

6. Sugárvédelem

(Martonffy)

A természetben előforduló ionizáló sugárzást háttérsugárzásnak nevezzük, ez a kozmikus sugárzásból, a földsugárzásból és az élőlények testébe beépült természetes radioaktív anyagok sugárzásából, az ún. endogén sugárzásból adódik. Az ebből eredő effektív dózis Magyarországon 1 főre átlagosan 3,1 mSv/év.

Az élő anyagot keletkezése óta éri a háttérsugárzás. Ehhez a sugárterheléshez járul hozzá a mesterséges sugárforrásokból (röntgen- és izotópdiagnosztikai vizsgálatok és kezelések, atomreaktorok, reaktorbalesetek, radioaktív csapadék) eredő ionizáló sugárzás. Az iparilag fejlett országokban az ebből származó egy főre eső átlagos sugárterhelés 2 mSv/év effektív dózissal felel meg.

Mindenfajta ionizáló sugárzás nagy dózisban káros az emberi szervezetre, bionegatív hatású. Ezért arra kell törekedni, hogy a sugárterhelés a lehető legkisebb legyen. Az ionizáló sugárzások diagnosztikai és terápiás célú alkalmazása előtt gondosan mérlegeljük, hogy a károsító hatáshoz viszonyítva mekkora a várható haszon.

6.1. Dózisegységek SI-mértékrendszerben

Elnyelt dózis (D). Az ionizáló sugárzás hatására egységnyi tömegben elnyelt energia átlagértéke.

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm}$$

→ elnyelt E átlaga
→ egységnyi tömeg

Egysége gray (ejtsd gréi), rövidítése Gy.

$$Gy = \frac{Joule}{kg} = J/kg$$

Régi mértékegysége a rad (radiation absorbed dose):

$$rad = \frac{100 \text{ erg}}{g}$$

$$1 Gy = 100 rad$$

Egyenérték dózis (H_T). Az R típusú és minőségű sugárzás súlytényezőjével súlyozott, a T szövetben vagy szervben elnyelt dózis.

$$H_{TR} = W_R \cdot D_{TR}$$

ahol

W_R = az R típusú sugárzás súlytényezője

D_{TR} = az átlagos elnyelt dózis

Egysége sievert (ejtsd szivert), rövidítése Sv.

$$Sv = \frac{Joule}{kg}$$

Régi mértékegysége a rem (radiation equivalent man)

$$1 Sv = 100 rem$$

Az egyenérték dózist a különböző típusú sugárzások biológiai hatásának összehasonlítására használják.

Effektív dózis (E). Az emberi test összes szöveteire vagy szervére (T) vonatkozó, súlyozott egyenérték dózissok (H_T) összege:

$$E = \sum_T W_T H_T$$

ahol

W_T = a T testszövet vagy szerv súlytényezője

Egysége sievert (Joule/kg).

Az effektív dózis (E) a sugárzás által kiváltott szomatikus és genetikus kockázatot mutatja, akár egyenletesen az egész testet éri a sugárzás, akár csak a testnek egy részét.

Az E teszi lehetővé, hogy az egész testet érő besugárzás hatását összehasonlítsuk a test bizonyos részeire korlátozott besugárzás hatásával. Pl. egy mellkas felvétel E dózisa 80 μSv, egy panoráma felvétel E dózisa 26 μSv.

A radioaktivitás egyenlő egy másodmagátalakulással (bekerel), rövidítése

$$Bq = \frac{1 \text{ atommagátalakulás}}{s}$$

Régi mértékegysége a Ci.

$$1 Ci = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 Ci = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

6.2. Az ionizáló sugárzás hatása az emberi szervezetre

Csak az elnyelődő sugárzás hatást. Az ionizáló sugárzás az azoknak a fizikai, kémiai történéseknek a káros hatását okozza az emberi testben, amelyek létrejönnek. Nem minden elnyelődött sugárzást az emberi szervezet károsítja. A vízmolekula a sugárzás hatására szétbomlik (radikálisok keletkeznek, melyek károsító alkotórészeivel. Ezek károsítják a morfológiai szerkezetet, létrejönnek a káros hatások.

Célszerű elkülöníteni a sejtszintű károsított sejtszintet a károsított sejtszinttől. A károsított sejtszint a károsított sejtszinttől egymástól.

A röntgensugárzás káros hatását tanulmányozták, hogy az azonos károsító hatású (mód) sugárzás károsítja a károsított sejtszintet, amelyet nem egyformán károsít, hanem nagy szaporodási sebességgel a károsított sejtszint szöveti szerkezetét sugárterhelés hatására.

Bergonié és Tribondeau kísérletei azt bizonyították, hogy az emberi sejtszint károsított sugárterhelés hatására.

A **radioaktivitás egysége**. Egy becquerel egyenlő egy másodperc alatt végbement egy magátalakulással. Egysége becquerel (ejtsd bekerel), rövidítése Bq.

$$Bq = \frac{1 \text{ atommagátalakulás}}{s}$$

Régi mértékegysége a curie (ejtsd küri), rövidítése Ci.

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ atommagátalakulás} / s$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

6.2. Az ionizáló sugárzás hatása az emberi szervezetre

Csak az elnyelődött sugárzás fejt ki biológiai hatást. Az ionizáló sugárzás biológiai hatása azoknak a fizikai, kémiai, biokémiai, biológiai történéseknek a következménye, amelyek az emberi testben elnyelt sugárzás hatására létrejönnek. Nem ismertjük részleteiben ezeket a történéseket, csak utalunk arra, hogy az emberi szervezet több mint 70%-a víz. A vízmolekula a sugárzás hatására ionizálódik és bomlik (radiolízis), aktív gyökök keletkeznek, melyek kémiai reakcióba lépnek a sejt alkotórészeivel. Ezen reakciók eredményeként morfológiai és működésbeli változások jönnek létre.

Célszerű elkülöníteni a sugárzás hatására létrejött szomatikus és genetikus elváltozásokat, bár sejtszinten a kettő nem különül el élesen egymástól.

A röntgensugárzásnak az élő szervezetre kifejtett hatását tanulmányozva megfigyelték, hogy az azonos dózisu (azonos besugárzási mód) sugárzás a különböző szerveket és szöveteket nem egyformán károsítja. A morfológiailag és funkcionálisan kevésbé differenciált, nagy szaporodási készségű, hosszabb sejtszótódási fázisú szövetek (pl. daganatsejtek) vagy szervek sugárérzékenyebbek.

Bergonié és Tribondeau (1906) meghatározta az emberi sejtek és szövetek egymáshoz viszonyított sugárérzékenységét. Megállapították,

hogy a legkevésbé érzékeny az érett vörösvértest, a legérzékenyebb a lymphocyta. E két határ között a sugárérzékenység növekvő sorrendje a következő:

- (1) érett vörösvértest
- (2) ideg- és porcszövet
- (3) májsejt
- (4) hypophysis
- (5) izom, kötőszövet, erek, csont
- (6) pajzsmirigy
- (7) hasnyálmirigy
- (8) epidermis
- (9) szaruhártya, szemlencse
- (10) nyálkahártya (bél), savóshártyák
- (11) verejték- és faggyúmirigy
- (12) vesetubulusok, tüdő
- (13) hajpapillák
- (14) thymus, here, petefészek
- (15) gonadok germinatív sejtjei
- (16) csontvelő, nyirokszövet
- (17) lymphocyta.

A sorrend 2–15-ig nem teljesen szoros.

A sugárhatás lehet *determinisztikus* és *stochasztikus*. A determinisztikus sugárhatásoknak dózis-küszöbértéke van, csak a küszöbértéket meghaladó dózisok okoznak elváltozást. A küszöbérték felett a hatás súlyossága a dózissal növekszik. A stochasztikus sugárhatásoknak nincs küszöbdózisuk, előfordulásuk valószínűsége arányos a dózissal, de súlyosságuk független a dózistól.

A sugárzás érheti az egész szervezetet (teljes test besugárzás) vagy annak csak viszonylag kis térfogatú részét, a leadott dózis lehet nagy vagy kicsi, ettől függően más és más szomatikus elváltozás jön létre.

A fogászati röntgenvizsgálatok kis sugárterhelést okoznak.

Teljes fogászati status (19 film, D speed film, kerek, nyitottvégű tubus) effektív dózisa $E = 150 \mu\text{Sv}$. Teljes fogászati status (21 film, D speed film, kerek, nyitottvégű tubus) átlagos effektív dózisa $E = 84 \mu\text{Sv}$.

Panoráma felvétel effektív dózisa 26 μSv , átlagos effektív dózisa (ritkaföldfém fólia használatával) $E = 6,7 \mu\text{Sv}$. Az összehasonlítás egyszerűbb, ha az effektív dózist a háttérsugárzás effektív dóziséval hasonlítjuk össze. A háttérsugárzás átlagos effektív dózisa számítások alapján 4,4 mSv/év, a különböző összehasonlítások nagy részében 3 mSv/év-el számolnak (ennyi az USA-ban, Magyarországon 3,1 mSv/év).

A fogászati status effektív dózisa eszerint 18,8 nap, a panoráma felvételé 3,3 nap háttérsugárzásnak felel meg.

Az alacsony dóziszú sugárzás igen kis valószínűséggel, de carcinoma keletkezését válthatja ki, 1 millió teljes fogászati status (70 kV, D speed film, kerek, nyitottvégű tubus) átlag 2,5 carcinomas halált okoz. Leukaemia, pajzsmirigy rák és csonttrák fordul elő leggyakrabban. E speed film és téglalap alakú diafragma kb. 1/5-ére csökkenti a carcinomás halál kockázatát.

Panoráma felvétel esetén a carcinomás halálozás kockázata átlag 0,21/1 millió panoráma felvétel, tehát 1/10-e a fogászati statusénak.

Ha a sugárvédelmi előírásokat betartjuk, akkor a fogászati röntgenvizsgálatok sugárterhelése csekély, de nem mondhatjuk, hogy zéró.

A **genetikus károsodás** lehetősége azonban még igen kis sugárterhelés esetén is fennáll. Az ionizáló sugárzás által okozott genetikusan elváltozó az öröklődési anyag megváltozása, a **mutáció**, amely bekövetkezhet a génekben, ez a **génmutáció** (pontmutáció). A gének kettős DNS-spiráljában különböző elváltozások keletkeznek. Ezek egy része olyan károsodás, amelyet a szervezet „kijavít”, más részük mutagén. A súlyos DNS-károsodások **kromoszóma mutációt** eredményeznek, mely kromoszómatörésben, a kromoszómák kicserélődésében, áthelyeződésében, kettőződésében, kromoszómakiésésben stb. nyilvánul meg.

Nemcsak az ionizáló sugárzás okoz mutációt, nagy valószínűséggel bizonyos gyógyszerek, élelmiszer-adalékok stb. is mutagének.

Az ivarsejtek kifejezetten sugárérzékenyek, a dózis tekintetében nincs küszöbérték, már a legkisebb dózis is mutációt hozhat létre. A megtermékenyített petesejt rendkívül sugárérzékeny, fő-

ként az első 3 hónapban, ezen belül még fokozottabban az első 6 hétben, a szervek kialakulásának idején. Ha a magzat károsodása súlyos, akkor már a méhen belül elpusztul („röntgen-abortus”).

A megtermékenyített petesejt védelmét szolgálja az ún. 10 napos szabály. Fogamzóképes korban lévő, nem terhes nők **hasi röntgenvizsgálatára** lehetőség szerint a menstruáció kezdetétől számított 10 napon belül kerüljön csak sor, azaz az ovuláció előtt.

Miután az ionizáló sugárzások biológiai hatásai ismertté váltak, világszerte a sugárterhelés csökkentésére törekednek. Megteremtették a sugárvédelem alapjait, sugárvédelmi eljárásokat dolgoztak ki. Két nemzetközi szervezet koordinálja ezt a munkát az **ICRP (International Commission on Radiological Protection)** és az **IRPA (International Radiation Protection Association)**.

