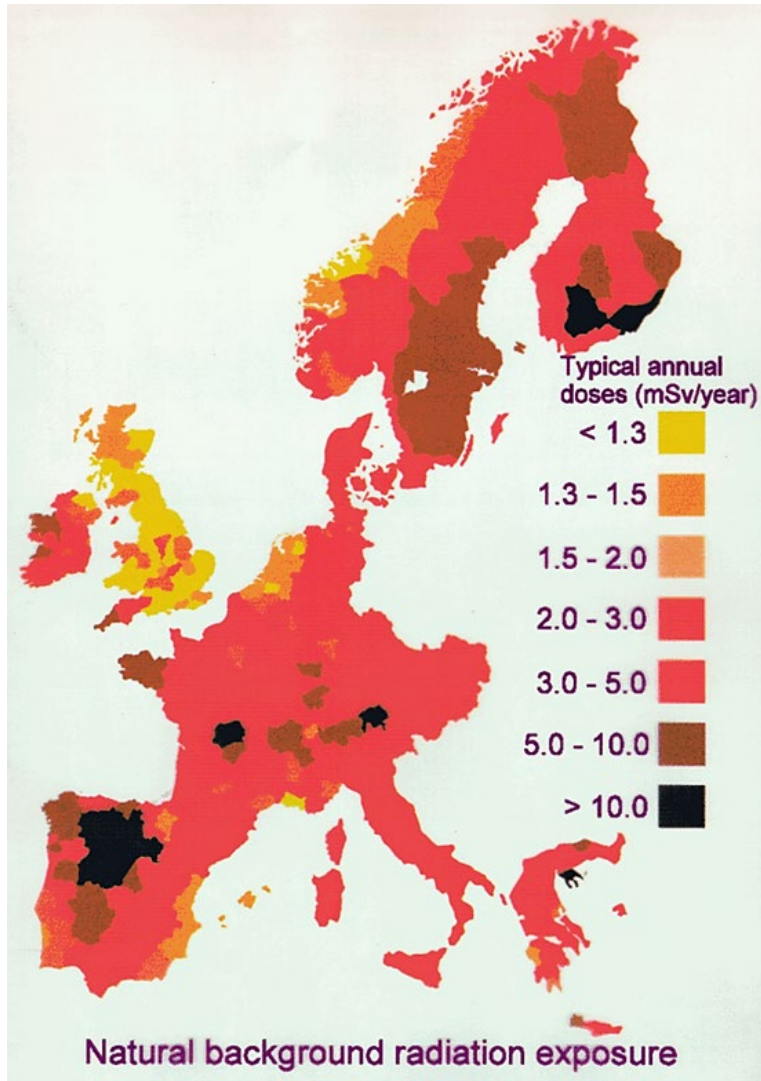


Lage doses (beneden 50-100 mSv): risico onduidelijk

Stralingstaart



Natuurlijke achtergrondstraling



De **natuurlijke achtergrondstraling**

niveaus zijn erg gevarieerd.

Wereldwijd is de gemiddelde jaardosis 2.4 mSv.

De hoogste natuurlijke achtergrondstraling waarden zijn gemeten in:

Ramsar (India): 260 mSv/jaar.

