

Cursus stralingsprotectie

Module C. Medische Gevolgen:

- Celbiologie
- Stralingsbiologie
- Medische gevolgen

Annelies Maes, 3 februari 2015.

1895

Wilhelm Conrad

Röntgen



Fig. 1: Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923): Röntgen's wichtige Entdeckung, *Illustrierte Zeitung*, 1896, 2743 : 105-106. Courtesy of P. Dubois M.D. (Bierges).

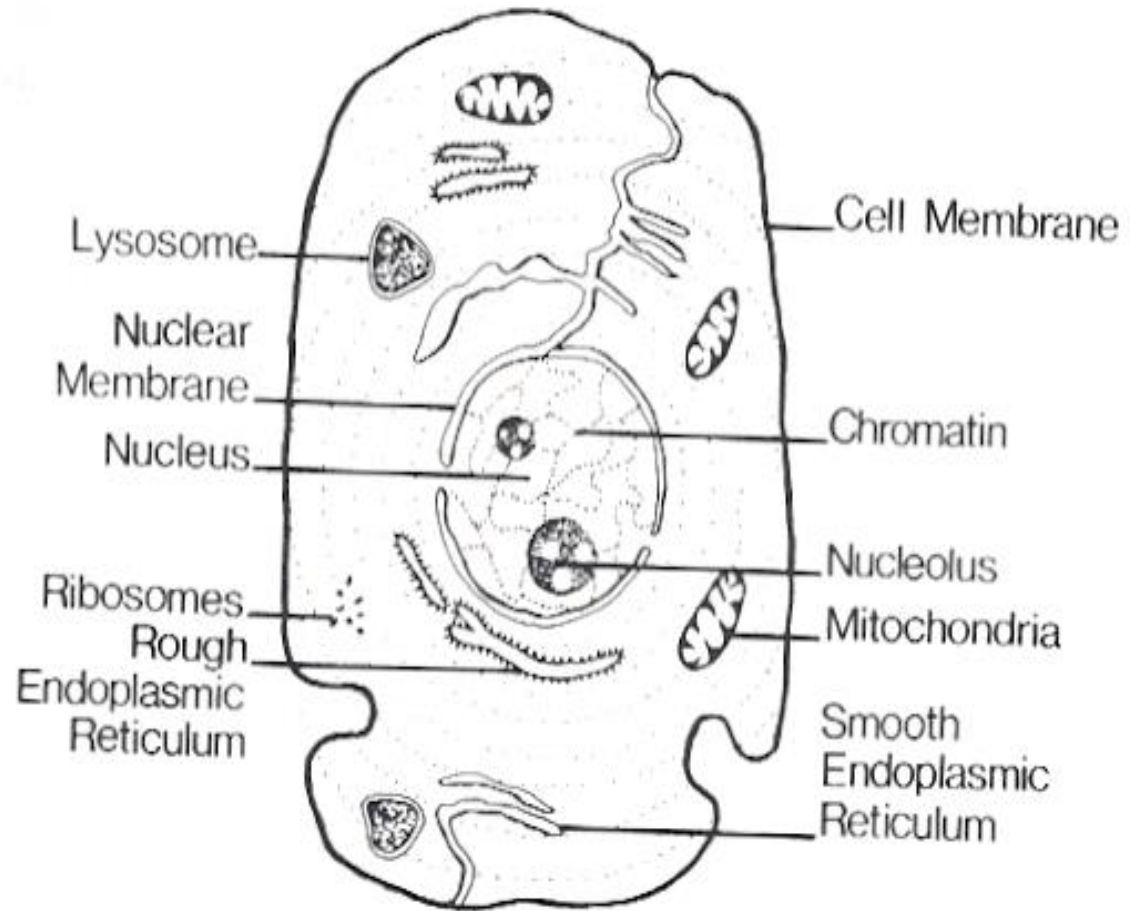




1. Celbiologie

De cel:

Review of Cell Biology



Bouwstoffen van de cel:

type	voorbeeld	functie
Eiwitten	Insuline Albumine Hemoglobine enzymes	Basisbouwstenen van weefstels en cellen
Koolhydraten	Sucrose, lactose, glycogeen	Levert energie voor de celfuncties
Vetten	Cholesterol, steroiden	Diverse functies, o.a. energie stapelen, protectie bieden
nucleïnezuren	DNA, RNA	Overdracht genetische informatie

Cellulaire organellen:

celmembraan	Controleert uitwisselingen tussen cel en zijn omgeving
Endoplasmatisch reticulum	Verschillende functies, o.a. eiwitsynthese
Ribosomen	eiwitsynthese
Mitochondria	Energieproductie door oxydatie vetten en suikers
lysosomen	Bevat enzymen die de cel kunnen afbreken
golgicomplex	o.a. Productie suikers
nucleolus	Bevat RNA
kernmembraan	Controleert uitwisseling tussen cel en zijn kern
kern of nucleus	Bevat het genetisch materiaal: DNA

Groei

Tot volwassenheid

Daarna vernieuwing

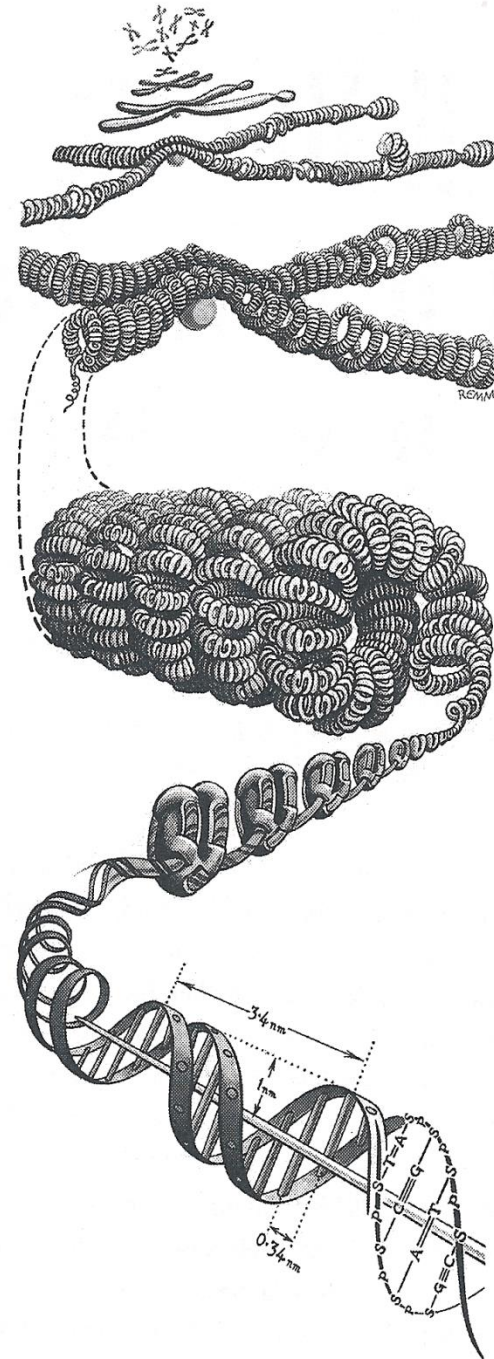
Vernieuwing door **celdeling: mitose**

Cel:

46 chromosomen

- 22 paar autosomen

- 2 sex chromosomen: **XX of XY**



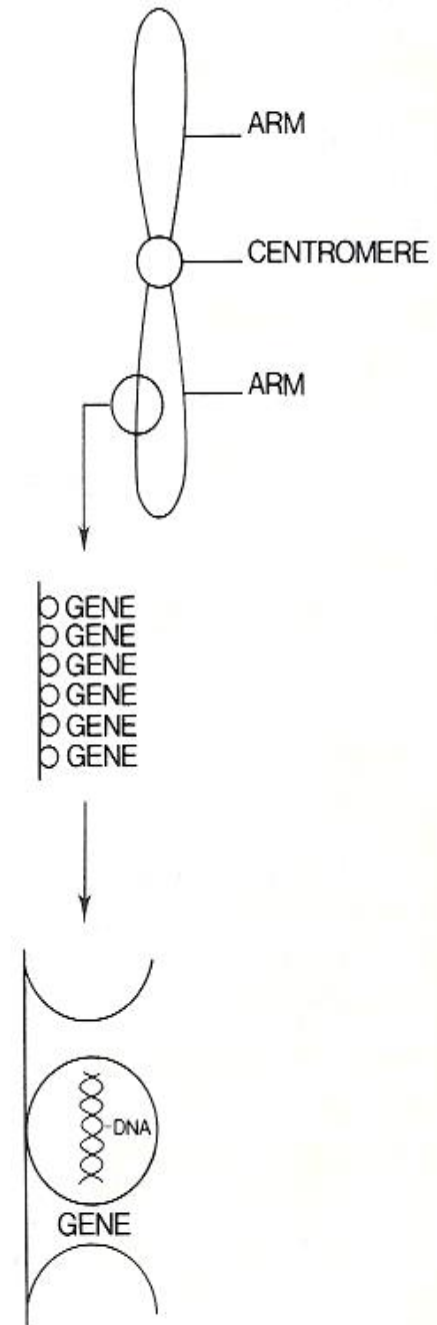
Chromosomen:

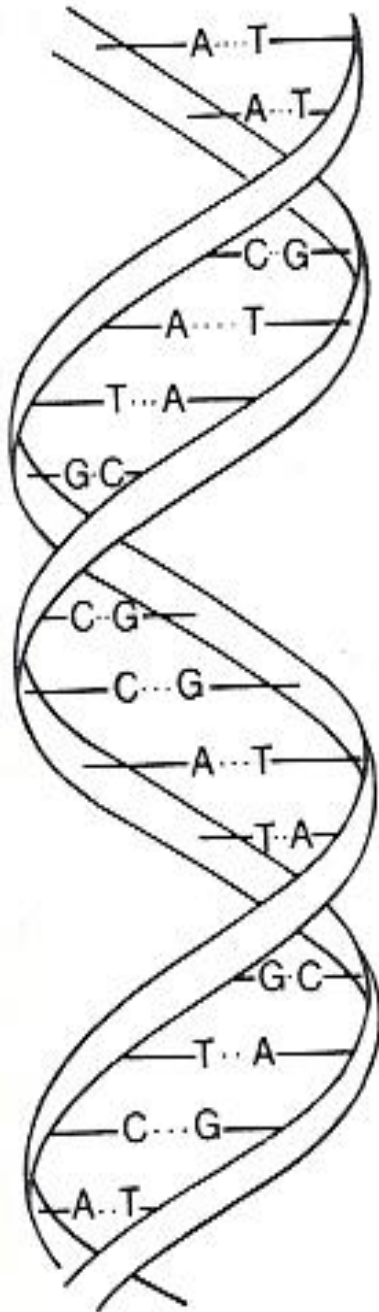
2 armen, centraal het centromeer

Elke arm =

aaneenschakeling van genen,
opgebouwd uit DNA

Gen = stukje van de DNA keten
dat de code bevat voor de
**productie van een welbepaald
eiwit**