Az egyes országok sugárvédelmi előírásai némileg különböznek egymástól. Magyarországon az érvényes sugárvédelmi előírásokat Az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról intézkedő 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet és Az egészségügyi szolgáltatások nyújtása során ionizáló sugárzásnak kitett személyek egészségének védelméről intézkedő 31/2001. (X. 3.) EüM rendelet tartalmazza.

Az MSZ 62/1:1989 (Ionizáló sugárzás elleni védelem. Általános előírások) és az MSZ 824:1999 (Sugárzás elleni védelem orvosi és állatorvosi röntgen-munkahelyeken) szabványok alkalmazása önkéntes.

Az utóbbi évtizedekben különösen az ipariilag fejlett országokban a röntgenvizsgálatok száma jelentősen megnőtt, ez a sugárterhelés növekedését eredményezte. Az USA-ban a röntgendiagnosztikai tevékenységből eredő 1 főre jutó évi effektív dózis 0,39 mSv (összehasonlításként a háttérsugárzás évi effektív dózisa 3 mSv), ennek azonban csak 2,5%-a származik fogászati röntgenvizsgálatokból.

Ennek ellenére mindent el kell követnünk a sugárterhelés ésszerű csökkentése érdekében. Fokozza felelősségünket az a tény, hogy a vizsgált betegek nagy százaléka fiatalok és sok közöttük a gyermek.

6.3. A sugárterhelés

Az ionizáló sugárzás terhelését az orvosi terápia során is meg kell mérni, hogy az egyéni sugárterhelésnek kitett személy terhelés valószínűsége a legkisebb, azaz a legalacsonyabb szinten maradjon. Az effektív dózis $E = \sum A_i \cdot W_i$, ahol A_i a sugárterhelés, W_i a sugárterhelés biológiai hatása. A sugárterhelést biológiai hatásaival mérjük, a megtermékenyített petesejt sugárterhelésének, a helyes felvétel méretű sugárkapu, valamint az új, kis dózisú eljárások alkalmazásának.

Felvételi javallatok A felvétel elvégzésével járó terhelés csökkenthető, ha használtunk esetleges károsodást okozó anyagokat, csak dokumentációhoz szükséges idejének kitett röntgenvizsgálatot.

Vegyük figyelembe a röntgenfelvételi folyamatok, mérési és hogy a röntgenfelvétel bizonyos időre lehet.

Megfelelő röntgenfelvétel érzékenyebb filmet használjunk az expozíciós idő, Helytelenül tárolt, használjunk, ne keverjük a felvételt.

Erősítőernyő Erősítőernyő használata lényegesen csökkenti a sugárterhelést. Rutin felvétel esetén fóliát használjunk (erősítőernyő fóliát).

Helyes felvételi technika szabályait be kell tartani a felvétel során, a felvétel miatti ismételt felvétel. Az expozíciót az expozíciós táblán és nem fordítva.

6.3. A sugárterhelés csökkentése

Az ionizáló sugárzások alkalmazásakor – kivéve az orvosi terápiás besugárzást – úgy kell eljárni, hogy az egyéni dózisek nagysága, a sugárzásnak kitett személyek száma és a sugárterhelés valószínűsége az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szinten maradjon (**ALARA** elv = *As Low As Reasonably Achievable*).

A felesleges sugárterhelést el kell kerülni. A sugárterhelést befolyásoló tényezők a felvételi javallat, a megfelelő film, illetve fólia használata, a helyes felvételi technika, a megfelelő méretű sugárkapu, gondos sötétkamrai munka, valamint az új, kisebb sugárterheléssel járó eljárások alkalmazása.

Felvételi javallat. Ionizáló sugárzás kibocsátásával járó tevékenység csak akkor engedélyezhető, ha haszna ellensúlyozza a sugárzás esetleges káros következményeit. Feleslegesen, csak dokumentáció céljából vagy a beteg várakozási idejének kitöltésére ne végezzünk röntgenvizsgálatot.

Vegyük figyelembe, hogy vannak olyan kóros folyamatok, melyeknek nincs röntgenjele, és hogy a röntgenelváltozások kialakulásához bizonyos időre lehet szükség (röntgenlatencia).

Megfelelő röntgenfilm használata. Minél érzékenyebb filmet használunk, annál rövidebb az expozíciós idő, így csökken a sugárdózis. Helytelenül tárolt, öreg, alapfátylas filmet ne használjunk, ne kelljen filmhiba miatt megismételni a felvételt.

Erősítőernyő. Extraoralis felvételek esetében használata lényegesen csökkenti a sugárterhelést. Rutin felvételekhez a legérzékenyebb fóliát használjuk (lehetőség szerint ritkaföldfém fóliát).

Helyes felvételi technika. A felvételi technika szabályait be kell tartani, így a hibás beállítások miatti ismétlés a minimumra csökkenthető. Az expozíciót az előhívási időhöz kell igazítani és nem fordítva. Túlexponált felvételek

(rövidebb idő alatti előhívása) indokolatlanul növelik a sugárterhelést, emellett rosszabb minőségű képet eredményeznek.

Megfelelő méretű sugárkapu. A sugárkapunak az ábrázolandó tárgy méreteihez kell igazodnia. Minél kisebb a sugárkapu, annál kevesebb sugárzás éri a beteget és annál kevesebb szórt sugárzás keletkezik a betegben. A sugárterhelés csökkenése mellett a felvétel kontrasztosabb lesz (kevesebb szórt sugárzás jut a filmre). Minél kisebb a sugárkapu, annál nagyobb figyelmet kell fordítani a centrálásra. Az intraorális felvételeknél a sugárkapu 3 x 4 cm-re csökkentése a henger alakú nyitott tubushoz viszonyítva 60%-os dóziscsökkenést eredményez.

Az extraoralis felvételekhez – ha azok nem fogászati berendezéssel készülnek – folyamatosan állítható a sugárkapu, vagy pedig automatikusan a választott filmméretnek megfelelő nagyságra nyílik. Egyes országokban előírás, hogy az extraoralis felvételeken a film szélein keskeny exponátlan csík formájában látható legyen, hogy a sugárkapu nem nagyobb mint a filmméret.

Gondos sötétkamrai munka. Az alkalmazott filmnek megfelelő előhívási időt és hőmérsékletet betartva gondosan kell végezni a munkát. A hibás sötétkamrai munka miatt megismételt felvétel felesleges sugárterhelést okoz.

Kisebbs sugárterheléssel járó új eljárások alkalmazása. A sugárterhelés csökkentése szempontjából új korszakot jelent a digitális felvételi technika.

A röntgenberendezések tervezésénél is a sugárterhelés csökkentésére törekednek. A modern OP-készülékek pl. egyetlen filmen ábrázolják mindkét oldali állkapocsizületet nyitott és csukott helyzetben. Ezenkívül lehetőség van arra, hogy az állcsontoknak csak egy kívánt részletét ábrázoljuk. Ez utóbbinak főként a gyakori kontrollvizsgálatot igénylő esetekben van jelentősége, hiszen így lényegesen csökkenthető a sugárterhelés.

6.4. A betegek sugárvédelme

Megkülönböztetünk szomatikus sugárvédelmet és az öröklődési anyag védelmét, a genetikai sugárvédelmet.

6.4.1. SZOMATIKUS SUGÁRVÉDELEM

Célja az egyén sejtjeit, szöveteit érő sugárzás csökkentése. A fogászati felvételeknél elsősorban a bőr, a szemlencse, a pajzsmirigy és a vöröscsontvelő védelméről kell gondoskodni.

A bőr sugárterhelését csökkenti a nagyobb fókusz-bőr távolság, azaz a hosszú tubus használata, a magasabb kV érték (ez viszont csökkenti a felvétel kontrasztosságát, ezért intraoralis felvételeket 50–70 kV-tal készítünk), valamint a szűrő használata. A diagnosztikus röntgenkészülékekhez általában alumíniumszűrőt használunk. A fogászati röntgenkészülékekhez 70 kV feszültségig 1,5 mm-es, 70 kV felett pedig minimálisan 2 mm-es alumíniumszűrő alkalmazása kötelező.

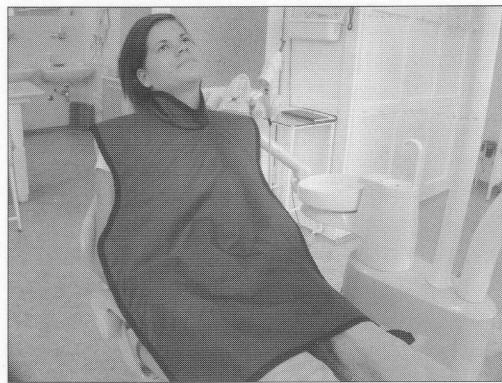
A szűrő a röntgensókból kibocsájtott komplex sugárzásból a leglágyabb sugarakat elnyeli, kiszűri. Ennek következtében a röntgensugár „keményebb”, nagyobb áthatoló képességű lesz. Ugyanakkor a szűrés csökkenti a dózisteljesítményt, emiatt hosszabb expozíciós időt kell alkalmazni. A lágy komponensek egyébként a bőrben és a bőrhöz közeli lágyrészekben nyelődnek el, a képalkotásban nem vesznek részt, mert nem is jutnak el a filmig, de még a mélyebb lágyrészekhez sem. Kiszűrésük csökkenti a bőr sugárterhelését.

A szemlencse a bőrnél sugárérzékenyebb, fiatalok szemlencséje fokozottabban sugárérzékeny. Helyes felvételi technikánál a szemlencsét nem éri közvetlen röntgensugár.

A sugárvédelmi előírások szerint fog- és állcsontfelvételek készítésekor a beteg törzsét érő primer sugárzás elleni védelemként minimálisan 0,25 mm ólom-egyenértékű védőkötényt (242. ábra) vagy védőpajzsot (243. ábra) kell alkalmazni.

A védőkötény használata egyszerűbb, de a pajzsmirigy védelmére a nyakra is legalább 0,25 mm ólom-egyenértékű pajzsmirigyvédő gallért kell felhelyezni. Kaphatók olyan kötények, amelyeken már rajta van a pajzsmirigyvédő gallér (242. ábra), de gyártanak önálló védőgallért is, melyet a régi típusú kötényekhez kiegészítésként kell felhelyezni. Nagyon fontos, hogy a kötény jól illeszkedjen, a vállakat is betakarja, kellő hosszúságú legyen, hogy a gonádokat is takarja, azaz ülő helyzetben térdig érjen.

Természetesen védőkötényt (pajzsmirigyvédő gallér nélkülit) kell adni a betegre távfelvétel és OP-felvétel készítésekor is. OP-felvételhez olyan kötényt használunk, mely a beteg hátát takarja. Legegyszerűbb, ha az átvilágításhoz



242. ábra. Védőkötény ólomgumiból



243. ábra. Védőpajzs
(a gyártó Hager Werken, Németország felvétele)

használt védőkötény csukódása elől legy
Az előírások szer
orvosi röntgenvizsg
zati és gonadterhelé
hesség esetén a vizs
nem indok a terhe

6.4.2. GENETIKAI SUGÁRVÉDELEM

A genetikai sugárvé
nizáló sugárzás káros
ezen keresztül az em

Minden eljárás, am
együttal a genetikai s

A gonadok közve
kötény, illetve ólom
sával érhetjük el.

A felső fogak fel
mer sugárzás is érhe
se főként a felvétel
kező szórtsugárzásb
tására a felvételi sz
ből származó szórt

Teljes fogászati
nőknél kevesebb r
10 μ Sv vagy annál k
felvétel gonáddózis

Néhány extraoralis Sonn

| | gonad né |
|------------------------------------|----------------|
| OP | |
| Nagyított panoráma- felvétel | 3,7 μ Sv (|
| Távfelvétel | 0,5 μ Sv (|

3. táblázat

Gyermekeknél a
növeli az a tény, h
att a gonádok köz
ráshoz.

használt védőkötényt úgy adjuk a betegre, hogy csukódása elől legyen.

Az előírások szerinti sugárvédelemben a fogorvosi röntgenvizsgálatok sugárterhelése (magzati és gonadterhelése) olyan csekély, hogy terhesség esetén a vizsgálat nem kontraindikált és nem indok a terhesség megszakítására.