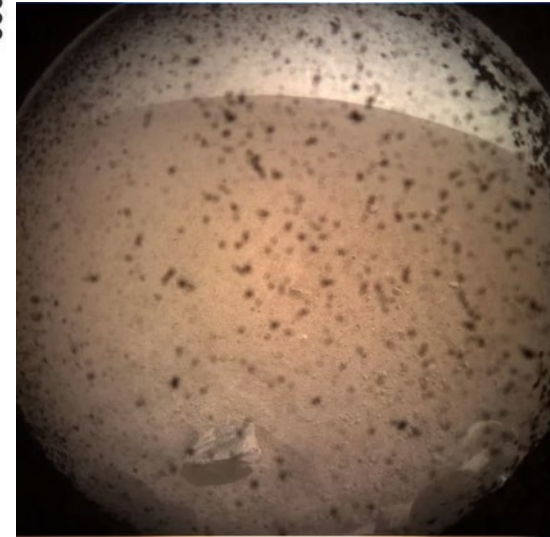
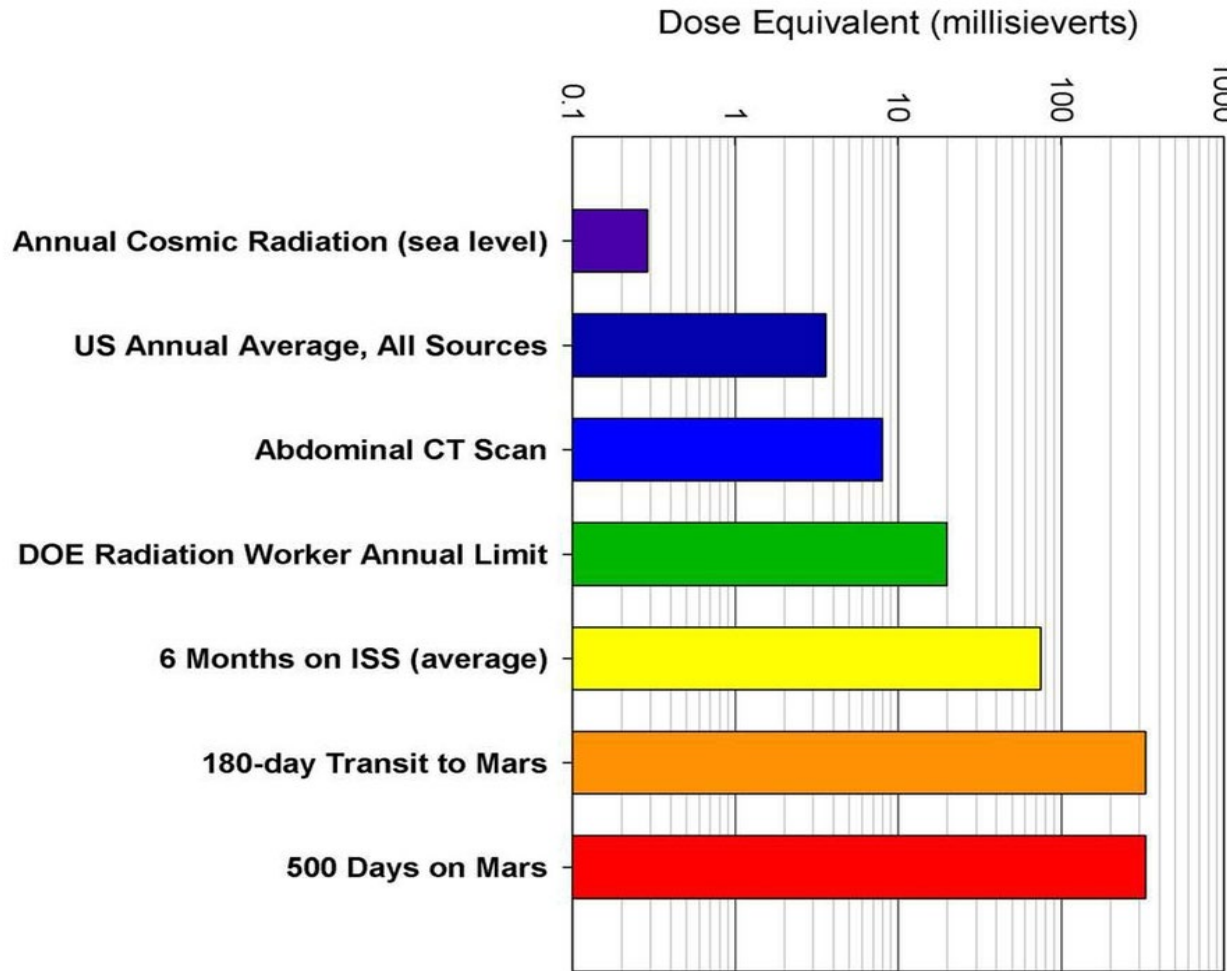
Guarapari (Brazilië): 70 mSv/jaar