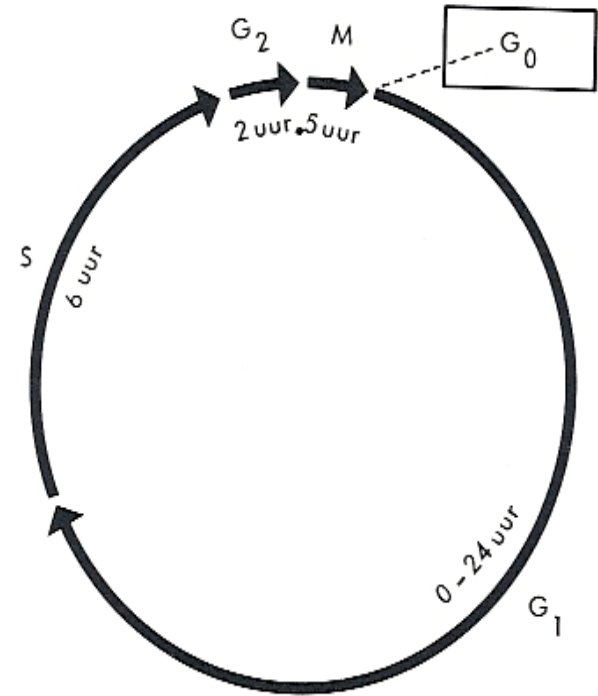
DNA = deoxyribonucleïnezuur

De DNA keten: dubbele helicale structuur, opgebouwd uit adenine, thymine, guanine en cytosine baseparen

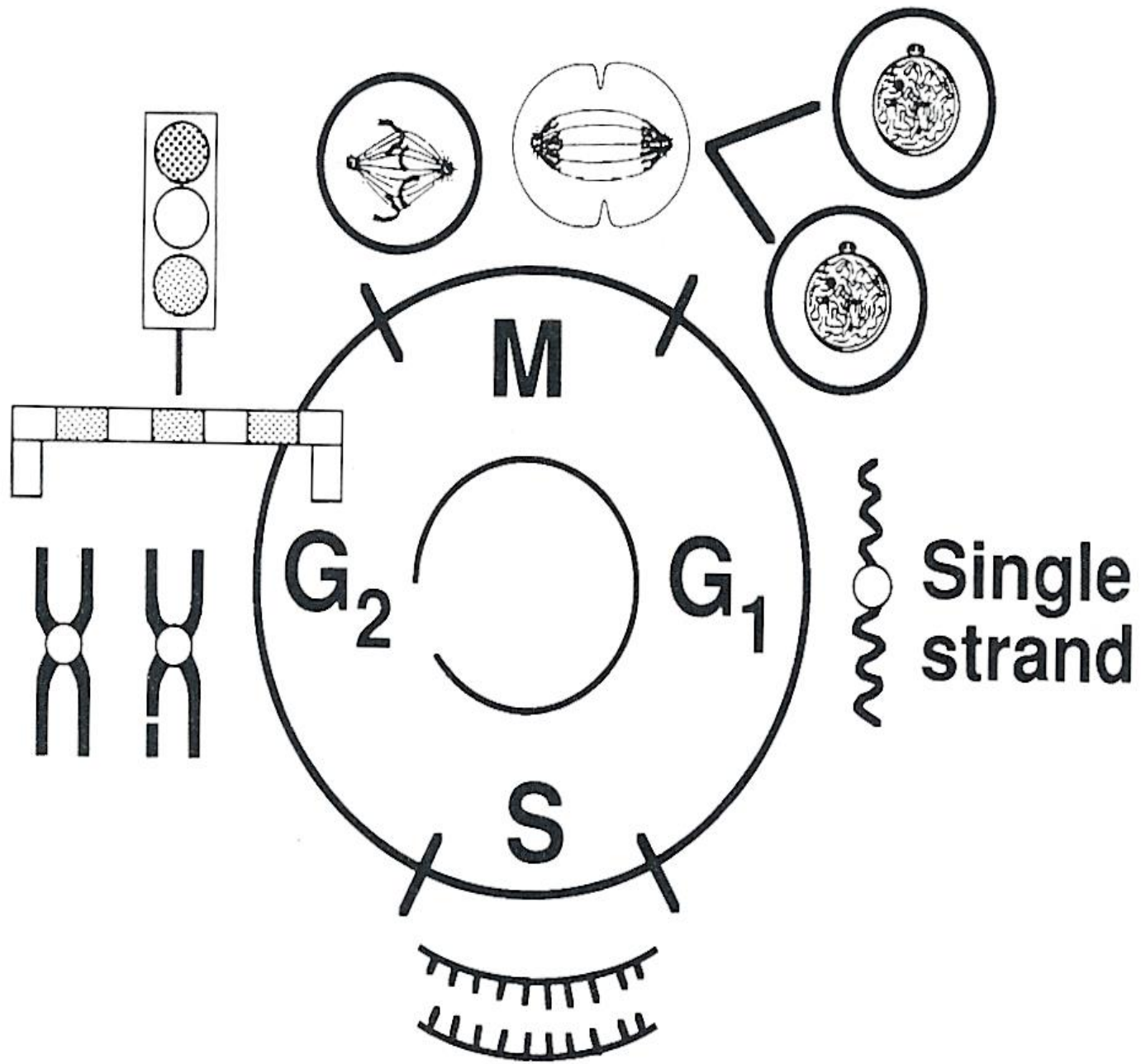
De 4 types basen zijn gegroepeerd per 3:
Elke combinatie van 3 bevat de genetische code voor een welbepaald aminozuur: **codon**

Verschillende codons vormen een **gen**:
code voor welbepaald eiwit (= keten van aminozuren)

De Celcyclus:

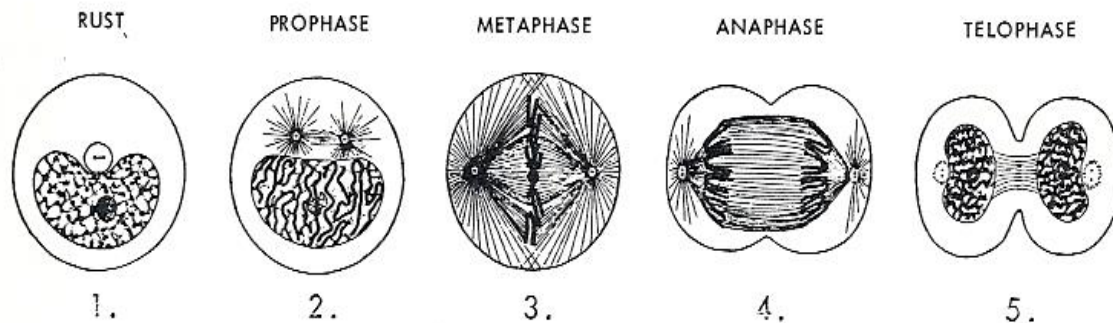


- G_0 : fase van een cel die gedurende lange tijd niet aan de celdeling deelneemt
- G_1 : “presynthetische gap”: relatieve rust
- S-fase: DNA synthese
- G_2 -fase: “postsynthetische gap”: interval tussen synthese en mitose
- M-fase= Mitose



Mitose

- **Rustende cel**
- **Prophase:** verdwijnen kernmembraan, kernmateriaal condenseert tot chromosomen, vorming poollichaampjes
- **Metaphase:** rangschikking chromosomen in equatoriaal vlak; chromosomen splitsen zich in de lengte en vormen zo 2 identieke chromosomen
- **Anaphase:** chromosomen in 2 groepen uiteen getrokken
- **Telophase:** 2 nieuwe kernen worden gevormd na scheiding cytoplasma met ontstaan van 2 dochtercellen



2. Stralings- biologie

Straling: fysieke aspecten

Electromagnetisch
(fotonen)

X-stralen
 γ - stralen

Corpusculair
(deeltjes)

electronen
neutronen
protonen

Electromagnetische straling

- golven of quanta (**fotonen**): licht : kleine energiepakketjes
- Lichtsnelheid 3×10^8 m/sec
- hoog energetische EMS → **ioniserend**

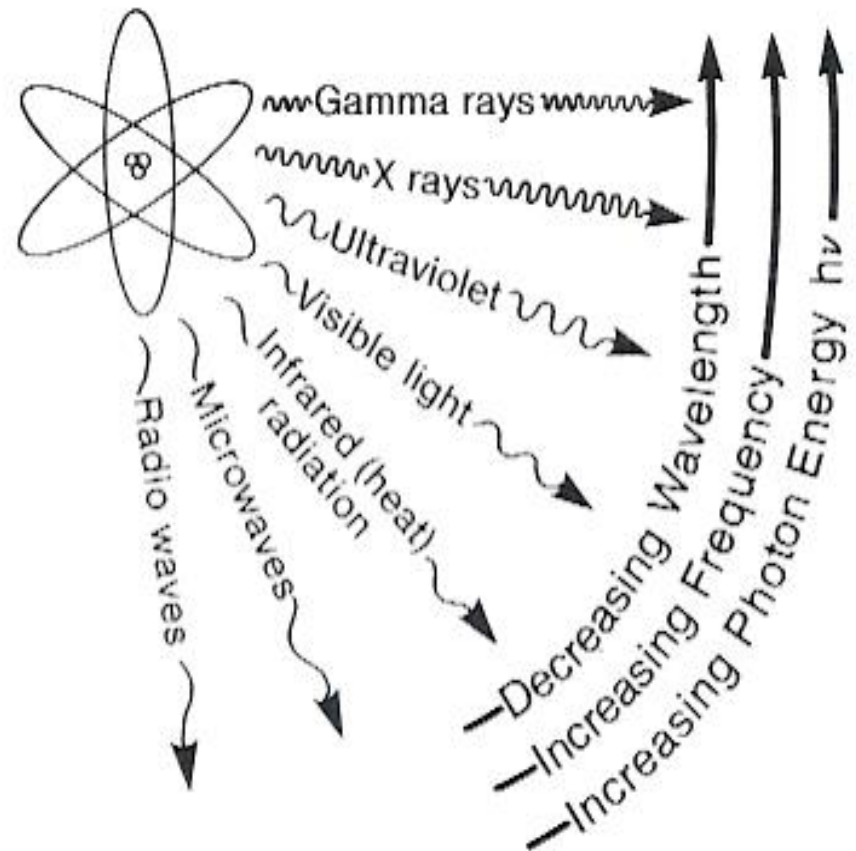
X-straling

electrisch opgewekt in roentgenbuis of lineaire versneller

γ -straling

uitgestraald door radioactieve isotopen, vb Cobalt

Het spectrum van elektromagnetische straling:



Kortere golflengte > hogere frequentie > hogere fotonenergie

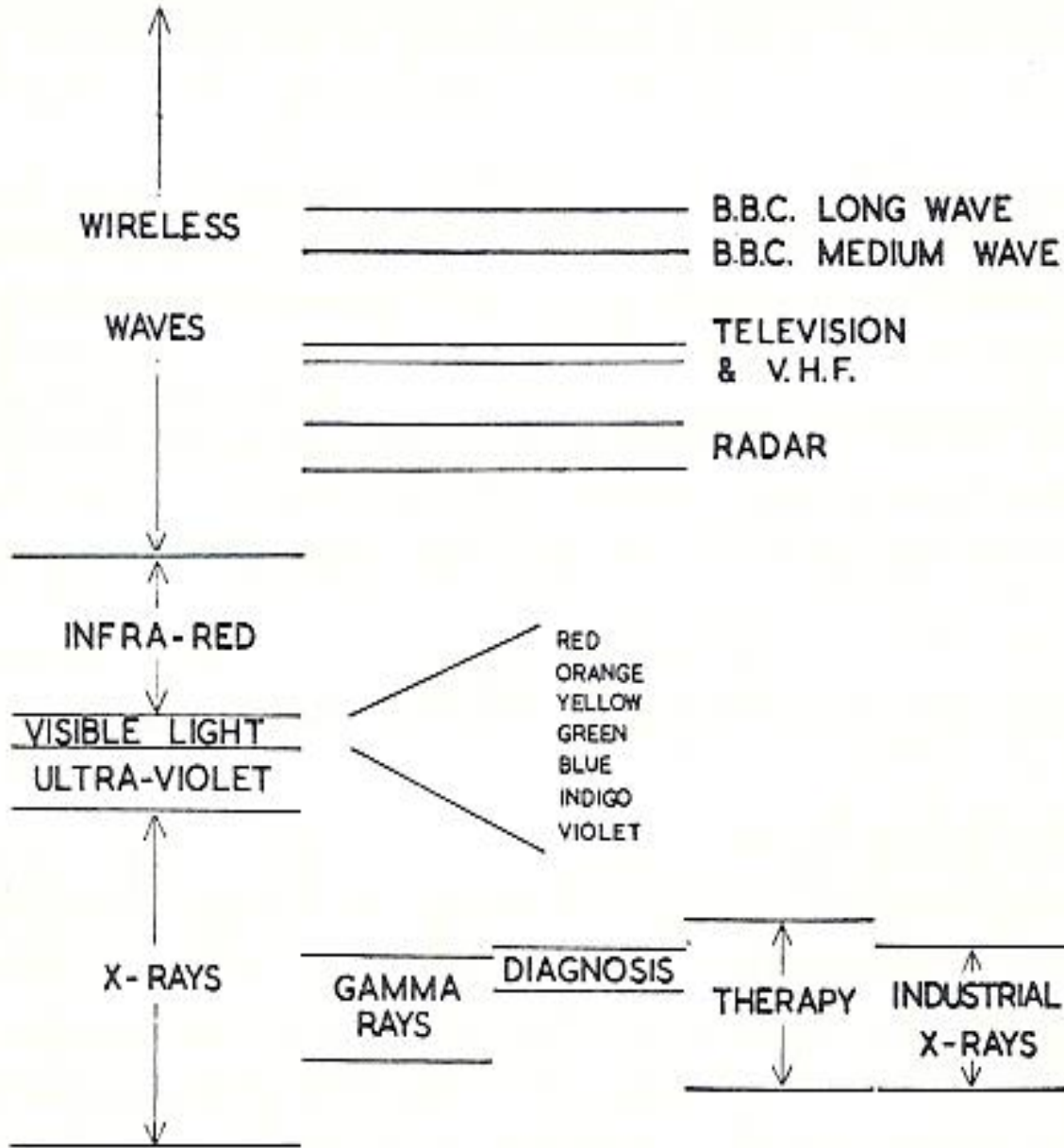


Fig. 4.2. The electromagnetic spectrum of waves and wave-lengths.

Corpusculaire of deeltjesstraling

- **Electronen:** kleine negatief geladen deeltjes (beta-straling)
- Neutronen: niet geladen, even zwaar als proton
- Protonen: grotere en zwaardere positief geladen deeltjes
- Geladen ionen: geladen atoomkernen
- Alfa deeltjes: grote positief geladen deeltjesn mn. de kernen van helium- atomen, bestaande uit 2 protonen en 2 neutronen



Alpha

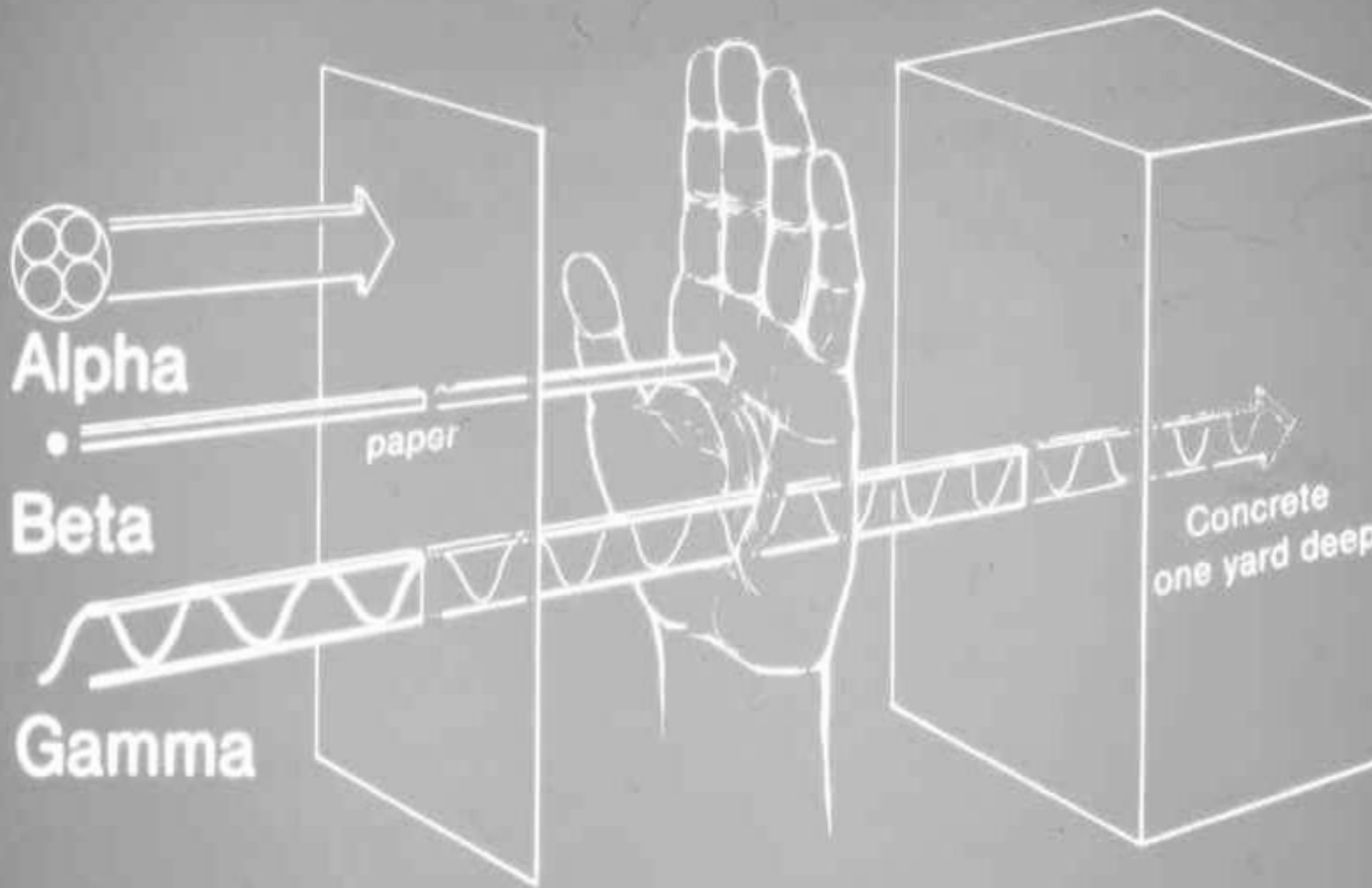


Beta

Gamma

paper

Concrete
one yard deep



Klinische praktijk radiotherapie

- **Meestal hoge energie fotonen**
(elektromagnetische straling)
- **Elektronen voor oppervlakkige letsels**
- (Protonen, geladen ionen): zeer klein aantal centra, in België nog niet beschikbaar, zeer duur, weinig indicaties

Gray (Gy) = eenheid van radiotherapie

- **1 Gray = 1 Joule geabsorbeerde energie per kilogram weefsel**
- **1 Gy = 100 Rad**

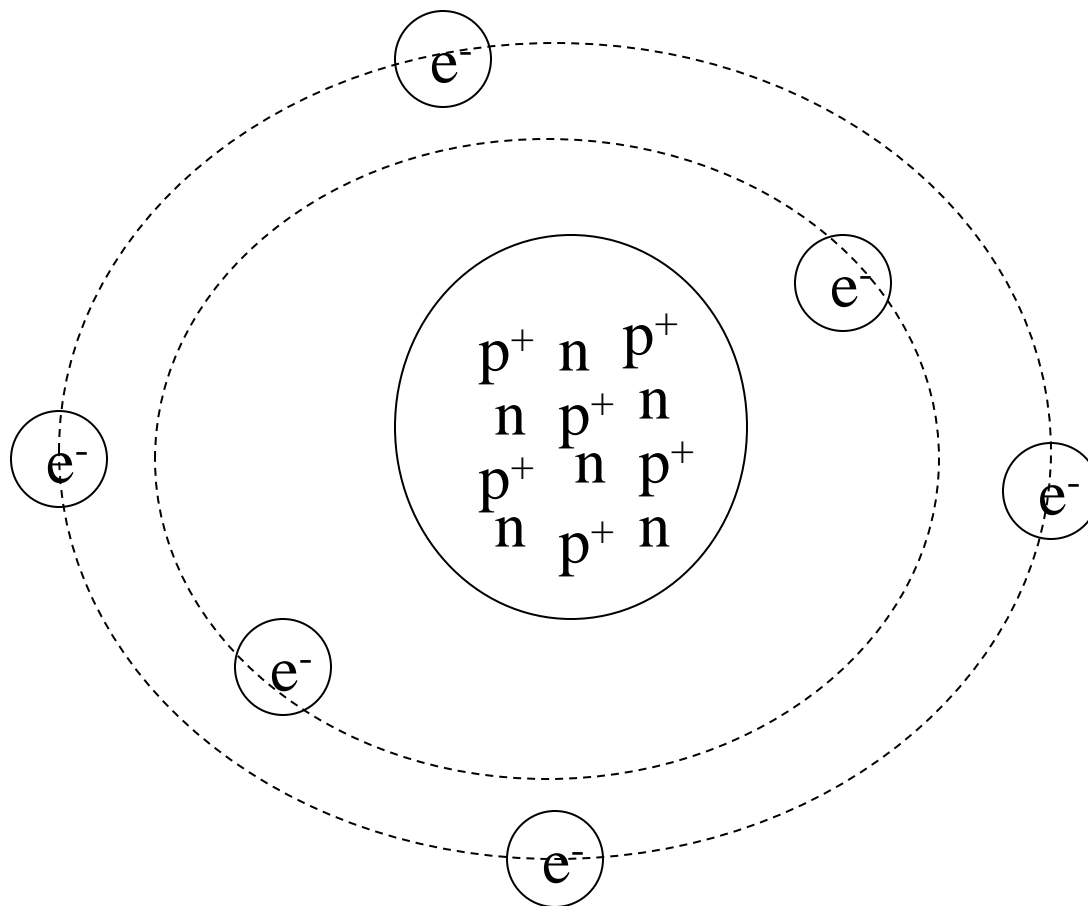
Het is de **geabsorbeerde energie** die klinisch van belang is.