6.4.2. GENETIKAI SUGÁRVÉDELEM

A genetikai sugárvédelem azt jelenti, hogy az ionizáló sugárzás káros hatásától védjük az egyén és ezen keresztül az emberiség öröklődési anyagát.

Minden eljárás, amely csökkenti a sugárterhelést egyúttal a genetikai sugárvédelmet is szolgálja.

A gonadok közvetlen védelmét az ólomgumi kötény, illetve ólomgumi védőpajzs alkalmazásával érhetjük el.

A felső fogak felvételekor a gonádokat primer sugárzás is érheti. A gonádok sugárterhelése főként a felvétel során a beteg testében keletkező szórt sugárzásból és a primer sugárzás hatására a felvételi székéből, a falakból, a levegőből származó szórt sugárzásból tevődik össze.

Teljes fogászati status gonáddózisa felnőtt nőknél kevesebb mint $0,01 \mu\text{Sv}$, férfiaknál $10 \mu\text{Sv}$ vagy annál kevesebb. Néhány extraorális felvétel gonáddózisát mutatja a 3. táblázat.

Néhány extraorális felvétel gonáddózisa
Sonnabend szerint

| | Gonáddózis | |
|----------------------------|---|--|
| | gonadvédelem nélkül | 0,5 mm Pb-gonadvédelemben |
| OP | – | $1 \mu\text{Sv}$ (100 μrem) |
| Nagyított panorámafelvétel | $3,7 \mu\text{Sv}$ (370 μrem) | $0,5 \mu\text{Sv}$ (50 μrem) |
| Távfelvétel | $0,5 \mu\text{Sv}$ (50 μrem) | $0,05 \mu\text{Sv}$ (5 μrem) |

3. táblázat

Gyermekeknel a gonádvédelem fontosságát növeli az a tény, hogy a kisebb testméret miatt a gonádok közelebb kerülnek a sugárforráshoz.

Gonádvédelemben a fogászati röntgenvizsgálatok gonáddózisa olyan kicsiny, hogy a genetikai károsodás kockázata elhanyagolható a somatikus károsodás kockázatához képest.

6.5. A röntgenezők sugárvédelme

A röntgenezők sugárvédelmét kétféle módszerrel valósíthatjuk meg, a távolsági sugárvédelemmel és védőfal alkalmazásával.

A **távolsági sugárvédelem** azon alapszik, hogy a röntgensugárzás intenzitása a távolság négyzetével fordítottan arányos. Minél távolabbról exponálunk, annál kisebb a sugárterhelés. A sugárvédelemnek ez a formája ott alkalmazható, ahol naponta csak néhány felvétel készül (heti 50 felvételig).

Távolsági sugárvédelem esetén fogászati felvételek készítésekor a sugárforrástól minimálisan 2 m távolságból kell exponálni, de célszerűbb 3 m távolságot tartani. A sugárforrástól mért 2 m sugarú körön belüli területen az exponálás idején a fogorvos vagy asszisztense sohasem tartózkodhat. Ha a vizsgálatához kísérő személy segítségét kell igénybe venni, az nem lehet terhes nő vagy 18 éven aluli személy. A kísérő viseljen védőkötényt és szükség esetén még védőkesztyűt is.

Az **expozíció ideje alatt tilos megérinteni a sugárforrást**. Fogászati röntgenberendezések külső felszínén a dózis néhány mGy/perc értéket is elérhet. Az előírt minimálisan 2 m távolságból a direkt sugárnyaláiban a dózis jelentős, ezért sohasem szabad úgy exponálni, hogy az exponáló személy a direkt sugárnyaláb meghosszabbításába kerüljön.

A fenti előírásokból értelemszerűen következik, hogy a felvétel készítésekor a fogorvos vagy asszisztense sohasem tarthatja a filmet. A sugárhatás ugyanis kumulálódik. Ha az előírást rendszeresen nem tartja be valaki, akkor az elnyelődött dózistól függően az ujjain hyperkeratosis, ulceratio, bőrrák fejlődhet ki.

Védőfal alkalmazása. Speciális fogászati röntgenosztályon az ott dolgozók sugárvédelmét a röntgenhelyiséggel szomszédos külön

kapcsolóhelyiség vagy a röntgenhelyiségből sugárvédő fallal leválasztott kapcsolófülke kialakításával biztosítsuk.

Legcélszerűbb sugárvédett fülkében elhelyezni a készüléket. A röntgenső feszültsége, teljesítménye és a fülke falaitól való távolsága alapján szabvány adja meg a különböző anyagokból épített falak vastagságát. A fal épülhet téglából, betonból, baritvakolattal vagy anélkül, illetve fal-emezek közé helyezett ólomból. (A barit vagy súlypát bárium-szulfát-tartalmú kőzet. A baritvakolat 1 térfogatrész cement, 2 térfogatrész finom barit és 2 térfogatrész durva barit keveréke.)

Kis forgalmú munkahelyen alkalmazható a főkustól legalább 1,5 m távolságban, legalább 2 m magas, legalább 0,7 mm ólom-egyenértékű védőfal (előnyösen háromrészes kivitelben), melyen szemmagasságban 600 cm²-es, legalább 1 mm ólom-egyenértékű ólomüveg figyelőablakot kell elhelyezni.

Magyarországon az orvosi röntgenmunkahelyek sugárvédelmét egységes eljárás szerint vizsgálják. Ha valamelyik munkahely sugárvédelme a hivatalos mérések szerint nem kielégítő, akkor mindaddig nem adnak működési engedélyt, míg a kellő változtatásokat el nem végzik.

A fogászati röntgenberendezések üzemeltetését, fogászati röntgenmunkahelyek létesítését az előzetes tervezet benyújtásával az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat illetékes Megyei Intézete engedélyezi. Enélkül az engedély nélkül tilos röntgenvizsgálatot végezni.

Az ionizáló sugárzással dolgozók a legjobb védelem mellett is sugárhatásnak vannak kitéve. Nemzetközi ajánlásokat dolgoztak ki, amely megszabja a foglalkozásuknál fogva sugárveszélynek kitett személyek megengedhető maximális dózisékat.

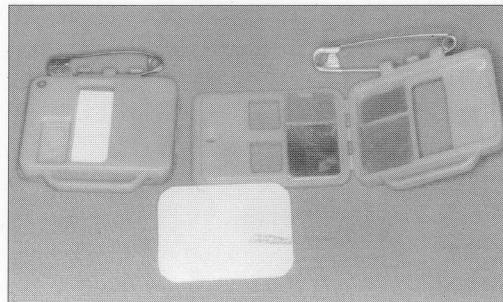
Az effektív dózis egyetlen naptári évben sem haladhatja meg az 50 mSv értéket. Egymást követő 5 naptári évben összegezve nem haladhatja meg a 100mSv effektív dóziskorlátot. A lakosság tagjainak mesterséges sugárforrásokból származó sugárterhelése – az orvosi diagnosztikai és terápiás beavatkozással járó sugárterhelésen kívül – nem haladhatja meg az évi 1 mSv effektív dóziskorlátot.

A röntgenosztályok dolgozóinak sugárterhelését folyamatosan mérik. Fogorvosi röntgenosztályokon a rendkívül kis sugárterhelés miatt erre nincs szükség. A teljesség kedvéért ismertetjük a leggyakrabban alkalmazott filmdozimetriás módszert, mely azon alapszik, hogy az ionizáló sugárzás hatására a film megfeketedik. A film-doziméterek filteranalitikus filmfeketedési módszer alapján működnek. A fénymentes csomagolású, megfelelő érzékenységgű (általában fogfilm méretű) filmet műanyag kazettába helyezik. A kazettában alumínium-, ólom- és rézsűrűk vannak, ezeken keresztül éri a sugárzás a filmet (244. ábra). A filmtartót a köpenyre erősítve meghatározott ideig viselik, majd a filmet kivesszik és az ezzel foglalkozó szakemberek kiértékelik. A filmtartóba egyidejűleg exponálatlan filmet tesznek, így az ellenőrzés folyamatos.

A film feketedéséből meghatározható a dózis és az is, hogy milyen fajta ionizáló sugárzás hozta létre. Ha a kiértékelés során a megengedett dózisonál nagyobb értéket találnak, erről értesítik az érintett személyt és a munkahelyet. Az elszennvedett dózistól függő intézkedéseket foganatosítanak, esetleg bizonyos ideig el is tiltják az illetőt a sugárveszélyes munkától.

A filmplakettet nem helyettesíti, ha a munkahelyen a falra felfüggesztenek egy fogfilmet, vagy ha a röntgenező egy fogfilmet hord a zsebében, s azt előhíva a látott feketedésből próbál következtetni a dózisa. Hiteles, pontos mérésre van szükség, és ezt csak megfelelő eszközzel lehet elvégezni.

Egészen kicsiny, illetve igen nagy dózis mérésére ún. szilárdtest-dózismérőket használnak.



244. ábra. Filmdoziméter

RÖNTGEN

1. Röntgenterminológia

(Ferenczy)

Az átvilágítási ernyőkben elnyelő csonttömbökkel ellátott, általában áteresztő, men ellenkezőleg: a világosak és a sugar

Az átvilágítási kártyák, sötétedések, nyelvények, világosodások, giában ugyanezek a felvételi képre is,

na. Eszerint a fogak tünete a filmen árnyéklágyrészek sötét ve

nyelvények. Minthogy az gyakran félreértést is alkalmaznak, így opacitás, radiopak, dig transparens, rad

fejezéseket. Tulajdonosok is az árnyékol (o

vakból származnak, mat fejezik ki. Minthogy a fogás

latok egyáltalán n egyszerűen a világ

lyett világosodásna helyett sötétedésnek esetekre megtarthatentia kifejezés is.

A betegség felism

záló művelet, a kör

RÖNTGENTECHNIKA

1. Röntgenfizika

(Martonffy)

Az ionizáló sugárzások különböző anyagokban elnyelődve azokat ionizáció révén elektromos vezetővé teszik. Az ionizáló sugárzások két nagy csoportra oszthatók; az elektromágneses és a korpuszkuláris sugárzásra. Az elektromágneses sugárzások összessége az elektromágneses spektrum, ennek részeit mutatja az 1. ábra a hullámhossz, a frekvencia és a fotonenergia szerint csoportosítva. Az ábrán látható, hogy a röntgensugárzás az elektromágneses sugárzások egyik fajtája.

Az elektromágneses sugárzás $h \cdot \nu$ energiájú kvantumokból (fotonokból) áll, ahol h a Planck-féle állandó ($6,62 \cdot 10^{-34}$ Js), ν a sugárzás rezgésszáma. A sugárzás elnyelődése is ilyen egységekben, kvantumokban történik.

Az elektromágneses sugárzások kettős természetűek: bizonyos esetekben hullámként viselkednek, azaz interferenciát, elhajlást mutatnak, máskor meghatározott tömegű és sebességű pontszerű részecskék, melyek a fény sebességével terjednek.

Az ismertebb korpuszkuláris sugárzások az alfa-, a béta- és a neutronsugárzás.

1.1. A röntgensugárzás keletkezése

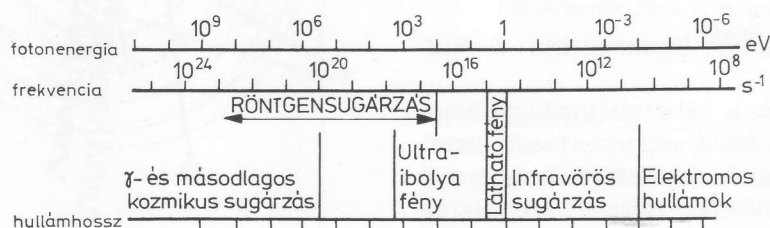
Röntgensugárzás akkor jön létre, amikor szabad elektronok nagy sebességgel valamilyen anyagba ütköznek. A röntgensugárzást ún. röntgencsőben állítják elő. A szabad elektronokat magas olvadáspontú fémszál, általában wolframspirál elektromos izzításával termelik, ugyanis az izzó fémek felületéről elektronok lépnek ki.