Karunagappaly (India): 15 mSv/jaar

<http://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/radiation-and-health/naturally-occurring-radioactive-materials-norm.aspx>



rijksuniversiteit
groningen



InSight, MARS, 26-11-2018

Comparison of radiation doses - includes doses detected on the trip from Earth to Mars
 by the RAD on the MSL (2011 - 2013)

NASA/JPL-Caltech/SwRI - <http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA17601.jpg>



rijksuniversiteit
 groningen

Lethale dosis

Mens:

Bij totale lichaamsbestraling ($W_T = 1$) van
3-5 Gy ineens overlijdt 50 % van de personen
10 Gy: 100 %



Approximate lethal doses of radiation for plants and animals UNSCEAR

Indicative dose range (Sv)	Mortality
1 - 10	Mammals and birds
10 - 100	Crustaceans, reptiles amphibians, fish, higher plants
100 - 1 000	Molluscs
1 000 - 10 000	Protozoa, bacteria, moss, lichen, algae, Insects



Risico van straling: vragen

- 1 Wat bedoelt men met: Het risicogetal voor straling bedraagt 0,05 per sievert?

*bij blootstelling van 1000 mensen aan 1 Sv zullen er gemiddeld
 $0,05 \times 1,000 = 50$ overlijden*

- 2 De natuurlijke stralingsbelasting in Nederland bedraagt gemiddeld
 - 2 μ Sv per jaar
 - 20 μ Sv per jaar
 - 2 mSv per jaar
 - 20 mSv per jaar

2 mSv per jaar

Risico van straling: vragen

- 3 De wettelijke dosislimiet voor blootgestelde werknemers bedraagt
- 2 μSv per jaar
 - 20 μSv per jaar
 - 2 mSv per jaar
 - 20 mSv per jaar

20 mSv per jaar

- 4 Bij een vierde-orde-risico zullen van de 1.000.000 werknemers er
- tussen de 1 en 10
 - tussen de 10 en 100
 - tussen de 100 en 1000
 - meer dan 1000
- mensen per jaar als gevolg van hun werkzaamheden overlijden

tussen de 10 en 100

Risico van straling: vragen

- 5 Regelmatige blootstelling aan de wettelijke limiet van 20 mSv per jaar brengt een relatief hoog of een relatief laag beroepsrisico met zich mee?

relatief (zeer) hoog beroepsrisico

- 6 Het risicogetal voor straling bedraagt 0,05 per Sv.
De natuurlijke stralingsbelasting bedraagt 2 mSv per jaar.
De Nederlandse bevolking telt 17 miljoen mensen.
Hoeveel mensen zullen er per jaar omkomen als gevolg van straling?

$$17.000.000 \times 0,002 \times 0,05 = 1.700$$

(per jaar sterven er 32.000 mensen aan kanker!)

Risico van straling: vragen

- 7 Hoe groot is het overlijdensrisico tengevolge van een stochastisch effect na blootstelling aan ioniserende straling?

5% per sievert

Risico van straling

- 8 Wat is er mis met het verhaal bij deze foto en waarom?

het jongetje is minstens 4 jaar en was ten tijde van het ongeval in Tsjernobyl al geboren de misvormingen moeten dus een andere oorzaak hebben

Wit-Rusland blijft lang radioactief besmet

Wit-Rusland heeft nog steeds te maken met een ernstige besmetting door het ongeluk met de kerncentrale in Tsjernobyl in 1986. En de gevolgen zullen de komende twintig jaar nauwelijks minder worden. Dat blijkt uit gegevens van Alexi Okeanog, directeur van het instituut voor medische technologie in Minsk. Hij presenteerde cijfers en kaarten over de besmetting door de gevaarlijk radioactieve

stof cesium op de conferentie van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) in Genève.