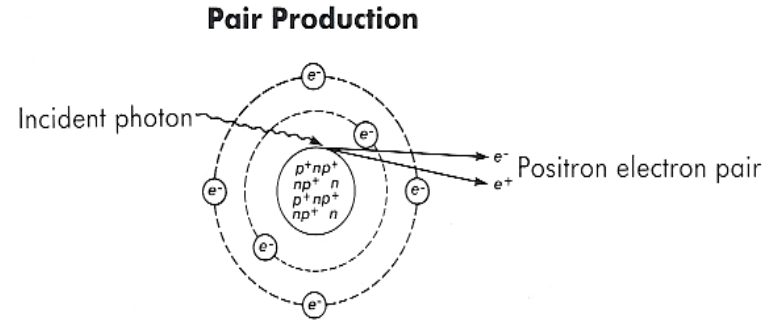
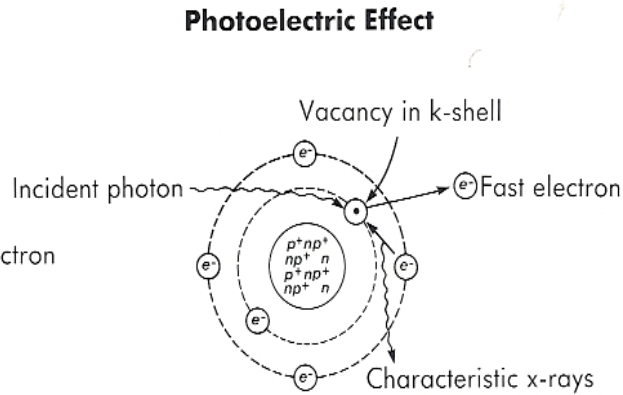
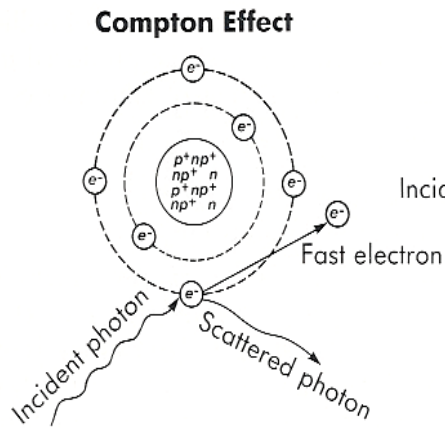
Ioniserende straling :

- De fotonen en elektronen **zetten in het weefsel energie af**: de absorptie van deze energie leidt tot **excitatie**s en **ionisatie**s. Op deze manier veroorzaken ze biologische effecten.
- **Excitatie**: elektron in een atoom wordt naar een hoger niveau gebracht
- **Ionisatie**: als de straling genoeg energie neerzet wordt het elektron uit het atoom losgerukt: er ontstaan **geladen deeltjes**

-Atoomkern: met protonen (+) en neutronen
-in banen rond de kern de elektronen (-)

atoom





- Er worden **geladen deeltjes** opgewekt:
- **Ionen**: atomen die elektrisch geladen zijn omdat ze een elektron verloren hebben
- **Vrije radicalen**: bevat een ongepaard elektron op de buitenste schil

Biologische veranderingen:

Straling

↓ energie-absorptie

fysische fase: ad random **ionisaties**, voornamelijk in watermolecules (80% van de cel bestaat uit water)

↓

generatie vrije radicalen, vb zuurstof -en hydroxylradicalen

↓ vrije radicalen binden aan DNA

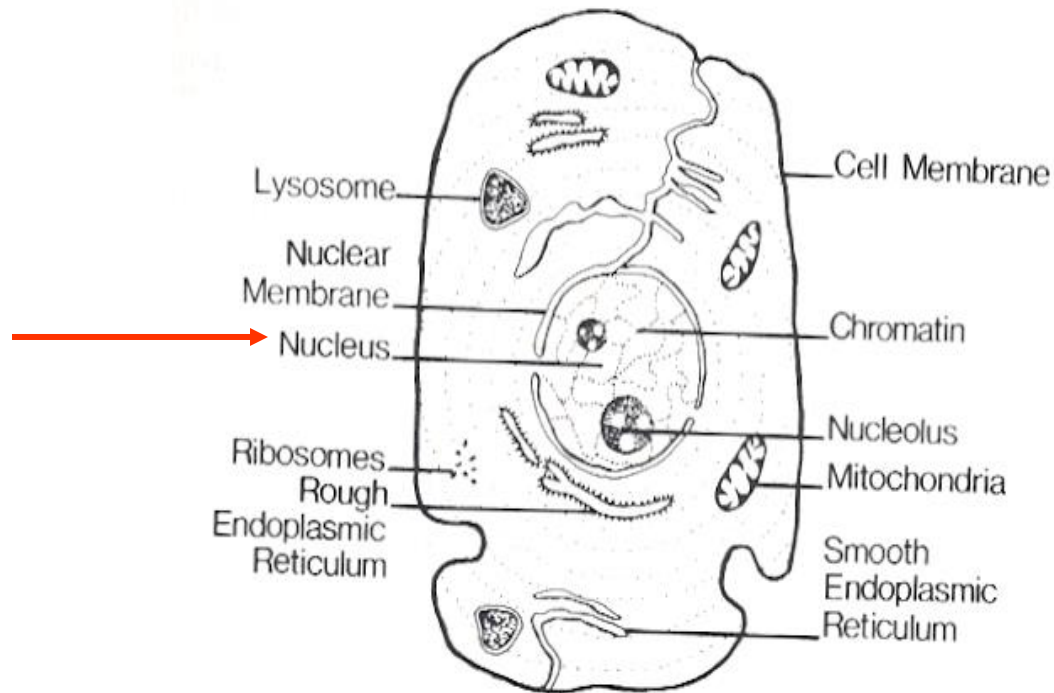
chemische fase: chemische verbindingen worden doorbroken, herstelbare en niet herstelbare schade