Az elektronokat elektromos erőterben gyorsítják a megfelelő sebességre. Az izzó fémszál (katód) és a wolframból készített ellenpólus (anód) között létesített nagyfeszültségű elektromos erőterben az elektronok felgyorsulva az anódra csapódnak. Minél nagyobb a gyorsítófeszültség, annál nagyobb az elektronok mozgási energiája. Például 60 kV feszültségnél az anódra ütköző elektronok sebessége 145 000 km/s (pontosan 145 278 km/s).

$$v = \sqrt{\frac{2e \cdot V}{m}}$$

ahol v az elektron sebessége, e az elektron töltése, m az elektron tömege és V a csőfeszültség.

A röntgencsőben 10^{-5} – 10^{-9} Hgmm vákuumot létesítenek. Erre azért van szükség, hogy a nagy



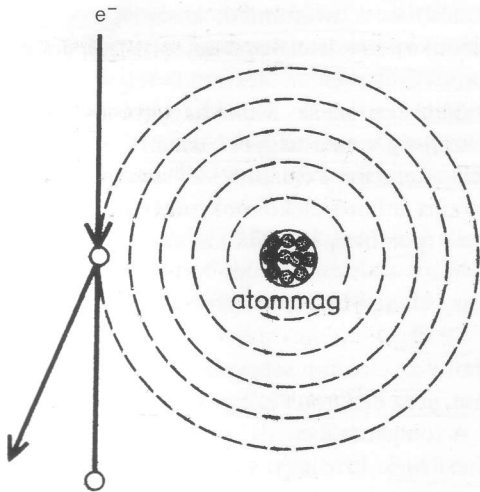
1. ábra. Az elektromágneses spektrum.

Az elektromágneses rezgések a fotonenergia, a frekvencia és a hullámhossz függvényében

sebességgel az anód felé repülő elektronok (más néven katódsugarak) útjába ne kerüljenek gázmolekulák, melyekkel ütközve ionok keletkeznek. Az ionok ugyanis a nagyfeszültség hatására az anód és katód között vezetést okoznak, s a cső átüt. Amikor az elektronok az anódba ütköznek, röntgen-, valamint hő- és fénysugárzás keletkezik.

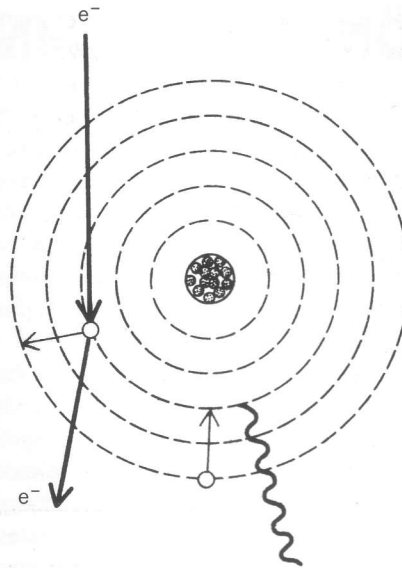
Az elektron és az anód atomjai közötti ütközéskor különböző kölcsönhatások jöhetnek létre, amelyeknek eredménye az ionizáció, a gerjesztés, a karakterisztikus röntgensugárzás, valamint a fékezési röntgensugárzás.

Ionizáció esetén a becsapódó elektron az anód atomjából egy külső héjon lévő elektront véglegesen kitesztít, így az atomból pozitív ion lesz (2. ábra). A becsapódó elektron energia-vesztése csekély, hő formájában mutatkozik meg. A kitesztított elektron egy másik atomhoz kötődve azzal negatív iont képez.



2. ábra. Az elektron és az anód atomjai közötti kölcsönhatás. **Ionizáció**

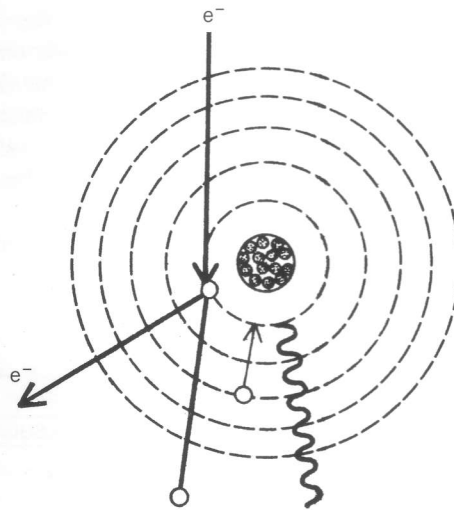
A **gerjesztés** a külső elektronhéjak között zajlik le: a becsapódó elektron az anód atomjának egyik külső elektronhéjáról valamelyik elektront még külsőbb, magasabb energiájú pályára löki és ezáltal az atom gerjesztett állapotba kerül (3. ábra). Ezután nagyon rövid idő alatt visszarendeződik az eredeti állapot, a két



3. ábra. Az elektron és az anód atomjai közötti kölcsönhatás. **Gerjesztés**

elektronhéj közötti kicsiny energiakülönbség fény- vagy hőenergia formájában jelenik meg.

A **karakterisztikus röntgensugárzás** keletkezésekor a becsapódó elektron az anód atomjának belső, pl. K-héján lévő elektront kita-



4. ábra. Az elektron és az anód atomjai közötti kölcsönhatás.

Karakterisztikus röntgensugárzás

szítja az atomból. Elszívja, amennyi a kitesztított elektron kinetikus energiájának összege. A kitesztított elektron a külső héjról beugrik egy másik héjra, ahol az energiakülönbség röntgensugárzás formájában keletkezik. A kitesztított elektron energiájának egy részét az anód anyagának hőenergia formájában veszíti el, az anód anyagának hővezetési tulajdonságaitól függően. A kitesztított sugárzást K-sugárzásnak nevezzük aszerint, hogy a K-héjról származik.

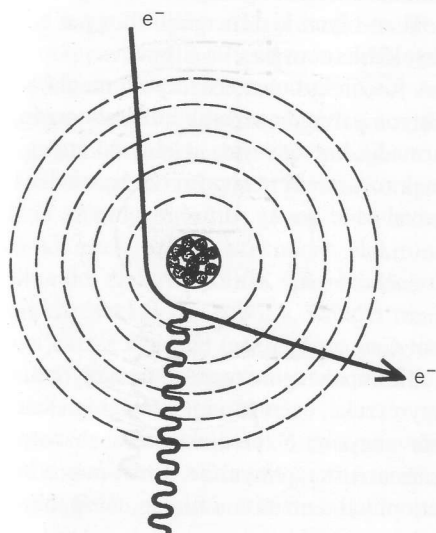
A **fékezési röntgensugárzás** keletkezik, amikor a becsapódó elektron az anód anyagának közelébe kerül, és az atomok pozitív töltésű magjait vonzza az elektront a mag felé. A vonzás az elektront a mag felé húzza, miközben az elektron energiájának egy részét az atom röntgensugárzás formájában veszíti el. A röntgensugárzás energiája az elektron energiájának egy részét veszíti el (5. ábra). Az elektron energiája lépészetesen történő energiavesztés miatt ezért a keletkező röntgensugárzás energiája az elektron energiájának egy részét veszíti el. Előfordulhat az is, hogy a becsapódó elektron ütközik az anód val-



5. ábra. Az elektron és az anód atomjai közötti kölcsönhatás. **Fékezési röntgensugárzás**

sztítja az atomból. Eközben annyi energiát veszít, amennyi a kilépési munka (W) és a kitesztított elektron kinetikus energiájának (E_k) összege. A kitesztított elektron helyére egy külső héjról beugrik egy elektron és a két héj közötti energiakülönbséget az atom röntgensugárzás formájában kisugározza (4. ábra). Az egyes elektronhéjak energiaszintje meghatározott, az anód anyagára jellemző, így tehát a keletkezett röntgensugárzás is meghatározott energiájú, az anód anyagára jellemző. A keletkezett sugárzást K-, L-, M- stb. sugárzásnak nevezzük aszerint, hogy melyik elektronhéjról származik.

A **fékezési röntgensugárzás** úgy jön létre, hogy a becsapódó elektron az anód atommagjának közelébe kerül, a pozitív mag nagy erővel vonzza az elektront és részleges magközeli pályára tereli, miközben az elektron hirtelen lefékeződik. A lefékeződésből származó energiát az atom röntgensugárzás formájában kisugározza (5. ábra). Az elektronok lefékeződése lépcsőzetesen történik, különböző mértékű, ezért a keletkezett röntgensugár nagyon sokféle energiájú összetevőből áll, spektruma folytonos. Előfordulhat az is, hogy az elektron beleütközik az anód valamelyik atomjának magjába,



5. ábra. Az elektron és az anód atomjai közötti kölcsönhatás. **Fékezési röntgensugárzás**

ba, teljesen lefékeződik és teljes energiáját röntgensugárzás formájában kisugározza, a keletkezett röntgensugár energiája ekkor eléri az elméletileg lehetséges felső határt. Ennek a maximális energiájú röntgensugárzásnak a hullámhossza az ún. határ-hullámhossz (λ_{\min}), mely a *Duane-Hunt-képlet* alapján

$$\lambda_{\min} = \frac{12,4}{kV},$$

ahol kV az anód és a katód közötti gyorsítófeszültség számértéke.

Az elektronok gyorsítására használt energiának annál nagyobb része alakul röntgensugárzássá, minél nagyobb az anód rendszáma és minél nagyobb sebességgel ütköznek az anódba az elektronok. A röntgendiagnosztikai tartományban pl. 100 kV gyorsítófeszültség hatására a wolframanódban az energia alig 1%-a alakul röntgensugárzássá, a többi része hővé alakul.

1.2. A röntgensugárzás tulajdonságai

- Elektromágneses sugárzás, egyenes irányban terjed, fénysebességgel halad.
- Egyenes irányú terjedésétől elektromos vagy mágneses térben nem téríthető el. Kristályrendszereken szóródik.
- Pontszerű sugárforrásból a tér minden irányába terjed, gömbfelszínszerűen oszlik meg.
- Ézékszerveinkkel közvetlenül nem érzékelhető.
- Anyagokon vagy áthalad, vagy azokkal kölcsönhatásba lép és ennek eredményeként vagy elnyelődik, vagy szóródik.

1.3. A röntgensugárzás elnyelődése

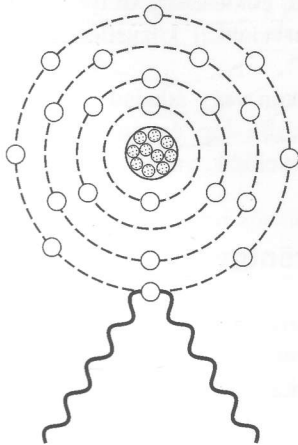
A röntgensugárzás ha az anyaggal kölcsönhatásba kerülve részben elnyelődik, nem csak mennyisége csökken, gyengül; hanem minősége is megváltozik. Teljes mértékben semmilyen anyagban sem nyelődik el. Az elnyelődés elsősorban az anyag rendszámától és a röntgensugárzás hullámhosszától függ (a kisebb hul-

lámhosszúságú, azaz nagyobb energiájú sugárzás kevésbé nyelődik el), de befolyásolja az anyag rétegvastagsága és sűrűsége is.

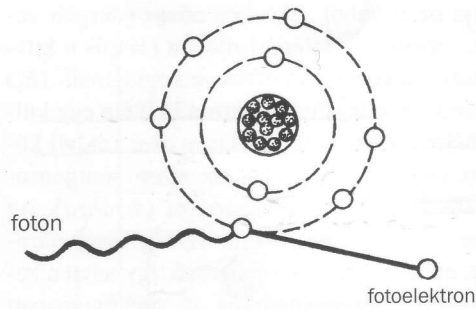
| **Felezőréteg-vastagságnak** nevezzük valamely anyagnak olyan vastag rétegét, mely a sugárzás felét elnyeli. Ez annyit jelent, hogy egy ilyen réteg elnyeli a sugárzás felét, a következő ilyen réteg elnyeli a megmaradt 50%-nak a felét, a következő ilyen réteg a megmaradt 25%-nak a felét stb. nyeli el. Azonos anyag esetén a felezőréteg-vastagság jellemzi a röntgensugár minőségét, pl. 2 mm Cu vagy 2 mm Al felezőréteggű a sugárzás.