Uit de gegevens blijkt dat de radioactieve besmetting tot 2016 nauwelijks zal afnemen. Drieëntwintig procent van Wit-Rusland zal in de visie van Okeanog een ecologisch rampgebied blijven.

Volgens Ivan Kenik, de Tsjernobyl-minister van Wit-Rusland, geeft dit land

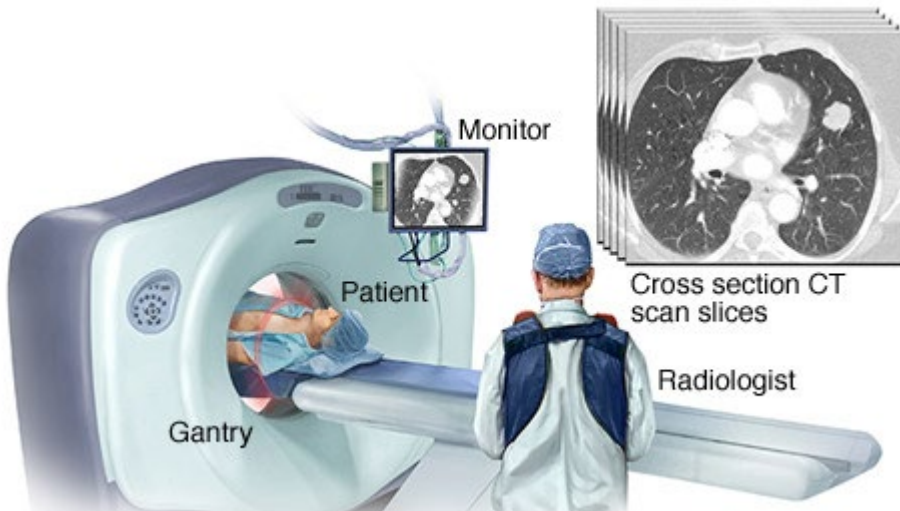
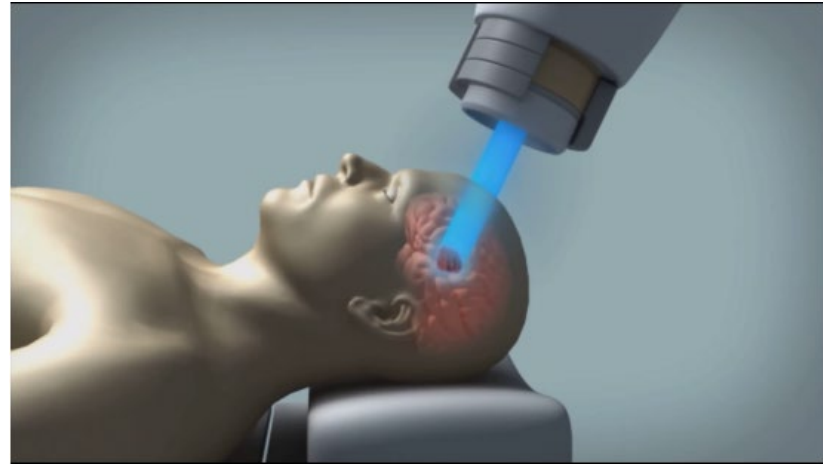


■ Een slachtoffer van Tsjernobyl een jaar na de kernramp. © GPD

veertien procent van zijn begroting uit aan de bestrijding van de gevolgen van de Tsjernobyl-ramp. Daarbij gaat het om de bouw van nieuwe woningen, om gezondheidszorg voor duizenden mensen en om de aankoop van onbesmet voedsel. Kenik schat de kosten over de periode 1986 tot 2015 op 86 miljard dollar, zo'n 140 miljard gulden.