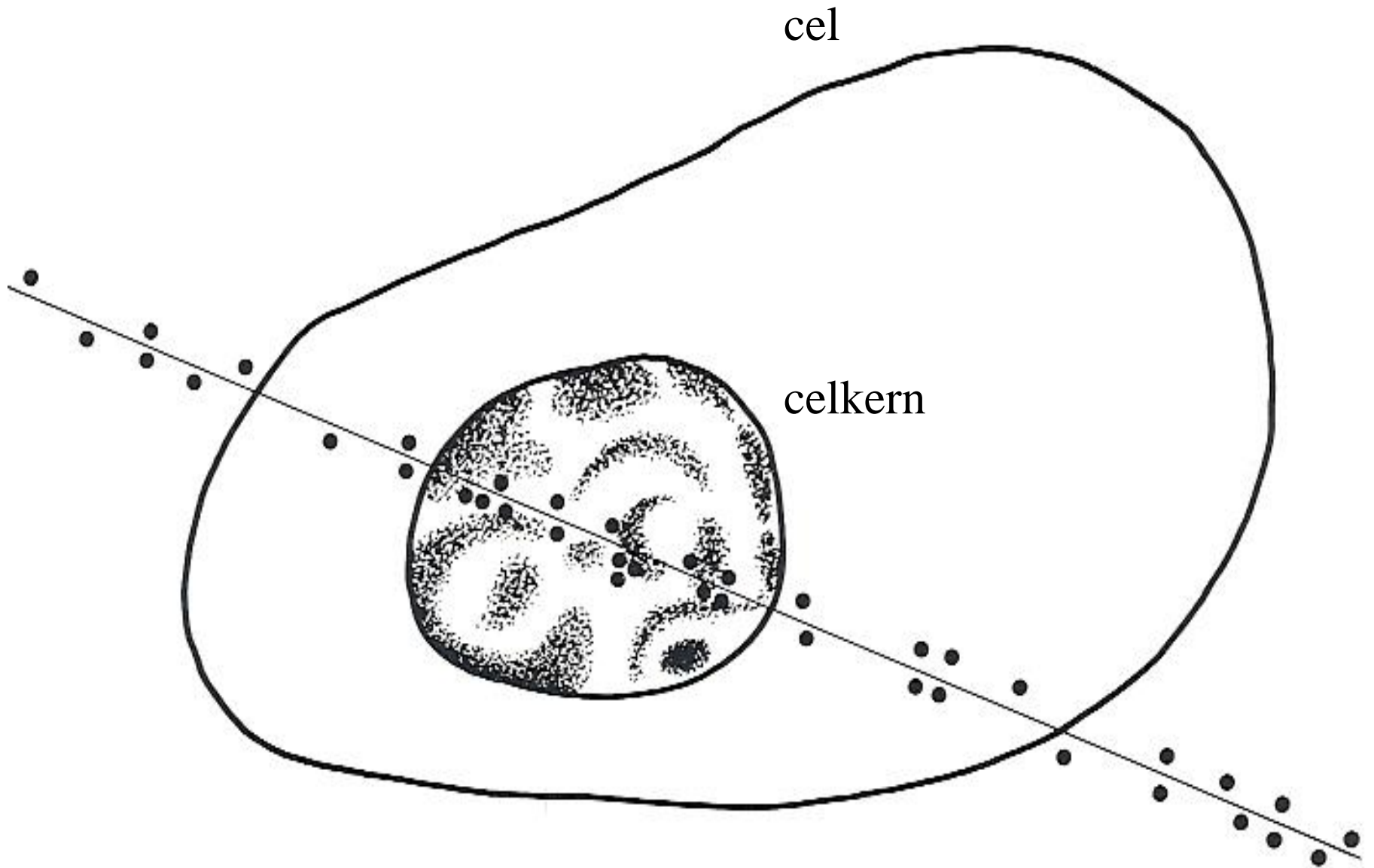
↓

biologische fase: biologisch effect

Voornaamste effect van ioniserende straling thv de **celkern of nucleus**

Review of Cell Biology

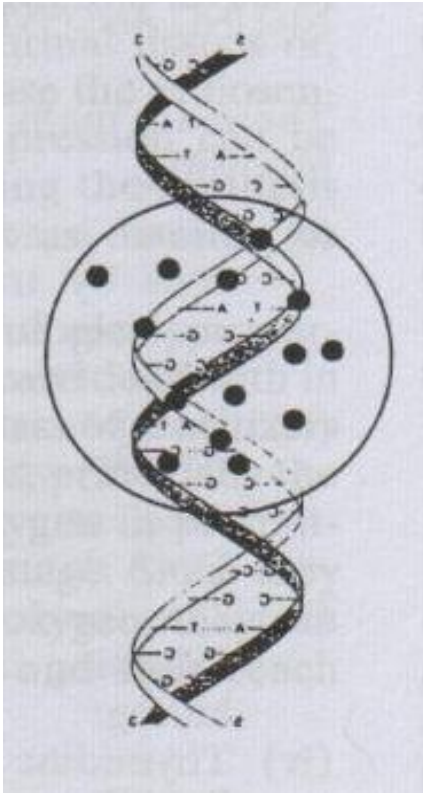




cel

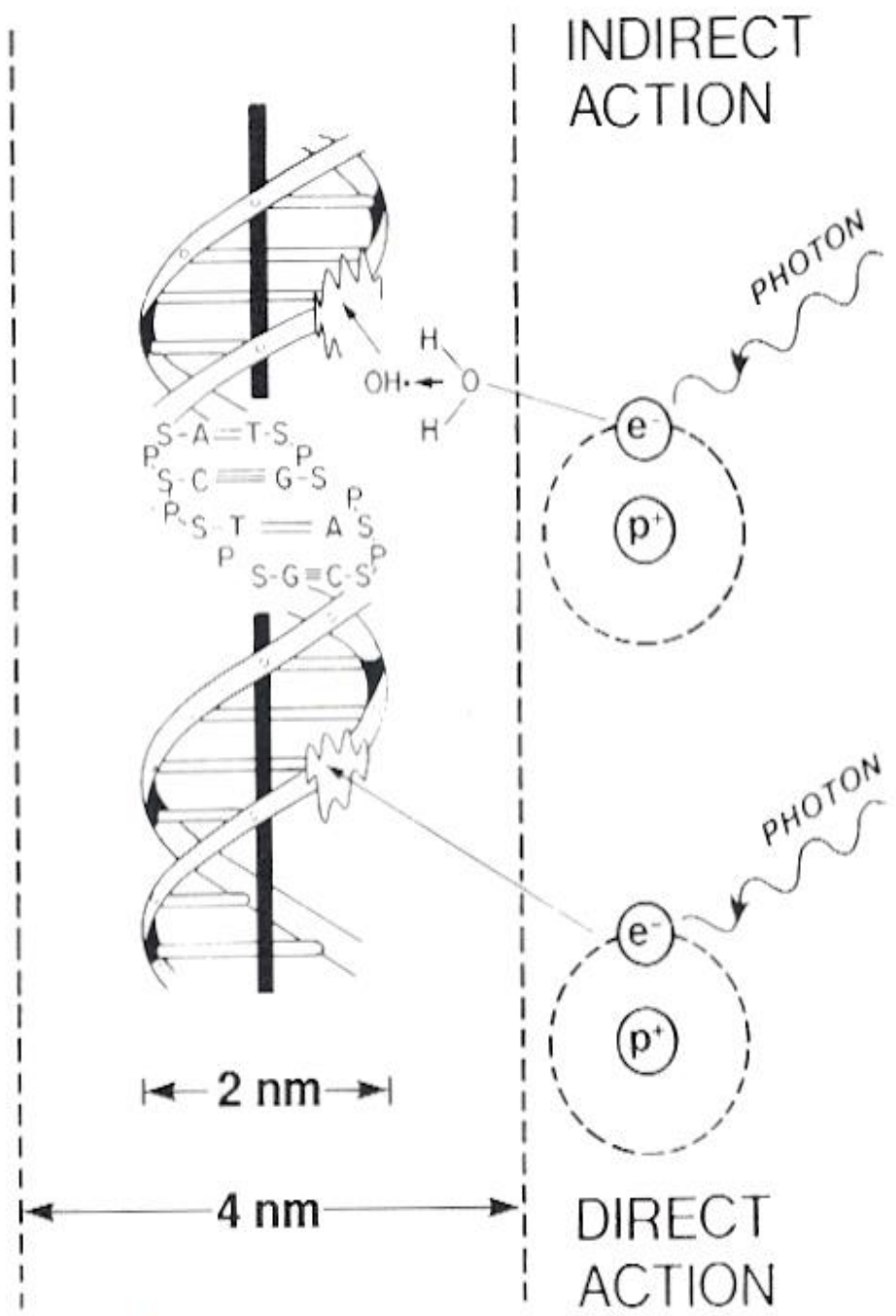
celkern

DNA in celkern = meest kritische doelwit voor ioniserende straling



Ioniserende straling:

- generatie vrije radicalen
- binden aan het DNA, scheikundige processen
- ontstaan van **breuken in DNA keten**
- **cel kan nog 1 tot enkele keren delen maar dan valt de celdeling stil**
- cel sterft af op moment dat ze zich wil delen



breuk in de H₂-verbinding

dubbelstrengsbreuk

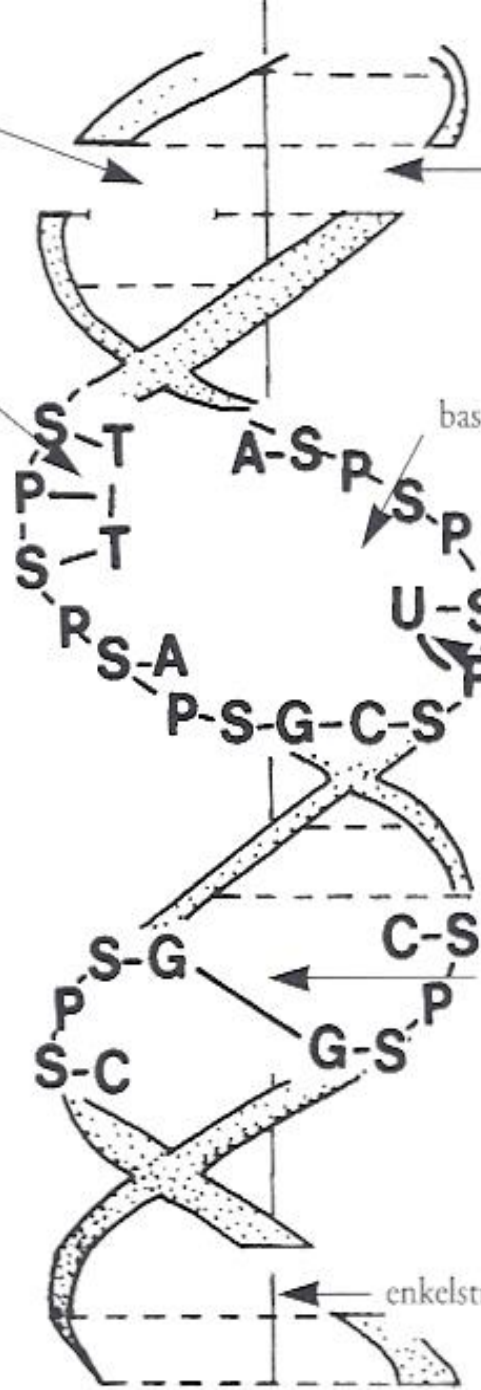
pyrimidine dimeer

base-verlies

base-wijziging

dwarsverbinding

enkelstrengsbreuk



afsterven van cellen door bestraling:

- **reproductieve celdood**: cel sterft pas af wanneer ze probeert zich te delen:
uren-dagen-jaren !
= belangrijkste vorm van schade bij RT
- **apoptose**: geprogrammeerde celdood)
vb lymfocyten, lymfomen
enkele uren na de bestraling
(slechts ongeveer 5% van de celdood bij RT)

inflammatoire cascade:

- Naast celdood ook activatie van genen die instaan voor een **inflammatoire cascade**:
 - Productie van **cytokines** vb interleukine 1,6,10, Tumor Necrosis Factor α (TNF- α)
 - Ontstaan van **algemene malaise**, anorexie, misselijkheid, vermoeidheid,...: “stralenkater”
 - Spelen een rol in het ontstaan van **secundaire anemie** bij bestraling van grote delen van het lichaam door een verminderde productie en gevoeligheid voor erythropoëtine

Biologische effecten van RT: de 4 R's van de radiobiologie

- REPAIR (herstel sublethale DNA-schade)
- REOXYGENATIE
- REPOPULATIE
- REDISTRIBUTIE in de celcyclus

1. Repair

- **Herstel van DNA schade tussen opeenvolgende bestralings sessies**
 - 1 fractie van 8 Gy meer schade dan 2 fracties van 4 Gy met 24 uur interval!
- Normale cellen: betere herstelmechanismen dan tumorcellen, minder gevoelig voor bestraling
- **Door fractionatie worden gezonde weefsels dus gespaard**

RT \Rightarrow breuken in DNA keten:

DNA-herstelmechanismen in de cel

– Normale weefsels :

herstel schade in DNA na bestralingszitting

na +/- 8 uur is de schade praktisch volledig hersteld



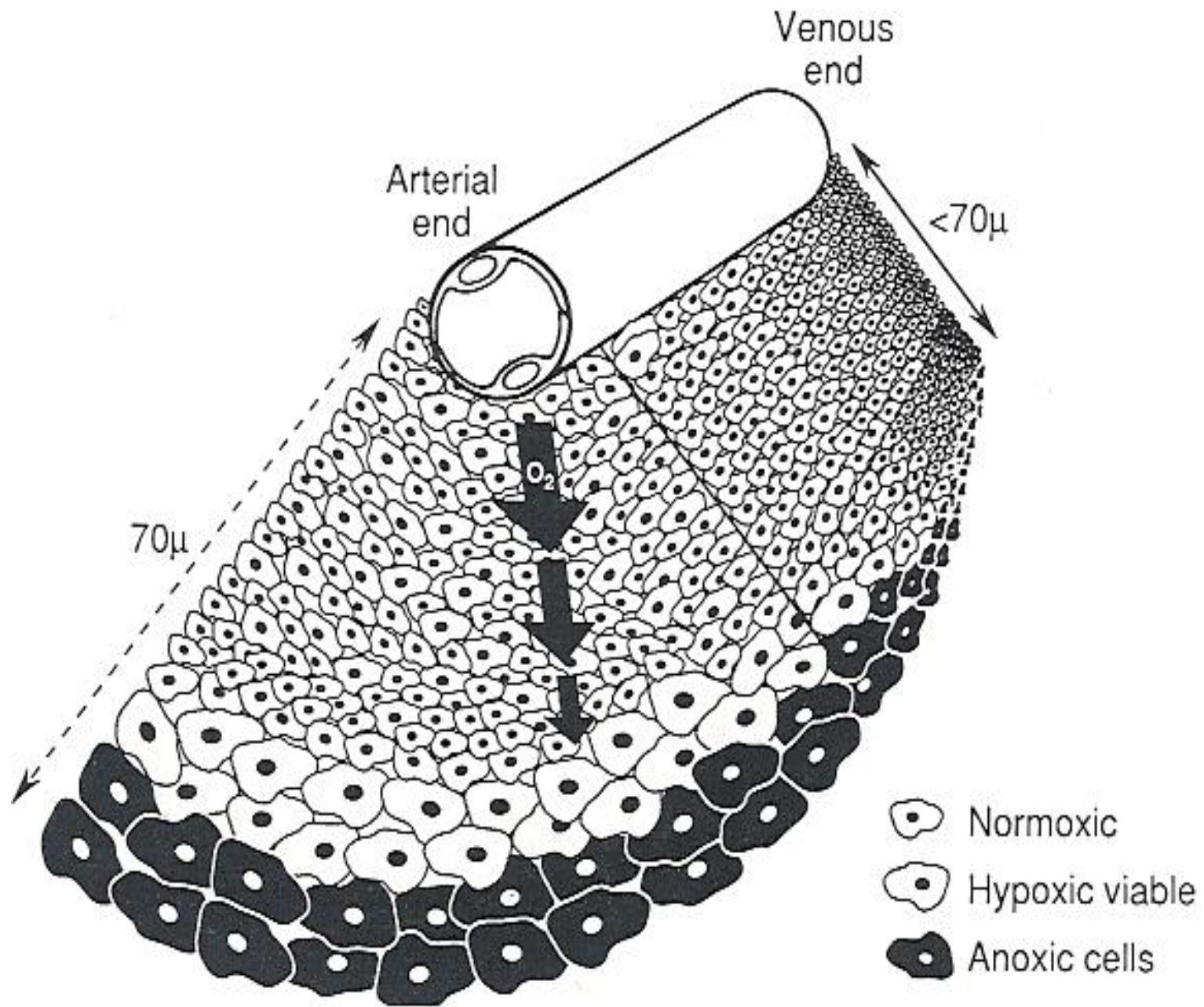
– Tumorcel : aberrante cel met slechte
herstelmechanismen:

weinig herstel

\Rightarrow belang van **fractionering** voor differentieel effect
tumor versus gezond weefsel