A röntgensugár elnyelődésekor atomi méretekben a következő kölcsönhatások játszódnak le: klasszikus szóródás, fotoelektromos abszorpció, Compton-effektus és párképződés.

| **Klasszikus- vagy Thompson-szóródás** (6. ábra). A kisenergiájú röntgenfoton az elnyelő közeget atomjának egyik külső héján lévő elektronnak átadja teljes energiáját, a röntgenfoton megszűnik. A héjelektron a kapott energiát igen rövid idő alatt ugyanolyan röntgenfoton formájában leadja, csak ennek a sugárzásnak az iránya más. Ezt úgy észleljük, mintha a röntgenfoton csak irányt változtatna. Fogászati röntgenvizsgálatkor a 10 keV-nél kisebb energiájú fotonok nyelődnek el így, ez az összes elnyelődés 8%-a. Ez a sugárzás alig járul hozzá a



6. ábra. A röntgensugár elnyelődése. **Klasszikus-szóródás**



7. ábra. A röntgensugár elnyelődése. **Fotoelektromos abszorpció**

film feketedéséhez, mert igen kevés jut el belőle a filmre.

| A **fotoelektromos abszorpció** (7. ábra) úgy jön létre, hogy a röntgenfoton nekiütközik az elnyelő anyag atomjában, legnagyobb valószínűséggel a K héján lévő egyik elektronnak és teljes energiáját átadva megszűnik. Az átadott energia kiszakítja az elektront a mag kötéséből, és még mozgási energiát is adhat neki. A kiszakított elektront **fotoelektronnak** nevezzük. A fotoelektron hiánya azt jelenti, hogy az atomból pozitív töltésű ion lett. A kiszakított elektron helyére külsőbb pályáról egy másik elektron ugrik be, az energiakülönbség karakterisztikus röntgensugárzásként kisugárzódik, ez azonban olyan kis energiájú, hogy a betegben elnyelődik, nem jut el a filmre.

A fotoelektromos abszorpció megközelítően arányos a röntgensugarak hullámhosszával (λ) harmadik hatványával, az elnyelő anyag atomjának megfelelő rendszám (Z) harmadik hatványával és az anyag sűrűségével (ρ):

$$\text{abszorpció} \sim C \cdot \lambda^3 \cdot Z^3 \cdot \rho,$$

ahol C az arányossági tényező.

A kompakt csont rendszáma nagyobb, mint a lágyrészeké, ezért azonos vastagság esetén 6,5-ször nagyobb a fotoelektromos abszorpcióból származó sugárelnyelése. Ezért más a két szövet optikai denzitása a filmen, tehát jól megkülönböztethetők.

Fogászati röntgen vizsgálatnál az elnyelődés 30%-a fotoabszorpcióval történik.



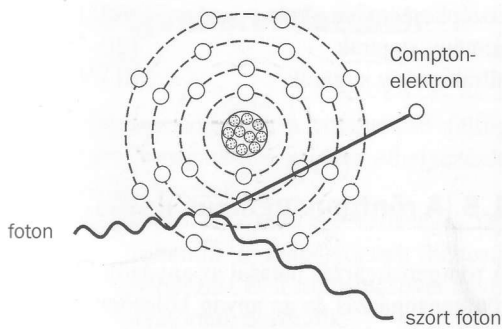
8. ábra. A röntgensugár **Compton-szóródás**

| A **Compton-effektus** (8. ábra) úgy jön létre, hogy a röntgenfoton elektronokkal vagy atommagokkal ütközik, a rugalmasan, hasonlóan. Energiájának egy részét az elektronnak, a foton energiájának egy részét a foton elveszti, így a foton energiája csökken, a hullámhossza megnő. A megmaradt energiájú sugárzás tovább halad, az eltalált elektront pedig a Compton-effektus okozta Compton-szóródás okozza. Az első szóródás után a foton energiája tízszeresen sokszorosra nő.

A Compton-szóródás a röntgensugár elnyelődésének egyik formája, az elnyelő atom elemeinek elektronsűrűségétől (azaz az atomok elektronok száma) függ. A Compton-szóródás a röntgensugár elnyelődésének 62%-a Compton-szóródás, a röntgensugár elnyelődésének 38%-a klasszikus szóródás.

A fotoelektromos abszorpció és a Compton-szóródás mellett a röntgensugár elnyelődésének egy másik formája a klasszikus szóródás. A fotoelektromos abszorpció és a Compton-szóródás mellett a röntgensugár elnyelődésének egy másik formája a klasszikus szóródás. A fotoelektromos abszorpció és a Compton-szóródás mellett a röntgensugár elnyelődésének egy másik formája a klasszikus szóródás.

| A **párképződés** (9. ábra) úgy jön létre, hogy a röntgenfoton az elnyelő anyag atomjának megfelelő rendszám (Z) harmadik hatványával és az anyag sűrűségével (ρ):



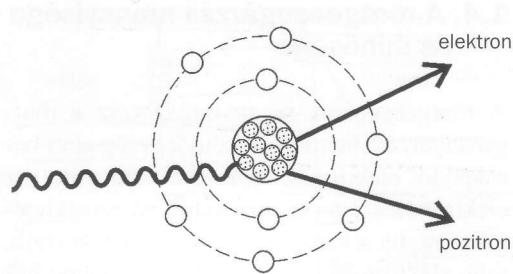
8. ábra. A röntgensugár elnyelődése.
Compton-szóródás

A **Compton-effektus** úgy jön létre (8. ábra), hogy a röntgenfoton az anyagban lévő szabad elektronokkal vagy valamely atom héjelektronjával ütközik, a rugalmas golyók ütközéséhez hasonlóan. Energiájának egy részét átadja az elektronnak, a foton irányt változtat, s az energiavesztésének megfelelően hullámhossza megnő. A megváltozott irányú és hullámhosszú sugárzást szórt sugárzásnak nevezük, az eltalált elektront **Compton-elektronnak**. Az első szóródás után a röntgenfoton természetesen sokszoros további szóródást szenvedhet.

A Compton-szóródás az elnyelő anyag alkotóelemeinek elektronsűrűségétől (1 cm^3 -ben levő elektronok száma) függ. A csontban az elektronsűrűség nagyobb mint a lágyszövetekben. Fogászati röntgenvizsgálatok esetén az elnyelődés 62%-a Compton-szóródással történik. A szórt sugárzás a terápiában hasznos, a diagnosztikában káros, mert csökkenti a képélességet.

A fotoelektromos abszorpció és a Compton-effektus az elnyelő anyag atomjából elektront szakít ki, ezek az ún. szekunder elektronok. A szekunder elektronok más elektronokkal történő ütközésekkel (és ebből származó ionizáció, gerjesztés vagy hő formájában) vagy (kisenergiájú) fékezési röntgensugárzás létrehozásával adhatják le energiájukat.

A **párképződés** esetén (9. ábra) a nagyenergiájú röntgenfoton az atommag erőterének közelében teljesen megszűnik és energiájából egy pozitív töltésű elektron (pozitron) és egy negatív töltésű elektron keletkezik. A sugárzás energiája tömeggé alakul. A nyugvó elektron töme-

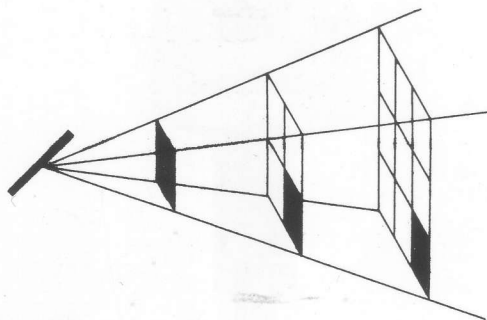


9. ábra. A röntgensugár elnyelődése.
Párképződés

ge $0,51 \text{ meV}$, ezért legkevesebb $2 \times 0,51 \text{ meV} = 1,02 \text{ meV}$ energiájú sugárzás szükséges a párképződéshez. Ha a sugárzás energiája ennél nagyobb, a többlet a pozitron és az elektron között változó arányban oszlik meg, azoknak mozgási energiát adva.

Az orvosi diagnosztikában alkalmazott röntgensugárzás elnyelődése döntően fotoelektromos abszorpció és Compton-szóródás útján történik.

Az elnyelődéstől függetlenül a röntgensugárzás mennyisége a sugárforrástól való távolsággal is csökken, ez az ún. **geometriai sugárfogyás**. Tekintettel arra, hogy a sugárzás gömbfelszínen oszlik meg, a röntgensugár intenzitása a sugárforrástól mért távolság négyzetével fordítottan arányos. Kétszeres távolságnál az intenzitás $1/4$ -ére, háromszoros távolságnál $1/9$ -ére csökken (10. ábra). Ez a jelenség az alapja az ún. távolsági sugárvédelemnek.



10. ábra. A geometriai (négyzetes) sugárfogyás

1.4. A röntgensugárzás mennyisége és minősége

A röntgensugarak mennyisége, azaz a röntgensugárzás intenzitása az időegység alatt becsapódó elektronok számával arányos. Az elektronok száma az izzó katód hőmérsékletétől függ, ha a katód magasabb hőfokon izzik, több elektron lép ki a felületéről. A katód hőmérsékletét a fűtőáram erősségének növelésével fokozhatjuk. A röntgensugárzás mennyiségét a csőáram erőssége fejezi ki, milliamperben mérjük (mA).

A röntgensugarak minősége a becsapódó elektronok sebességétől függ, melyet a csőre kapcsolt feszültséggel szabályozhatunk. A feszültség növelésével nő az elektronok becsapódási sebessége, a keletkezett röntgensugár nagyobb energiájú, áthatóbb, azaz „keményebb”, rövidebb hullámhosszú. A csőfeszültség csökkentésekor kisebb energiájú, kevésbé áthatoló, „lágyabb”, hosszabb hullámhosszú röntgensugarak keletkeznek. A csőfeszültséget kilovoltban mérjük (kV).

A kV értékek alapján a keletkezett röntgensugarak:

| | |
|------------------------------|----------|
| ultralágy, vagy határsugarak | 5–20 kV |
| lágú sugarak | 20–60 kV |

| | |
|---------------------|----------------|
| középkemény sugarak | 60–120 kV |
| kemény sugarak | 120–250 kV |
| ultrakemény sugarak | 250 kV felett. |

1.5. A röntgensugárzás hatásai

A röntgensugárzás hatásai az anyagon áthaladó röntgensugárzás és az anyag kölcsönhatásából adódnak.

- Az anyagokat ionizálja, illetve bizonyos anyagok (pl. szelén, tellur, kadmium-szulfid) vezetőképességét megváltoztatja.
- Egyes anyagok a sugárhatás idején fényt bocsátanak ki, szcintillálnak, fluoreszkálnak. Ezen alapszik az átvilágító ernyő, a képerősítő, az erősítő ernyő (fólia) és a szcintillációs sugárdetektor működése.
- Fénytől elzárt fényérzékeny emulzióan feketedést vált ki. Ez teszi lehetővé röntgenfelvétel készítését.
- Kémiai hatást hoz létre, elsősorban bizonyos kémiai kötések felbontásával.
- Hőt termel.
- Jellegzetes biológiai hatása van, ezekkel foglalkozik a sugárbiológia. Biológiai hatásán alapszik a sugárkezelés.

2. Röntgenberendezés

(Martonffy)

A röntgenberendezés működésére, mozgására szolgáló szerkezetek.

A röntgenső egy egységet, valamint kapcsolóberendezést, röntgengenerátort tartalmaz.

2.1. A röntgenső

A röntgenső 1000 V üvegbúra, melynek katód (katód) és anód (anód) elektrodái vannak. A katód a röntgenső ramspirál, melyet a röntgenső fűtőáram felhívja. A katód elektronok válnak ki a röntgenső katódkehely veszi ki a röntgenső feszültségű. Az elektronok mintegy fókuszálódnak.

Ha a katód és az anód közötti feszültségkülönbséget hozza létre az anód felé irányuló elektronok energiája röntgensugárzássá válik, illetve fényé.