HERMAN DAMVELD

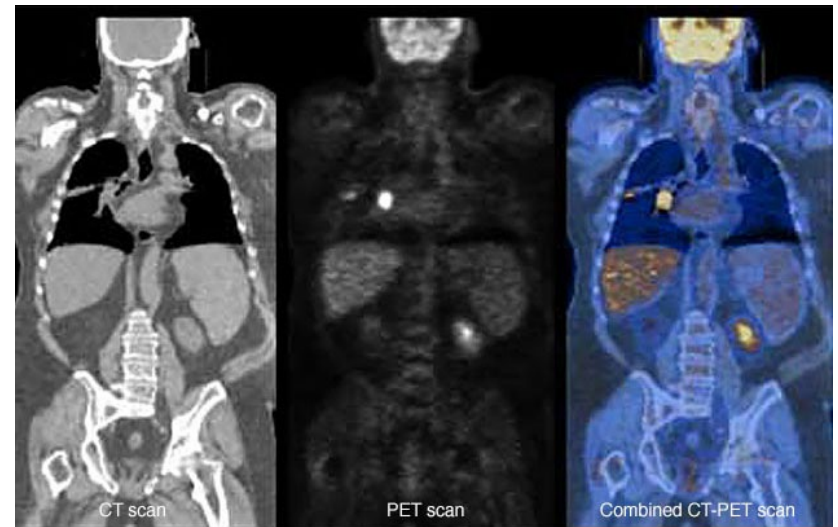
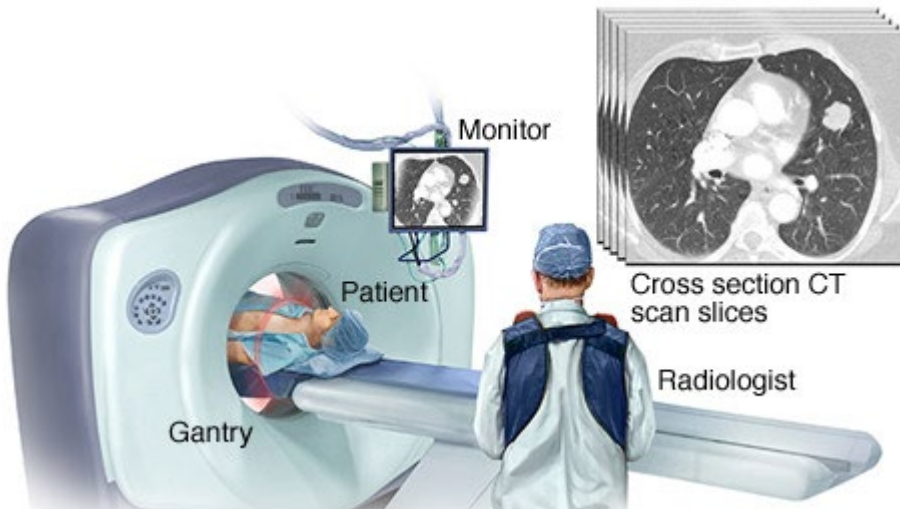
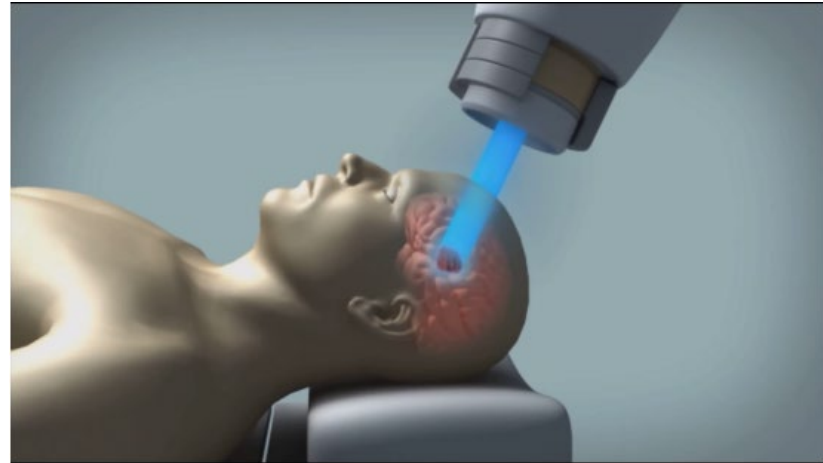
Medische toepassingen



© MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH. ALL RIGHTS RESERVED.