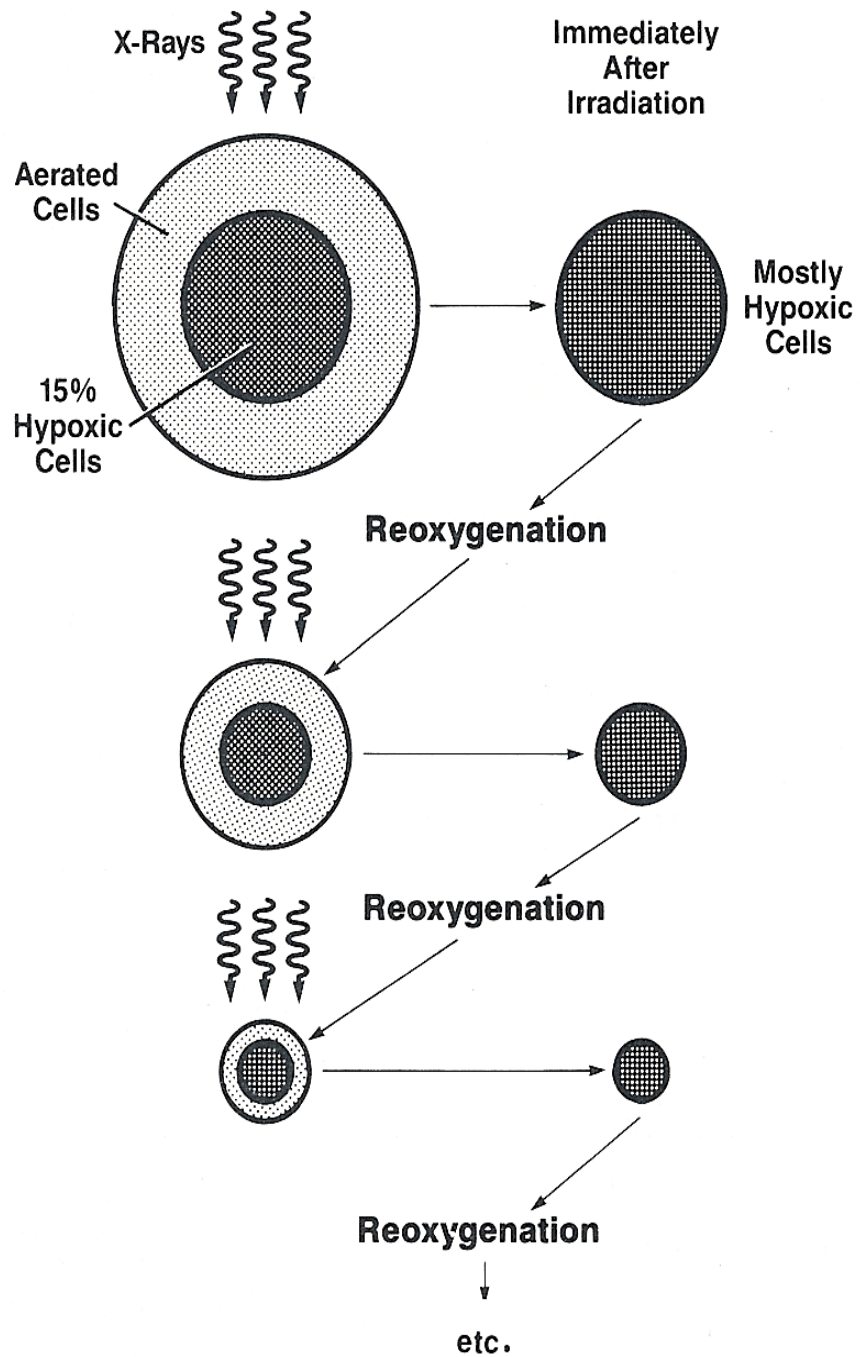
2. Reoxygenatie

- In tumoren zitten zones die **hypoxische cellen** bevatten: krijgen te weinig zuurstof
(Door slechte bloedvoorziening in de tumor)
 - **Hypoxische cellen zijn minder gevoelig voor ioniserende straling**: deze tumorcellen blijven gemakkelijker leven
(zuurstof is oa nodig in de chemische processen met de vrije radicalen die het DNA beschadigen)
- Hypoxische tumoren zijn ook veel agressiever (sneller metas) en minder gevoelig voor chemotherapie



2. Reoxygenatie

- Tijdens gefractioneerde bestraling treedt reoxygenatie op:
 - tumor wordt kleiner zonder afname van de bloedvaten
 - > terug betere zuurstofspanning in oorspronkelijk hypoxische cellen
- **Door fractionatie neemt de gevoeligheid voor bestraling van de tumor toe, dankzij reoxygenatie**



3. Repopulatie

- Tussen de bestralingsfracties is er opnieuw **aangroei van tumorcellen en van normale cellen**
- Er is een **versneld herstel** van tumorcellen tijdens/na **bestraling**, maar ook na **chemotherapie en heekunde**
- Daarom is het te lang uitsmeren van de dosis over de tijd nefast voor de prognose
- Daarom worden behandelingen ook best niet onderbroken

4. Redistributie

- Doordat het DNA de meest gevoelige structuur is zijn de **cellen het meest gevoelig tijdens de delingsfase (mitose)** van de celcyclus en het minst gevoelig tijdens de S-faze
- Cel die in S-faze was zal bij een volgende fractie doorschuiven naar gevoeligere faze van de celcyclus: “zelfsensibilisatie”
- Door redistributie **verhoging gevoeligheid** voor bestraling van tumoren en acuut reagerende weefsels, doch niet in niet/traag delende weefsel

Biologische basis tumorsterilisatie door RT

- **Hoge stralengevoeligheid** van tumorcellen

Dosis nodig om cel te doden verschilt sterk in functie van het type cel

vb lymfoma, seminoma : zeer radiosensibel

maligne melanoma, glioblastoma : zeer radioresistent

- **Beperkt aantal tumorcellen:** kleine tumoren

Lineaire relatie tussen toegediende dosis en de fractie cellen die “overleeft”

hoe meer cellen in een tumor, hoe hoger de dosis die nodig is om ze allemaal uit te roeien

vb glottiscarcinoma stadium T1: zeer goede kans op curatie

stadium T4: geringe kans op curatie

Basis voor tumorgenezing door ioniserende straling:

Differentieel effect

tumor \Leftrightarrow gezonde weefsels:

1. Biologische factoren: groter effect in tumor dan in normale weefsels

“therapeutische werkingsbreedte”

2. Fysisch-technische factoren: grotere stralingsdosis aan tumor geven dan aan omgevende gezonde weefsels

3. Medische gevolgen van straling

Nevenwerkingen

- **ACUUT:** in de sneldelende weefsels
 - Tijdens tot enkele weken na bestraling
 - Reacties kunnen zeer hevig zijn, maar helen praktisch volledig kort na bestraling
 - Restschade kan blijven
- **LAATTIJDIG:** in de traagdelende weefsels
 - Maanden tot jaren na bestraling
 - Meestal irreversiebel en moeilijk behandelbaar

- **Reproductieve celdood:**

Nevenwerking treedt op op moment dat de cel zich moet delen

- Huid: 7-10 dagen

- Darm: 2 weken

- Neutropenie: 1 week

- Thrombocytopenie: 2-3 weken

- Anemie: 2-3 maanden

- Bloedvaten, Bindweefselcellen: maanden-jaren

ACUUT	LAATTIJDIG
Huid, haar	Steunweefsel , fibroblasten, osteocyten
Slijmvliezen van mond en keel, slokdarm	Bloedvaten: endotheelcellen
Darmslijmvlies	Zenuwstelsel
Hematopoëtisch merg:	Lever
- wbc	Nieren
-rbc	Longen
-bloedplaatjes	Hart

Acute veranderingen

inflammatoir

oedeem

hemorrhagie

mucosale depletie

Chronische veranderingen

fibrose

atrofie

ulceratie

strictuur

stenose

obstructie

necrose

Tolerantiedosis (TD): functie van

- Leeftijd patiënt (kinderen gevoeliger)
- Sommige ziekten (vb diabetici meer kans op vasculaire schade)
- Bestralingsvolume
- Weefseltype
- Fractionatie
- Combinatie met medicatie, vnl chemotherapie: **sensibilisatie !**

Tolerantiedosis (TD): functie van

- TD 5/5 = dosis waarbij de kans op een ernstige complicatie 5% is na 5 jaar
- TD 50/5 = dosis waarbij de kans op een ernstige complicatie 50% is na 5 jaar

Genezing

Regeneratie

(zelfde cellen)

Herstel

(andere cellen)

Huid

acut

erytheem

droge desquamatie

vochtige desquamatie

chronisch/laattijdig

atrofie

fibrose

depigmentatie

ulceratie

necrose

kanker

haarverlies – alopecie

tijdelijk

definitief

Slijmvliezen

- acuut
- mond/keel: mucositis : roodheid, pijnlijke aften, bijbesmetting met candida
 - slokdarm: oesophagitis
 - darm: diarree
 - rectum: rectitis: slijmverlies, branderigheid, tenesmen
 - blaas: cystitis
 - vulva/vagina: mucositis, vulvitis
- laattijdig
- stenose, strictuur, droogheid, teleangiectasieën
 - ulceraties, bloedingen, necrose

Beenmerg

acuut

- Leukopenie
- Thrombopenie
- Anemie

Erger in combinatie met chemotherapie !

Vooral wanneer grote volumes beenmerg in het bestralingsveld zitten : 25-50% van het beenmerg

vb pancranieel + rachis bij medulloblastoma

vb hemibody bestraling voor uitgebreide botmetastasen

Ovaria

- Extreem gevoelig voor bestraling: premature menopauze, infertiliteit onomkeerbaar
2 x 2 Gy 40% menopauze op 20j, 90% op 35j

Testis

- Kiemcellen zeer gevoelig !
2.5 Gy definitieve steriliteit
- Testosterone productie veel meer resistent voor bestraling:
Pas vanaf 30 Gy vermindering testosterone productie : in de klinische praktijk komt dit zelden voor.

Vasculatuur	> 40 Gy
teleangiectasieën	
sclerose	
Bot	> 20 Gy
groeischijven: groeistop !	
Lever	> 30 Gy
hepatitis	
fibrose	
Nier	> 20 Gy
nefritis	
Myelum	> 50 Gy
myelitis	
Hersenen	> 60 Gy
necrose	
Longen	> 20 Gy
pneumonitis, fibrose	
Hart	> 30 Gy
acuut myocard infarct (tgv vernauwing coronairen)	

Opm tolerantiedosisen enkel
geldig voor fracties van 2 Gy/dag

Gegevens over TBI effecten (totale lichaamsbestraling)

- Ongevallen
- Fallout – proefnemingen
- Hiroshima – Nagasaki
- Medische gegevens TBI – HemiBI ...
- Tsjernobil

EPILEPSY
CAUSATIVE DOSE: 400 TO 500 R

APPEARS IN 12 TO 14 DAYS

CATARACTS
CAUSATIVE DOSE VARIABLE:
ABOUT 500 R PROBABLY CAUSES
PARTIAL OPACIFICATION

ORAL CAVITY ULCERATION
CAUSATIVE DOSE: 500 R UP
APPEARS IN 10 TO 14 DAYS

**BONE MARROW
DEPRESSION**
SLIGHTLY DEPRESSED
IN DOSES OF 200 R

ABLATED IN DOSES OF
400 TO 600 R

IRREVERSIBLY ABLATED IN
DOSES OF 700
TO 900 R UP

OCCURS QUICKLY BUT
PERIPHERAL BLOOD
MANIFESTATIONS APPEAR
LATER, DEPENDING ON
LIFE SPAN OF CELLS

LYMPH NODE ATROPHY
CAUSATIVE DOSE: 400 TO 500 R
IRREVERSIBLE AFTER DOSES
OF 700 TO 900 R UP

RADIATION BURNS
ON SKIN SURFACES EXPOSED
TO FALLOUT AND NOT QUICKLY
DECONTAMINATED

EXTENT DEPENDS ON AMOUNT
AND TIME ALLOWED TO REMAIN

CAUSATIVE DOSE: 4000 RAD UP
OF β RAYS

APPEARS IN ABOUT 10 DAYS
(EARLIER FOR HIGHER DOSES)

**CENTRAL NERVOUS SYSTEM
EFFECTS; CNS SHOCK;
LOSS OF CONSCIOUSNESS**
CAUSATIVE DOSE: 1600 R UP
APPEARS IN 3 TO 4 DAYS OR
SOONER, EVEN IMMEDIATELY
IN HIGHER DOSAGE:
INDICATIVE OF LETHAL DOSE

VOMITING
IF IMMEDIATE AND PERSISTENT
OVER FEW DAYS INDICATES
LETHAL DOSE AND GI
SYNDROME, BUT POSSIBILITY
OF PSYCHOGENIC VOMITING
MUST BE CONSIDERED

**GASTROINTESTINAL
SYNDROME (MUCOSAL
DENUDATION, HEMORRHAGE,
HYPERACTIVITY FOLLOWED
BY ATONY)**
CAUSATIVE DOSE: 900
TO 1600 R AND UP
APPEARS ALMOST
IMMEDIATELY; DEATH
IN 7 TO 14 DAYS