Az anód feszültsége a röntgenső anód alatti röntgensugárzás arányos. A röntgenső anódot a 74-es számú wolfram-molibdénium keveréknek olvadáspontra melegítik.

Az anód felszínén a röntgenső elektronok becsapódnak (terhelhető fókusz). A fókusz nagyságát az anód mérete és a katódkehely mérete határozza meg. A tényleges fókusz nagyságát az anód mérete és a katódkehely mérete határozza meg. A röntgensugár a fókusz irányába terjed. A fókusz alakú. Vonal alakú fókusz négyzet alakú.

2. Röntgenberendezések

(Martonffy)

A röntgenberendezések a röntgenső felfüggesztésére, mozgására, a beteg elhelyezésére szolgáló szerkezetek.

A röntgenső működéséhez szükséges tápegységet, valamint a szabályozását biztosító kapcsolóberendezést és a röntgensövet együtt röntgenerátornak nevezzük.

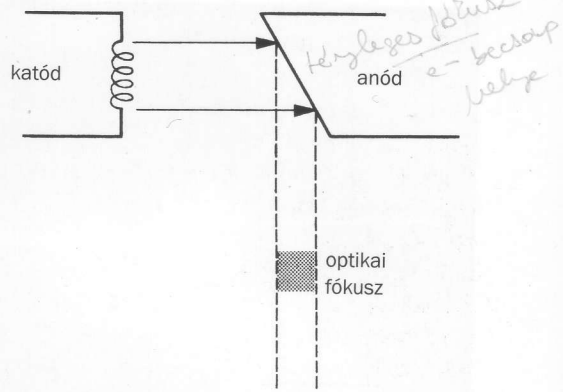
2.1. A röntgenső

A röntgenső 10^{-5} – 10^{-9} Hgmm légritkítású üvegbúra, melynek egyik végébe a katódot (negatív elektród), másik végébe az anódot forrasztják. A katódot általában vonal alakú wolframspirál, melyet az ún. fűtőáram $2500\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra, fehérrizzásig hevít. Az izzó katód felületéről elektronok válnak ki. A katódot teknő alakú katódkehely veszi körül, mely a katóddal azonos feszültségű. Az elektronokat a katódkehely mintegy fókuszálja.

Ha a katód és az anód között nagy feszültségkülönbséget hoznak létre, akkor az elektronok az anód felé áramolnak. Az anódba ütköző elektronok energiájának kb. 1%-a alakul át röntgensugárázássá, az energia 99%-a pedig hővé, illetve fénné.

Az anód feszültségének növelésével és magas rendszámú anód alkalmazásával a keletkezett röntgensugárzás aránya növelhető. Ezért készítik az anódot a 74-es rendszámú wolframból (illetve wolfram-molibdén-rénium ötvözetből), melynek olvadáspontja is igen magas $3372\text{ }^{\circ}\text{C}$.

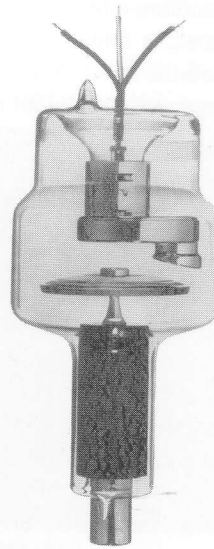
Az anód felszínének azt a részét, ahová az elektronok becsapódnak *tényleges fókusz*nak (terhelhető fókusz) nevezzük. A *tényleges fókusz* nagyságát az izzó katód alakja, nagysága és a katódkehely geometriai kialakítása szabja meg. A *tényleges fókusz*ból merőlegesen kilépő röntgensugarakat irányítjuk az ábrázolni kívánt tárgyra. A *tényleges fókusz*nak a röntgen fősugár irányára merőleges vetülete az *optikai fókusz*. Vonal alakú *tényleges fókusz* esetén az optikai fókusz négyzet alakú (11. ábra).



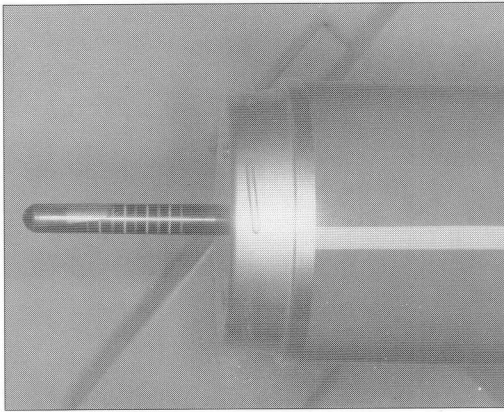
11. ábra. Az optikai fókusz

A leképezést az optikai fókusz nagysága szabja meg. Ideális a pontszerű fókusz lenne, a fókusz méretét azonban a hőterheléshez kell igazítani. A vonalfókusz az az előnye, hogy nagyobb területen oszlik el a keletkezett hő.

A nagy teljesítményű diagnosztikus röntgensővek két fókuszúak, kis és nagy fókuszt tartalmaznak. A hőterhelés csökkentésére a működés idején az anódtányér forog, ezáltal a fókusz helye változik. A két fókuszhoz megfelelően az anódtányér peremének két különböző hajlásszöge (biangulix) van (12. ábra). Ezek a csövek erősebben terhelhetők.



12. ábra. Forgóanódú röntgenső fényképe



13. ábra. Üreges anódú röntgenső anódja

Különleges kiképzésű, a felszíni terápiás röntgensővekhez hasonló ún. üreges anódú röntgensövet alkalmaznak a nagyított panorámafelvételek készítéséhez. A katóddal szemben lévő kúp alakú anód 1,5–2 cm vastag fémcső, mely kinyúlik a röntgensőből. Az anódtányér 0,2 mm-es aranyozott rézlemez. Az anódcső belsejében, a csővel párhuzamosan haladó elektronok az anódba ütközve röntgensugárzást keltenek. A röntgensugarak egy része a vékony lemezen áthatolva kisugárzódik (13. ábra).

Túlterhelés következtében kialakuló hőfejlődés miatt az anódon a fókuszban finom repedések keletkeznek, a felület egyenetlenné válik, majd felmaródik. A keletkező röntgensugár egy részét az egyenetlen felületű anód elnyeli. Magas hőmérsékleten az izzó katód anyaga elgőzölög.

Ha az anód túlhevül, a negatív félperiódusban elektronokat bocsájt ki, tehát katódként működik, a cső „visszagyújt”. Az egyes felvételek közötti szünetekben az anód lehül. Fogfelvételeknél az egyes felvételek között a film elhelyezésére, a beállításra fordított idő általában elegendő a lehülésre. Ha azt észleljük, hogy a röntgenső fémházja kifejezetten meleg, iktassunk be szünetet.

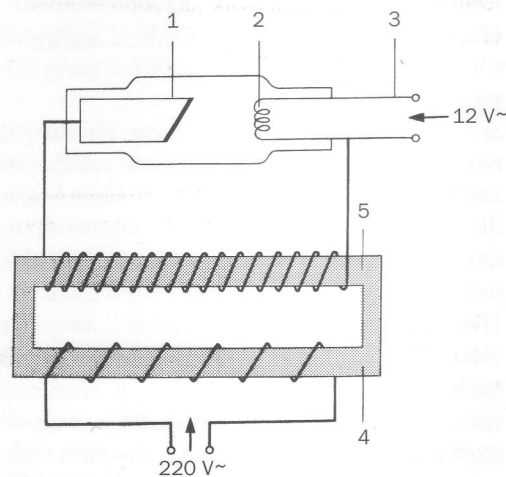
A röntgensőveket feleslegesen terheli a túl-expozíció, ennek elkerülésére megfelelő filmet kell használni és az expozíciós időt a sötétkamrai munkával össze kell hangolni.

2.2. A röntgengenerátor

A röntgengenerátor a tápegység, a vezérlőszervek és a hozzáákapcsolt sugárforrás összefoglaló neve. Biztosítja a röntgensugárzás előállításához szükséges anódfeszültséget és fűtőáramot, valamint a megfelelő üzemmódot (átvilágítás, felvétel, rétegfelvétel stb.). Lehetővé teszi az expozíciós idő széles határok közötti kiválasztását, védi a röntgensövet a túlterheléstől.

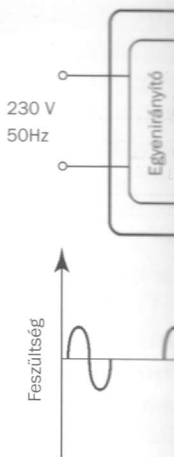
Egyik legfontosabb része a nagyfeszültségű *transzformátor*, mely a 220 V-os vagy 380 V-os váltóáramú feszültséget a kívánt kV értékre transzformálja. A katód izzításához szükséges 10–12 V-os feszültséget a fűtőtranszformátor adja (14. ábra). A röntgensővön csak akkor folyik áram, ha az anód pozitív feszültségű. A váltóáramnak abban a félperiódusában, amikor az anód negatív, nincs elektronáramlás, azaz a röntgenső szelepszertűen, ventilszertűen zár, egyenirányítóként működik. Ez azt jelenti, hogy a váltóáramnak csak a fél periódusát használja ki röntgensugár előállítására.

A régebbi fogászati röntgenkészülékek döntő többsége így működik, ezért ezeket félhul-



14. ábra. Nagyfeszültségű transzformátor

- 1: anód
- 2: katód
- 3: fűtőáramkör
- 4: transzformátor primer tekercse
- 5: transzformátor szekunder tekercse

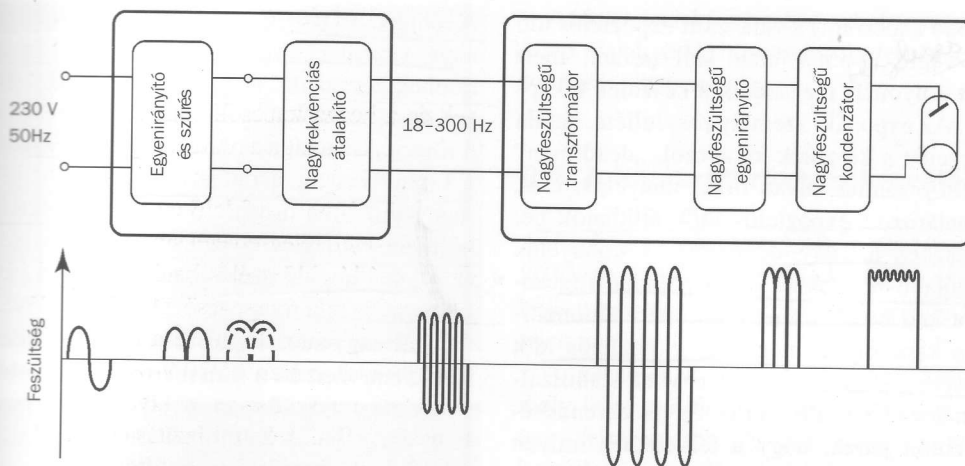


15. ábra. Nagyfrekvenciás

lámú készülékeknek kicsi, mert a keletkező röntgensugárzást, pulzáló.

A nagyobb teljesítményű egyenirányítóval működő röntgenkészülékek 18–300 kHz-es, szűk sávú feszültséget kapcsolnak ki a röntgensőből, ezáltal dózisteljesítményük magasabb (15. ábra). Az azonos felhullámú készülékekkel szemben több és nagyobb röntgensugárzást termelnek (mert azonos idő alatt több röntgensugárzás fog keletkezni, mint a kV és mA értékek alapján számítható). A nagyobb dózisteljesítményű készülékek 20%-kal kisebb, a kisebb dózisteljesítményű készülékek 20%-kal kisebb a dózisteljesítményük.

A kapcsolószabványok elkészítéséhez szükséges a kV és mA értékek alapján számítható dózisteljesítmény, mint a kV és mA értékek alapján számítható dózisteljesítmény. A fogászati röntgenkészülékek közös fémházában a hőelvezetést is szolgálják. Ezek a készülékek



15. ábra. Nagyfrekvenciás fogászati röntgenkészülék

lámú készülékeknek nevezzük. Teljesítményük kicsi, mert a keletkezett röntgensugárzás szagatott, pulzáló.