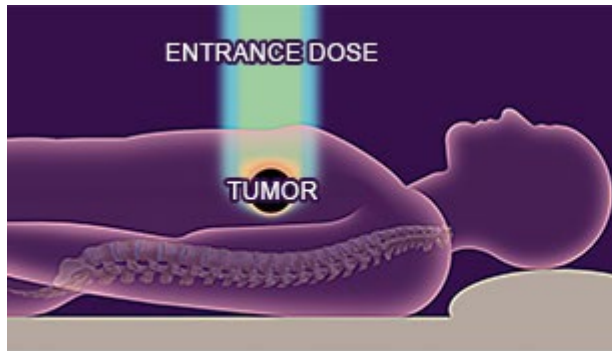
Medische toepassingen

Tumor doden is geen probleem,
patiënt in leven houden is de
uitdaging.....

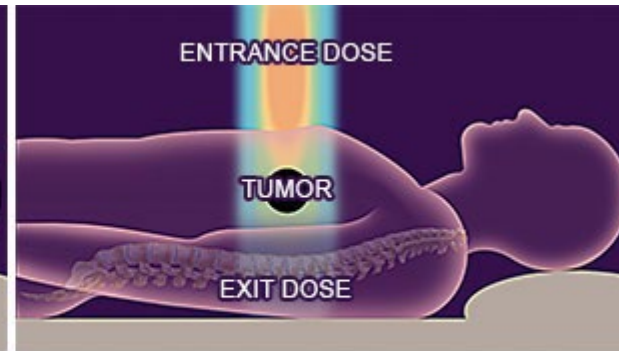


© MAYO FOUNDATION FOR MEDICAL EDUCATION AND RESEARCH. ALL RIGHTS RESERVED.