**DEPRESSION OF
BLOOD CELLS**

DIARRHEA; MELENA
IF IMMEDIATE AND PERSISTENT
OVER FEW DAYS INDICATES
LETHAL DOSE AND GI
SYNDROME, BUT POSSIBILITY
OF PSYCHOGENIC DIARRHEA
MUST BE CONSIDERED

IF APPEARS AFTER 2ND OR
3RD WEEK, MAY BE RESULT
OF THROMBOCYTOPENIA
(HEMORRHAGE) AND OF
LEUKOPENIA (INFECTION
OF GI TRACT). PROGNOSIS
THEN PARALLELS BONE
MARROW EFFECTS

LACK OF SPHINCTER
CONTROL INDICATES
CNS DAMAGE (LETHAL DOSE)



Beenmerg syndroom

LD 50/60 **3 Gy** (lethale dosis bij 50% over 60 dagen)

Prodromen : nausea, braken

Latentietijd: dagen – 3 weken

Symptomen van **pancytopenie**

Herstel : afhankelijk van dosis

10 Gy altijd lethaal

Tijdstip dood afhankelijk van dosis

Beenmergtransplantatie

Gastrointestinaal syndroom

Syndroom **10 Gy**

Tijdstip dood afhankelijk van dosis

3 tot 10 dagen

**Malaise, anorexie, ernstige diarree, koorts,
deshydratie, elektrolytstoornissen**

Latentietijd 2 – 5 dagen

Schade aan GI en beenmerg

darmvilli gedenudeerd

Vochtlek deshydratie

Sepsis (o.a. granulopenie)

> 10 Gy: geen recuperatie villi

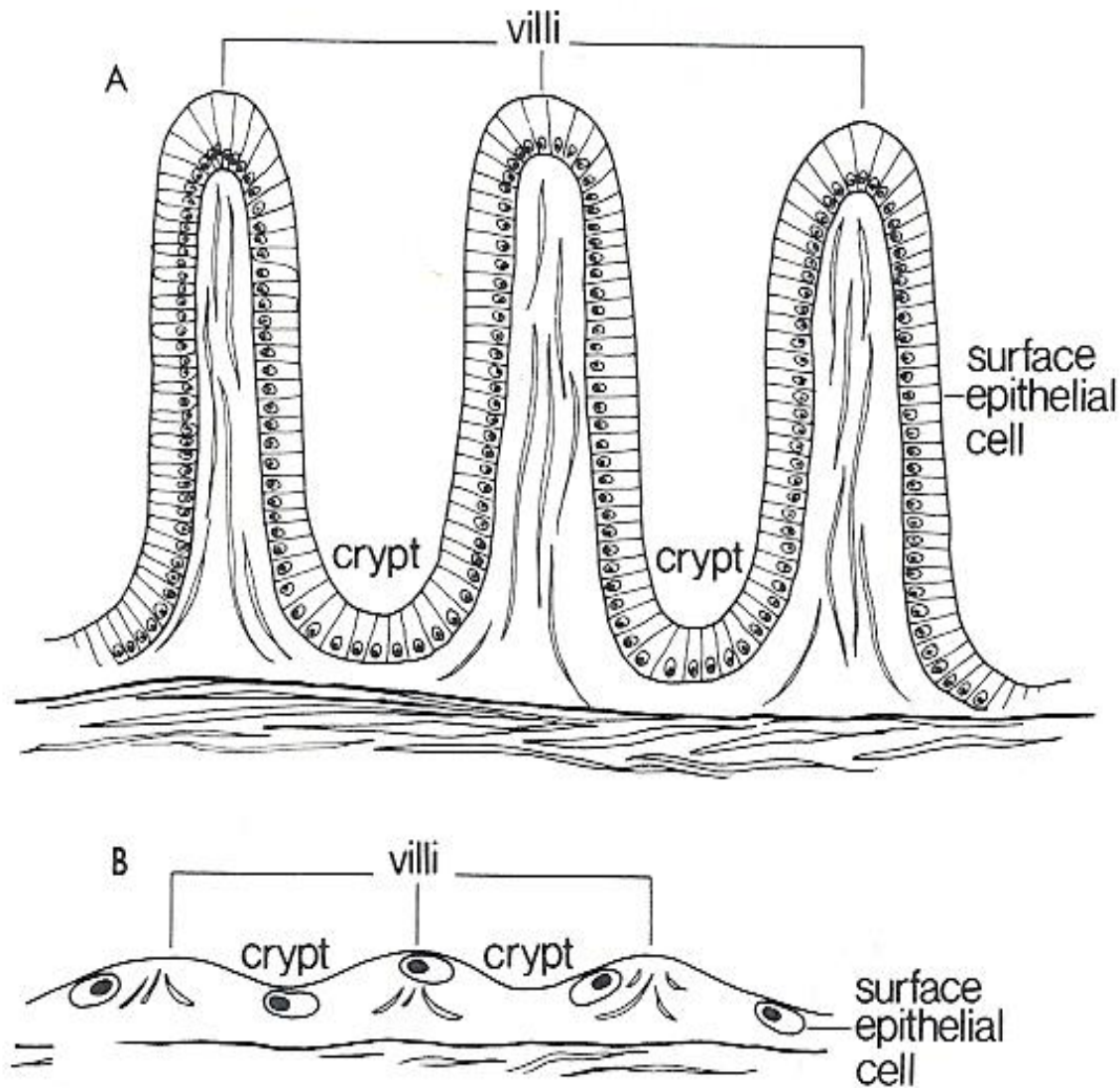


FIG 7-4.

Diagrammatic representation of changes in the small intestine following total body exposure in the dose range of the GI syndrome. **A**, preirradiation; **B**, postirradiation.

Centraal zenuwstelsel syndroom

50 Gy dood binnen 2-3 dagen

Prodromen **confusie**

agitatie

bewustzijnsdaling

Latentie: enkele uren

Na 5-6 uren:**diarree, convulsies, coma**

dood

Effecten op menselijke embryos

- relatie oorzaak-gevolg: moeilijk vast te stellen
- spontane incidentie congenitale afwijkingen:
~ 6 procent

bestraling verwekt geen specifieke afwijkingen op (alle afwijkingen zijn mogelijk)

TABLE 7-4.

Some Major Abnormalities Found in Mammals (Humans, Rabbits, Mice) After Fetal Irradiation*

CNS	Skeletal	Ocular	Others
Exencephaly	Stunting	Absence of eye(s)	Leukemia
Microcephaly	Abnormal limbs	Microphthalmia	Genital deformities
Mental retardation	Small head	(small eyes)	with sterility
Idiocy	Cleft palate	Strabismus	
Skull malformations	Club feet	Cataract	
Hydrocephaly	Deformed arms	Absence of lens	
Mongolism	Spina bifida		

*From Rugh R: The impact of ionizing radiation on the embryo and fetus. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1963; 89:182. Used by permission.

Bestraling embryo-fetus

- lethale dosis
- congenitale afwijkingen
- late effecten, carcinogenese

Effecten op menselijke embryos

informatie: bekomen uit atoombom-overlevers, ongevallen, beroep, medisch diagnostisch en therapeutisch

- eerste 3 weken: groot aantal embryo's spontaan geaborteerd, levend geboren kinderen weinig afwijkingen
- 6-11 weken: zware afwijkingen in vele organen
- 11-16 weken: mentale retardatie, microcephalie, groeiachterstand
- >20 weken: functionele defecten

Japan: kinderen in utero (8-15 w.) bestraald
1600 gevallen bestudeerd
gevolg: *microcephalie, retardatie*

0.1 tot 1 Gy : dose-response

boven 1 Gy: 100 %

Late effecten

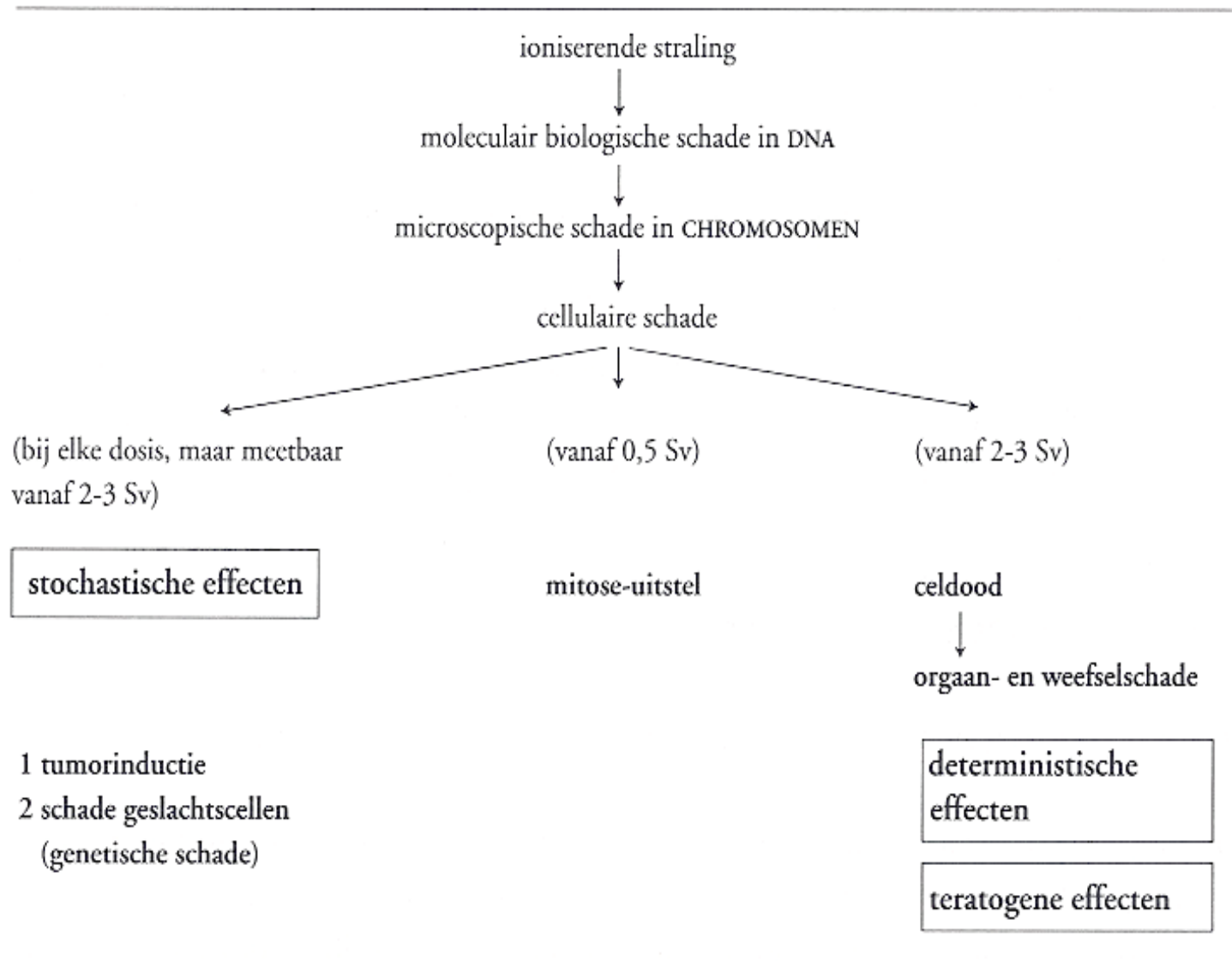
Na acute of chronische blootstelling

laat: **carcinogenese of tumorinductie**

tot uiting in volgende generaties: mutaties
in geslachtscellen

- alles of niets effecten
- geen dosisdrempel
- relatie dosis-probabiliteit

stochastisch



Afbeelding 2.1 Schematisch overzicht van biologische effecten na bestraling

Een groot deel van de moleculair biologische schade van het DNA kan worden hersteld en leidt dan niet tot verdere schade. Zelfs van de schade die resteert na herstel, komt slechts een deel tot expressie in de vorm van schade in het functioneren van cellen en van weefsels.