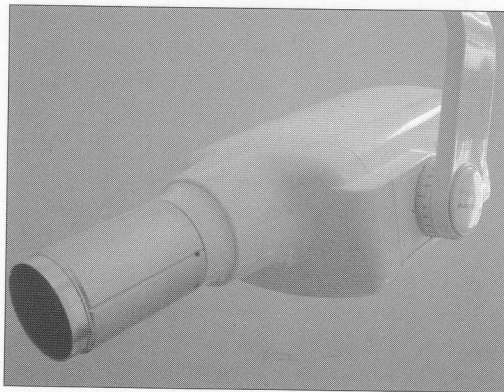
A nagyobb teljesítmény érdekében *egyenirányítókat* alkalmaznak. Újabban gyártnak egyenirányítóval működő *nagyfrekvenciás* fogászati röntgenkészülékeket is. Ezekben kb. 18–300 kHz-es, stabil, közelítőleg egyenfeszültséget kapcsolnak az anód és a katód közé, ezáltal dózisteljesítményük nagyobb és állandó (15. ábra). Az azonos nominális feszültségű félhullámú készülékekhez viszonyítva keményebb és nagyobb intenzitású röntgensugárzást termelnek (mert az alacsony energiájú komponensek egy része nem termelődik). A keményebb sugárzás folytán a bőr sugárterhelése 20%-kal kisebb, a mélyebb rétegekben 10%-kal kisebb a dózisterhelés.

A kapcsolóasztalon választjuk ki a felvétel elkészítéséhez szükséges expozíciós időt, valamint a kV és mA értéket. A modern extraoralis berendezésekben ún. megvilágítási automata méri a filmre jutó sugármennyiséget és ennek alapján számítógép választja ki a megfelelő expozíciós paramétereket.

A fogászati röntgenkészülékek egytánc rendszerűek, azaz a röntgenső és a transzformátor közös fémházban van, melyet szigetelő (és a hőelvezetést is szolgáló) olaj tölt ki (16. ábra). Ezek a készülékek általában egy meghatározott

kV értéken működnek. Néhány készüléken a kV érték is változtatható, pl. 60 és 70 kV választható a *Heliodent MD (Sirona)* és *Elytis (Kodak)* készülékeken, vagy 50–70 kV értékek közül választhatunk a *Prostyle Intra (Planmecca)* készüléken.

A fogászati röntgenberendezésekben a mA érték adott, nem változtatható, így kapcsolóasztalra nincs szükség, csak az expozíciós időt kell megválasztani, melyet *időkapcsoló órán* állítunk be. Csak elektromos órával ellátott készülék használatát engedélyezik (a mechanikus órák főleg az 1 sec alatti expozíciós idők esetében pontatlanok). Biztonsági okokból az exponáló kapcsolót (gombot/érintésre

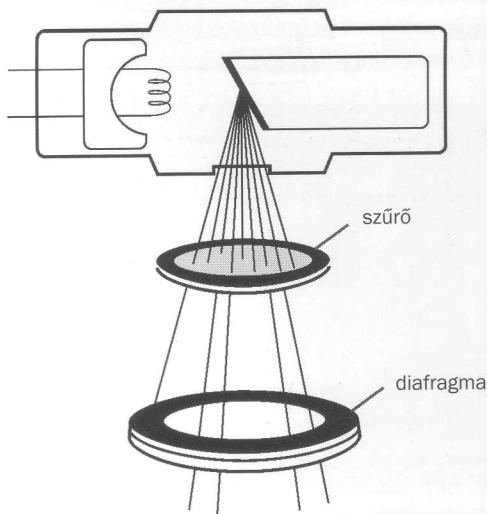


16. ábra. Fogászati röntgenberendezés. Planmecca Prostyle Intra

működő kapcsolót) a választott expozíciós idő alatt végig nyomás alatt kell tartani, mert amint a nyomás megszűnik a készülék kikapcsol. (Az exponáló személy rosszulléte, halála stb. esetén a készülék kikapcsol, „dead man” control.) Vannak olyan órák, melyeken csak meghatározott expozíciós idők állíthatók be. Ez részben hátrány, de kezelésük könnyebb. A legújabb típusoknál a vizsgálandó fogcsoportot kell beállítani az órán, mely automatikusan kapcsolja a megfelelő expozíciós időt (és esetleg a kV értéket) és egyben stabilizálja a hálózati feszültséget is. Egyes berendezések külön jelzik, hogy a felvétel milyen expozíciós időt választott az automatika, így a sugárterhelés pontosan mérhető.

2.3. Szűrő, diafragma, tubus

Minden röntgenkészülékbe szűrőt kell tenni, mely az igen lágy röntgensugarakat elnyeli. Ezek a sugarak ugyanis nem vesznek részt a képalkotásban, csak a bőr és lágyszövetek sugárterhelését növelik és fokozzák a szórt sugárzás mennyiségét. Az újabb készülékekbe a szűrőt biztonsági okokból beépítik, nem kivehető, a sugárkilépő ablakhoz helyezik (17. ábra).



17. ábra. Szűrő és diafragma

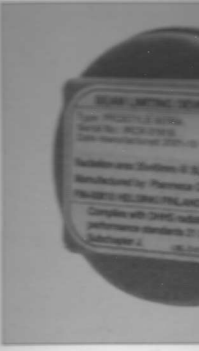
A röntgensző üvegfa, az olaj és az olajtartály anyaga is elnyel a sugárzásból, ezt a sző önszűrésének nevezzük. A teljes szűrés a szűrő és a sző önszűrésének összege. 70 kV-ig a fogászati röntgenkészülékek teljes szűrésének legalább 1,5 mm Al egyenértékűnek kell lennie.

A sugárkapun kilépő szűrt sugárnyalábot a beépített diafragma beszűkíti. Alkalmazásának az a célja, hogy a megsugárzott területet csökkentse.

A túl nagy sugárkapu felesleges sugárterhelést jelent, mert ha a film méreténél nagyobb a megsugárzott terület, az növeli a szórt sugárzást, ezáltal a felvétel minősége romlik, csökken a kontrasztossága. A diafragma anyaga fém, általában ólom. A fogászati röntgenkészülékekben a leggyakrabban olyan diafragmát használnak, melynek közepén kerek lyuk van. A röntgensugarak csak a lyukon jutnak ki, többi részük az ólomban elnyelődik. A kilépő sugárnyaláb köralakú (17. ábra). Alkalmaznak téglalap alakú diafragmát is, ez lehet beépített vagy a filmtartóra, illetve a tubus film felőli végére illeszthető (18/a, b. ábra), de beépíthetik a tubus röntgensző felőli végébe is (18/c. ábra).

A sugárnyalábot pontosan a vizsgálni kívánt területre kell irányítani. Ezt segíti elő a sugárkapu elé illesztett tubus (position-indicating device), mely biztosítja az állandó fókusztárgy távolságot és megkönnyíti a célzást (a sugárnyaláb méretét nem befolyásolja). A fókusztárgy távolság nem lehet 20 cm-nél kisebb és lehetőség szerint 40 cm legyen (⇒ képalkotás geometriája). A régebbi csúcsos tubust alkalmaznak, melynek keresztmetszete kör- vagy téglalap alakú (19. ábra). Csúcsos tubus esetén a röntgensugár áthalad a tubus anyagán és abban szórt sugárzást vált ki, nyitottvégű tubuson át a sugár közvetlenül jut a tárgyra. A tubus lehet fém bélésű, ennek az a célja, hogy elnyelje a szűrőben és a diafragmában keletkező szórt sugárzást.

Előírás, hogy a tubus végén a megsugárzott terület átmérője maximálisan 6 cm lehet. A 6 cm átmérőjű megsugárzott terület megválasztása kompromisszum, így occlusalis és introrális felvételek is készíthetők egyetlen tubussal.



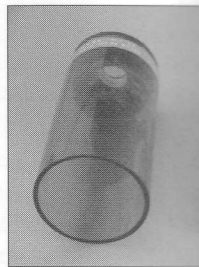
18/a. ábra. Tubusra



18/b. ábra. Tubusra illeszthető diafragma a röntgensző felőli végére



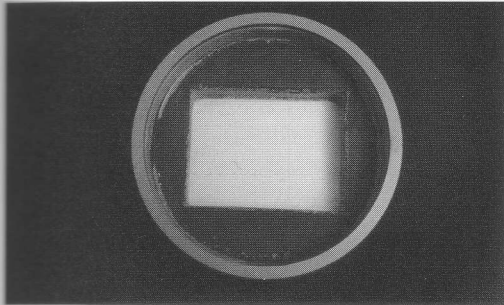
18/c. ábra. Tubusra illeszthető diafragma belsejébe a szűrő felőli végére



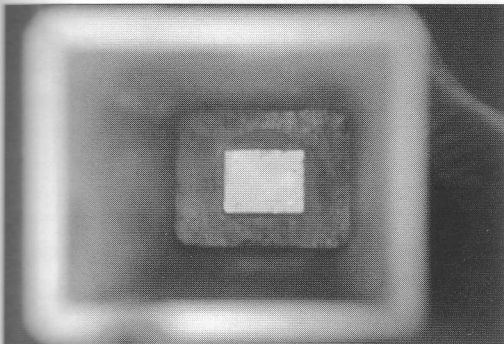
19. ábra. Tubusok



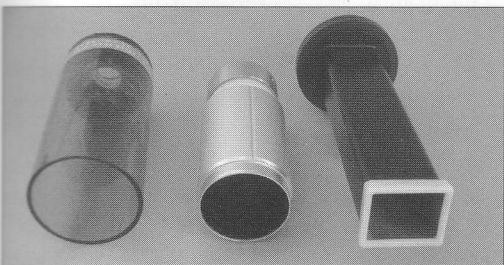
18/a. ábra. Tubusra illeszthető téglalap alakú diafragma



18/b. ábra. Tubusra illeszthető téglalap alakú diafragma a röntgensugár irányából



18/c. ábra. Tubusba beépített téglalap alakú diafragma belseje a film irányából



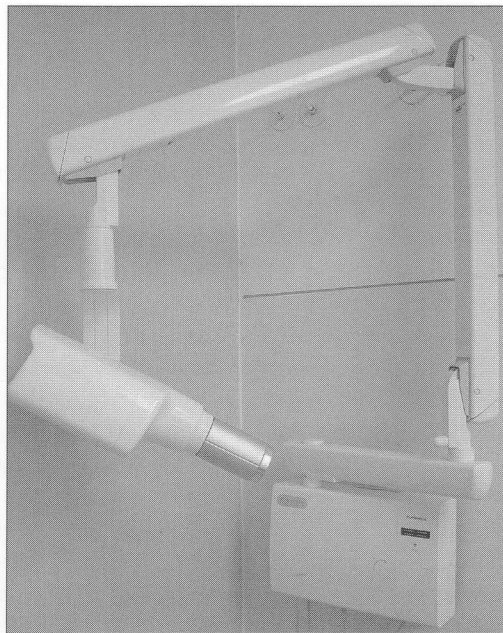
19. ábra. Tubusok

A téglalatestalakú tubusban a diafragma is téglalap alakú, csak intraoralis fogfelvételek készítésére alkalmas.

2.4. A fogászati röntgenkészülékek

A fogászati röntgenkészülékek általában 60–80 kV-on 7–12 mA-on üzemelnek. A nagyobb teljesítményűekkel bizonyos extraorális felvételek is elkészíthetők.

A készülékeket vagy állványra helyezik, mely lehet padlóra rögzített, vagy gördíthető, vagy falra erősítik (20. ábra). Fontos, hogy a berendezést függőleges és vízszintes irányban viszonylag tág határok között lehessen mozgatni. Felszerelhetők fogászati kezelőegységre (*Unitra*) is. A berendezés sugárvédett, ennek ellenére az expozíció ideje alatt mégis átjut kis sugármennyiség a búrán, ezért exponáláskor nem szabad megérinteni. A készülékek földeltek, elektromosan érintésbiztosak. A földelést időnként ellenőrizni kell.