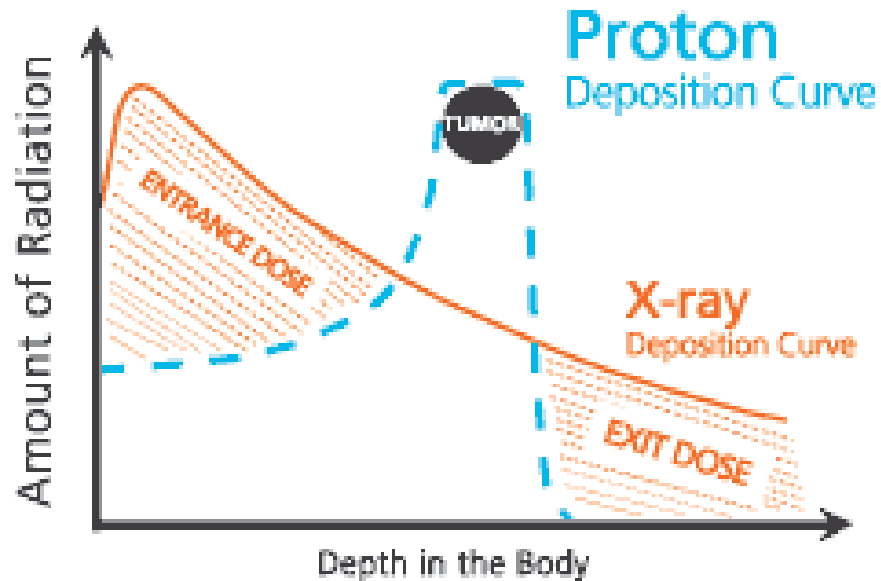
Protonen therapie

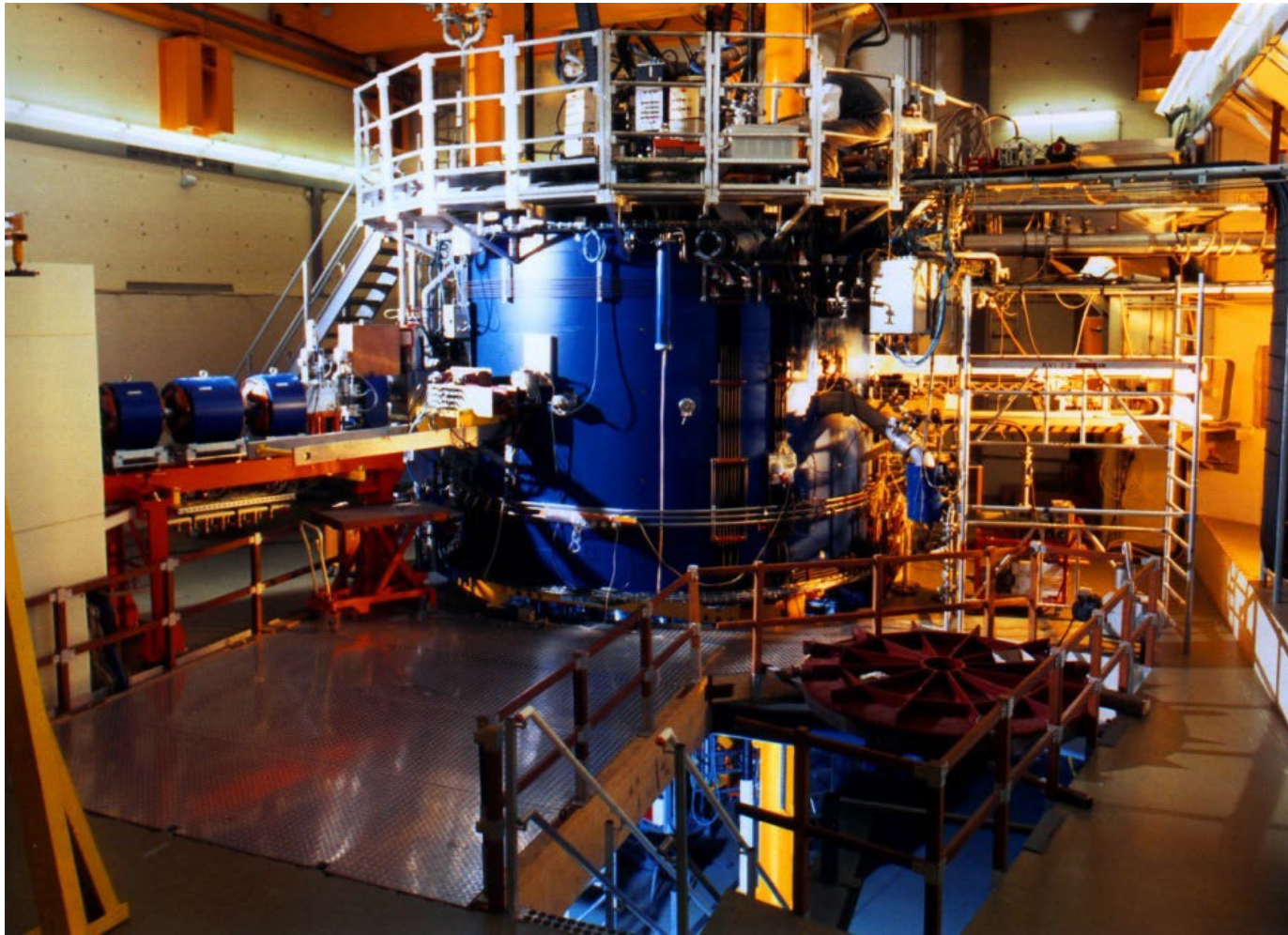


TARGETED PROTON THERAPY:
Deposits most energy on target



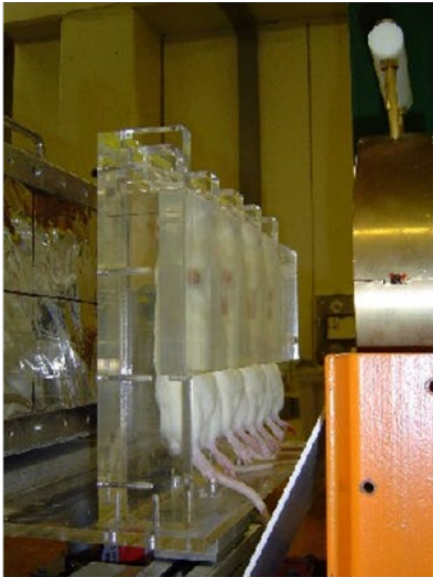
CONVENTIONAL RADIATION THERAPY:
Deposits most energy before target



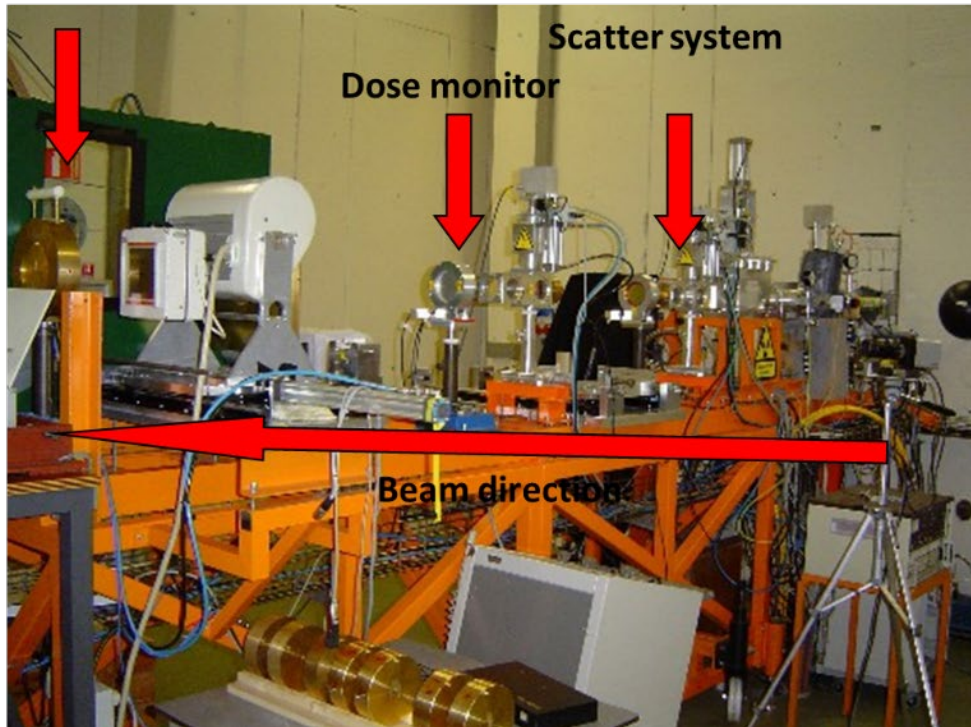


Particle Therapy Research Center (PARTREC)
Experimental Proton therapy: KVI (LZL25)

PROTON IRRADIATION SETUP



Rats hanging in setup



Dose monitor Scatter system

Beam direction

Onderwerpen:

Radiobiologie

- Ionisatie
- DNA schade
- Gevoeligheid cellen
- Kansgebonden effect
- Schadelijke weefselreacties
- Effect op ongebooren kind
- Risicogetal

FOKKE & SUKKE
HEBBEN EEN NIEUWE ONDERWIJSMETHODE ONTDEKT

ZÓ HEE!!

**DAT "LEREN"
DAT WERKT
ECHT GOED!!!**