Deterministische en stochastische effecten

Deterministische (niet-stochastische) effecten vertonen volgende kenmerken:

- bestaan van een **drempel**;
- de **ernst** van het biologisch effect stijgt met de dosis;
- de letsels treden op bij **alle** subjecten (evt. kleine individuele variaties in stralengevoeligheid)

Voorbeelden: acute en chronische stralingdermitis, beenmergsyndroom, intestinaal syndroom, cataract, enz..

De *stochastische effecten* vertonen volgende kenmerken:

- hun **waarschijnlijkheid** stijgt met de dosis;
- maar niet de **ernst**;
- het effect treedt op bij sommige bestraalde subjecten, maar niet bij allemaal;
- het verband tss. dosis en effect is slechts gekend bij **lage dosissen** (ontbreken van drempel?)

Voorbeelden: cancerogenese, genetisch risico.

Tumorinductie of carcinogenese

Mutaties?

Translocatie

Expressie van oncogenen

Kinderen meer gevoelig dan volwassenen

In utero: 2x groter (oa risico op leukemie)

Carcinogenese

Botkanker : uurwerkmaaksters (jaren '30): radium

Leverkanker : oud radioactief contrastproduct
thorotrast

Longkanker : uraniummijnen

Schildklierkanker : thymusbestraling bij kinderen

Borstkanker : Japan, RT voor goedaardige
aandoeningen, frequente fluoroscopie (TBC),
mediastinale RT voor lymfomen

Huidkanker : vroeger bij radiologen, techniekers, of
na RT voor goedaardige aandoeningen, bv. acné

Carcinogenese

Leukemie

volw.: AML,CML

kind.: ALL

Japan

RT voor Bechterew

Carcinogenese

latentieperiode :

- leukemie: 7-12 jaar na blootstelling, na 20j.verdwenen
- soliede tumoren: 20-30 jaar na blootstelling

Incidentie radiogene kankers daalt dankzij

- Reglementering, radioprotectie
- betere indikaties diagnose/therapie

Genetische effecten: schade geslachtscellen

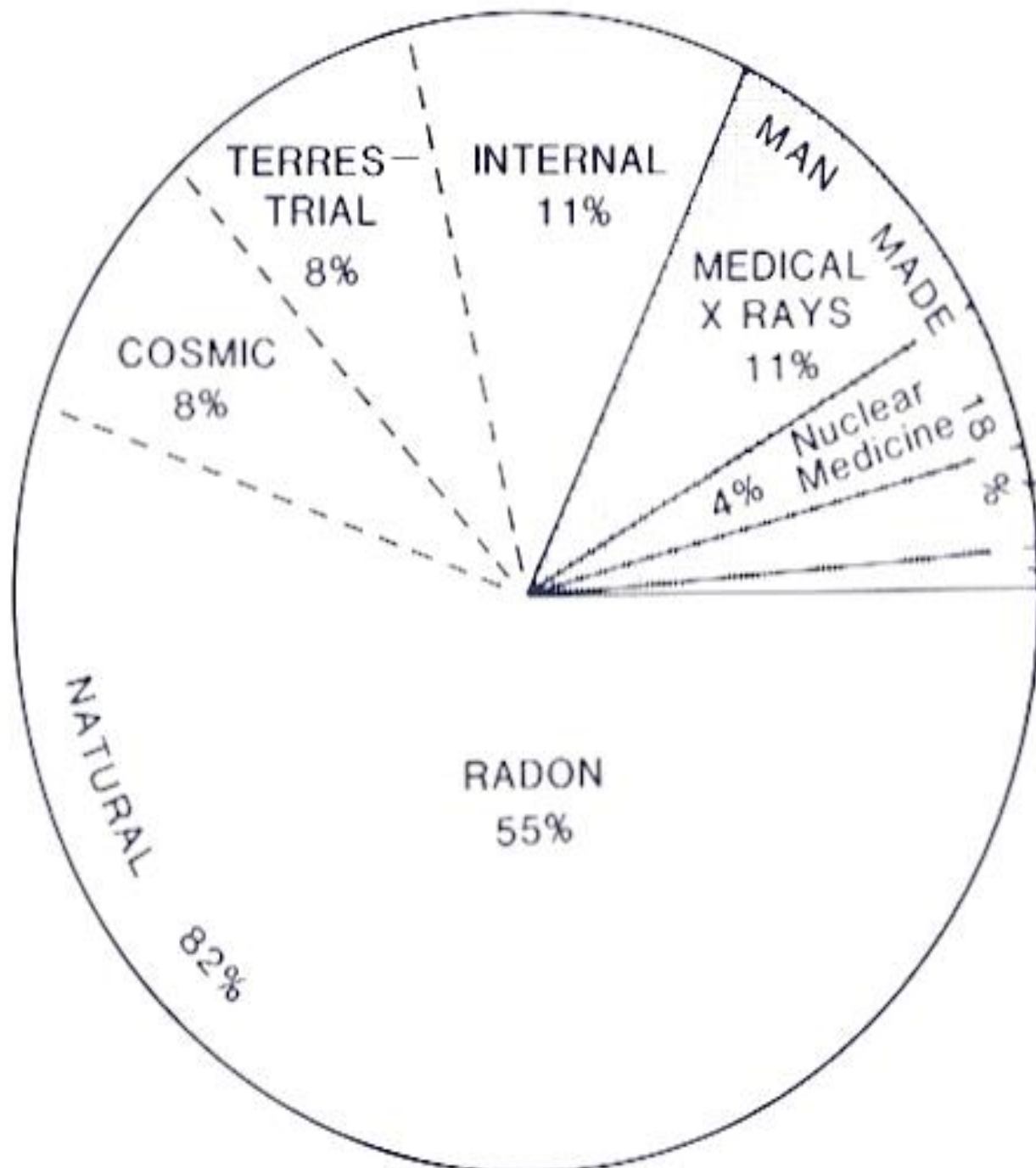
Mutatieincidentie stijgt lineair met dosis

Relatie dosisdebiet

Doubling dose 1 Gy

My father was a radiologist and assures me that radiation is **NOT** hazardous





Occupational	0.3%
Fallout	<0.3%
Nuclear	
Fuel Cycle	0.1%
Miscellaneous	0.1%

Natuurlijke straling:

Hoge doses in sommige streken

	mREM	mSV
Brazilië	500	5
Frankrijk	300	3
Kerala (India)	1300	13
Egypte	400	4

Beroep

Maximum permissible dose (mpd)

A **As low as reasonably acceptable**
L
A
R
A

- 20 mSv per jaar/zwangeren 1 mSv

MEDICAL RADIOBIOLOGY

E.L. Travis
Year Book Med. Publ. Inc.
ISBN 0 8151 8837 4

RADIOBIOLOGY FOR THE RADIOLOGIST

E. Hall
Harper and Row
ISBN 0 39751248 1

RADIOBIOLOGIE EN STRALINGSBESCHERMING

V.J. de Ru, J. Welleweerd, M.L. Wesselink
Uitgeverij Lemma, Utrecht
ISBN 90 5189 4651

Radiotherapy resources for patients

Cancer BACUP: radiotherapy

<http://www.cancerbacup.org.uk/info/radiotherapy.htm>
Here's a comprehensive online version of a recently updated booklet from Cancer BACUP. The booklet covers everything from why and where to get treatment to newer procedures, coping tips, and radiotherapy in children. The detailed, yet understandable, information is easy to navigate.

Cleveland Clinic: radiation

<http://www.clevelandclinic.org/florida/research/health/default.htm>
Scroll through the listing of patient education fact sheets to access "common side effects of radiation therapy" and (under "radiation") the specific effects of diarrhoea, hair loss, nausea and vomiting, oesophagitis, and mucositis. The information is succinct; advice is emphasised, rather than explanations.

International Radosurgery Support Association

<http://www.irsa.org>
IRSA is a non-profit organisation that provides information on radiosurgery procedures and support for patients. Highlights include a typical treatment day, articles and patient stories in the "Brain Talk" newsletter, and links to centres of excellence in the USA, Asia, Europe, Japan, China, Latin America, and Mexico.

Radiology Info

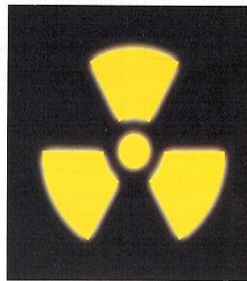
http://www.radiologyinfo.org/content/therapy/radiation_therapy.htm
The American College of Radiology and the Radiological Society of North America developed this robust site, which gives complicated information in a straightforward, understandable way. In addition to a general overview, the site offers specific information on the use of radiation therapy as a treatment for breast, colorectal, head and neck, lung, and prostate cancer. Also included is information on external beam therapy and the linear accelerator and gamma knife. Sections on diagnostic and interventional radiology.

Oncolink: radiation therapy

<http://www.oncolink.com/treatment/treatment.cfm?c=5>
Here are several articles by radiation oncologists and allied health professionals that discuss radiation treatment and its effects from various perspectives.

Yahoo health: radiation therapy

http://health.yahoo.com/health/centers/radiation_therapy/1.html
This illustrated, easy-to-navigate guide to radiation therapy is an excellent starting point for the general public. The side effects and FAQ sections are particularly well done.



WebMD: radiation therapy basics

http://webmd.lycos.com/content/article/4/1680_50263
Here's a good, understandable overview of how radiation therapy works, including information on planning, equipment, dosage, treatment and side effects. Written in 1996, the article is a little out-of-date.

National Cancer Institute: radiation therapy and you

http://www.cancer.gov/templates/doc_img.aspx?viewid=32136103-0800-407b-83c8-28fd87267753
Here's a detailed self-help guide that tells what to expect from radiation treatment, including general effects and specific side-effects. The brochure is available in html, pdf, and paper copy formats.

University of Pittsburgh Medical Center: cancer radiation

<http://patienteducation.upmc.com/C.htm#CancerRadiation>
The University of Pittsburgh has produced over 30 patient information sheets on cancer radiation, available here in pdf format. Topics include high-dose brachytherapy for cancer of the breast, head and neck, cervix, and lung; managing loss of appetite and swallowing and taste problems; regaining sexual confidence after cancer; and total body irradiation.

National Oral Health Information Clearinghouse: head and neck radiation and your mouth

http://www.nohic.nidcr.nih.gov/campaign/rad_bro.htm
This online brochure (html and pdf formats) explains how radiation therapy for head and neck cancer affects the mouth, and offers tips for keeping the mouth healthy and dealing with side-effects such as sore mouth and gums, cavities, loss of taste, infections, jaw stiffness, and jaw bone changes.

Royal Marsden Hospital: radiotherapy

<http://www.royalmarsden.org/patientinfo/booklets/radiotherapy/index.asp>
This online brochure presents an excellent overview of all aspects of radiotherapy that may be of concern to patients. Included are "what happens when I go to the simulator", "how is the radiotherapy machine chosen", "how should I look after my mouth", and site-specific side-effects that may be expected from treatment.

University of Michigan resource guide

<http://www.cancer.med.umich.edu/learn/radiation.pdf>
This guide is a succinct compendium of web sites, pamphlets, videotapes, and books related to radiation therapy.

Marilynn Larkin
MLEditor@aol.com