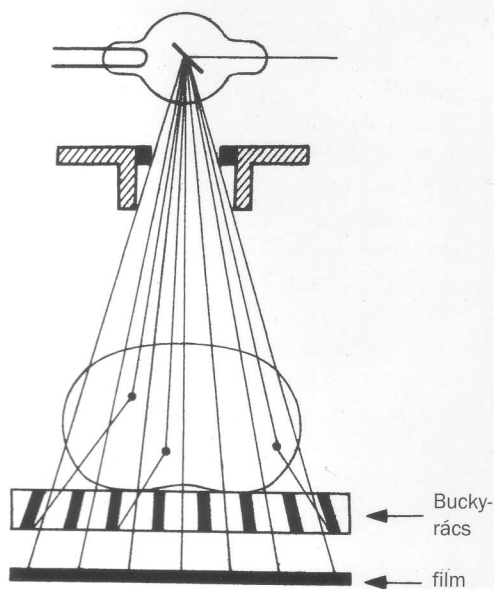
20. ábra. Falikaros fogászati röntgenkészülék

2.5. Az extraoralis röntgenberendezések

Extraoralis röntgenvizsgálatok végzésére szolgáló felvételi, illetve vizsgálószervezetek. Felépítésükre jellemző, hogy a nagyfeszültséget előállító transzformátor a röntgensőtől távol van, a feszültséget érintésbiztos kábelek vezetik a röntgensőhöz. A kapcsoló- vagy *vezérlő-asztalon* állítják be a röntgenső működtetéséhez szükséges kV és mA értéket, valamint a kívánt expozíciós időt. Ezek az értékek tág határok között változtathatók.

A röntgenfelvételi szervezetelek fő részei a *csőtartó állvány* (statív) és a *felvételi asztal*. A beteget a felvételi asztalon helyezzük el. Az asztalban a szórt sugárzást csökkentő ún. *Bucky-rács* van, ezért *Bucky-asztalnak* nevezük.

A megsugárzott testben (objektumban) a röntgensugár elnyelődésekor szórt sugárzás keletkezik, mely rontja a kép minőségét. A megsugárzott test és a film közé helyezett ólomból készült rácrendszer (*Bucky-rács*, *finomrács*) a szórt sugárzás döntő részét elnyeli (21. ábra). A rácrendszer lamellái a fókusznek megfele-

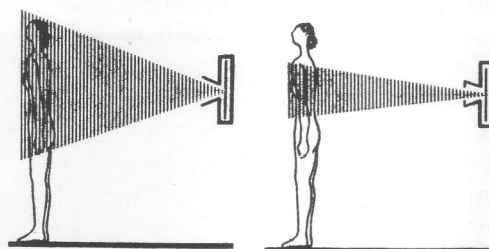


21. ábra. Bucky-rács

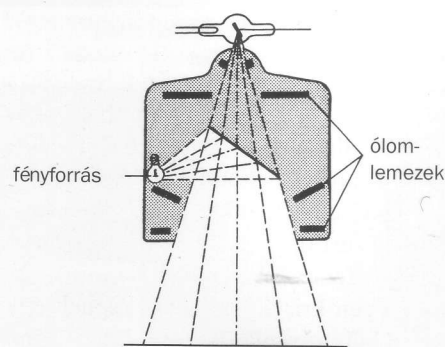
lően centráltak, a ferde irányú szórt sugarak a lamellákban elnyelődnek. Annak érdekében, hogy a rácrendszer maga ne ábrázolódjon a filmen, a felvétel ideje alatt a rác elmozdul, ez a mozgó *Bucky-rács*.

Használhatunk ún. *finomrácsot* is, melyben a lamellák vékonyak és nagyon sűrűek (1 cm hosszú szakaszon akár 40 lamella is lehet), ezek álló rácok. Akár áll, akár mozog a rác, a sugárzás egy részét elnyeli, ezért alkalmazásakor növelni kell az expozíciós időt. Minél kisebb a megsugárzott testtérfogat, annál kevesebb szórt sugárzás keletkezik. Ezért a sugárnyalábot a tárgy méreteitől függően a lehető legkisebbre kell szűkíteni, ezt a célt szolgálják a különböző cserélhető tubusok és a folyamatosan változtatható nyílású fényrekeszek (22. ábra).

A kettős vagy mélységi fényrekesz tükrös segédberendezés segítségével jól megvilágítja a felvételi területet és élesen elhatárolja a sugárkévét (23. ábra).



22. ábra. A fényrekesz a sugárnyaláb méretét szabályozza



23. ábra. Mélységi fényrekesz

3. A röntgenkép és a röntgen

Előhívás és

(Ferency)

3.1. A röntgen

A röntgenkép akkor
ra röntgensugarakat
gé filmet teszünk. I
helyett érzékelőt
felvételi technika).
egy részét elnyeli.
nem nyelődtek el, a
jutnak és egy részü
nyelődik. Az emulz
láthatatlan sugár-re
tens képnek nevez
kémiai eljárással, a
hatóvá.

Az emulzióban
vannak (\Rightarrow A röntg
kristályokban kémia
a megváltozott kris
képet. A kristályok
kristályok, melyek
hány szabad, pozitív
talmaznak. A kristá
töltött kén vegyületek
kennye a sugárzásra
ilyen érzékeny terül
a kép kialakulása (A
ton Compton- és fo
val a brómionból e
elektron a kristályba
lyik érzékeny terül
elektront, ezzel a te
(24/b. ábra). (Az ele
brómatommá alakul
keny terület vonzza
töltésű szabad ezüst
egy szabad ezüstion
tet, semleges fémez
ábra). Az ilyen kris
része, ezekből tevő
A legtöbb érzékeny

3. A röntgenkép és a röntgenfilm. Előhívás és kiértékelés

(Ferenczy)

3.1. A röntgenkép keletkezése

A röntgenkép akkor keletkezik, ha egy tárgyra röntgensugarakat irányítunk és a tárgy mögé filmet teszünk. Digitális felvételnél a film helyett érzékelőt használunk (\Rightarrow *Digitális felvételi technika*). A tárgy a röntgensugarak egy részét elnyeli. Azok a sugarak, amelyek nem nyelődtek el, a tárgy mögött lévő filmre jutnak és egy részük a film emulziójában elnyelődik. Az emulzióban a sugárzás hatására láthatatlan sugár-relief kép keletkezik, ezt latens képnek nevezik. A latens képet fotokémiai eljárással, az *előhívással* tehetjük láthatóvá.

Az emulzióban ezüst halogén kristályok vannak (\Rightarrow *A röntgenfilm*), a röntgenfoton a kristályokban kémiai változást hoz létre, ezek a megváltozott kristályok alkotják a latens képet. A kristályok többnyire ezüst-bromid kristályok, melyek a kristályrácsban belül néhány szabad, pozitív töltésű ezüstiont is tartalmaznak. A kristályokat a felszínükhöz kötött két vegyület tesz kémiai érzékennyé a sugárzásra. Minden kristályban sok ilyen érzékeny terület van, ezekben kezdődik a kép kialakulása (24/a. ábra). A röntgenfoton Compton- és fotoelektromos abszorpcióval a brómionból elektront távolít el, ez az elektron a kristályban mozogva eljut valamelyik érzékeny területhez és az befogja az elektront, ezzel a terület negatív töltésű lesz (24/b. ábra). (Az elektront veszített brómion brómatommá alakul.) A negatív töltésű érzékeny terület vonzza a kristályban lévő pozitív töltésű szabad ezüstionokat (24/c. ábra). Ha egy szabad ezüstion eléri az érzékeny területet, semleges fémezüst atommá alakul (24/d. ábra). Az ilyen kristály a latens képnek egy része, ezekből tevődik össze a latens kép. A legtöbb érzékeny terület legalább 4–5

ezüstatomot tartalmaz. A kristály nagyon sok helyén játszódik le a fenti folyamat.

A semleges ezüst atomok teszik a hívóra érzékennyé a kristályt.

A hívó az exponált kristályokban lévő összes ezüstiont (10^9 – 10^{10} ezüstion) fémezüst szemcsékké redukálja, melyek nem engedik át a fényt, feketék.

A fixáló kioldja az emulzióból azokat a kristályokat, melyeket nem ért sugárzás, ezek a területek világosak a filmen.

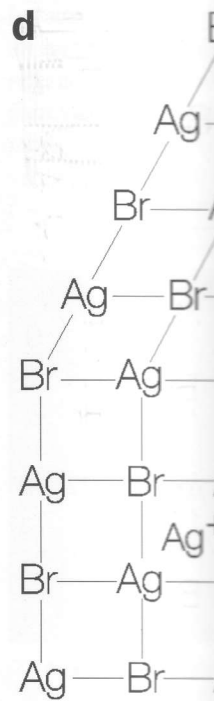
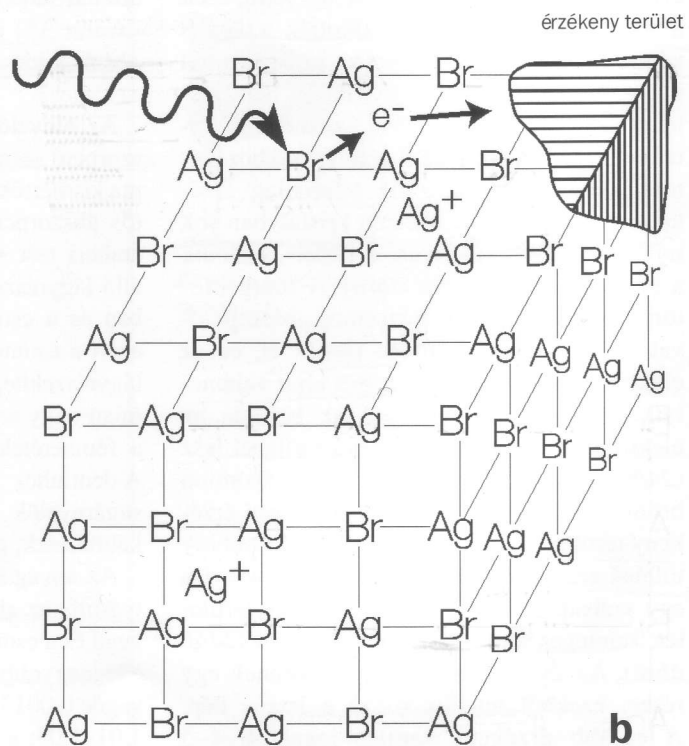
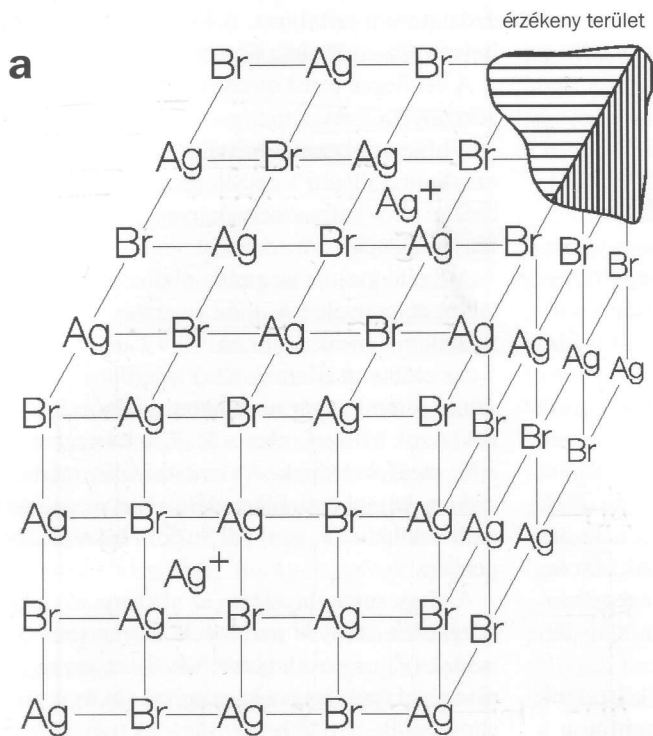
Az előhívott filmnek azok a területei, ahová szinte semmi sugár nem jutott, világosak lesznek. Azok a részek, ahol sok sugár érte az emulziót, megfeketednek. Az ezüstkiválás mértéke szerint különböző feketedésű, illetve világos területek láthatók, ezekből tevődik össze a röntgenkép.

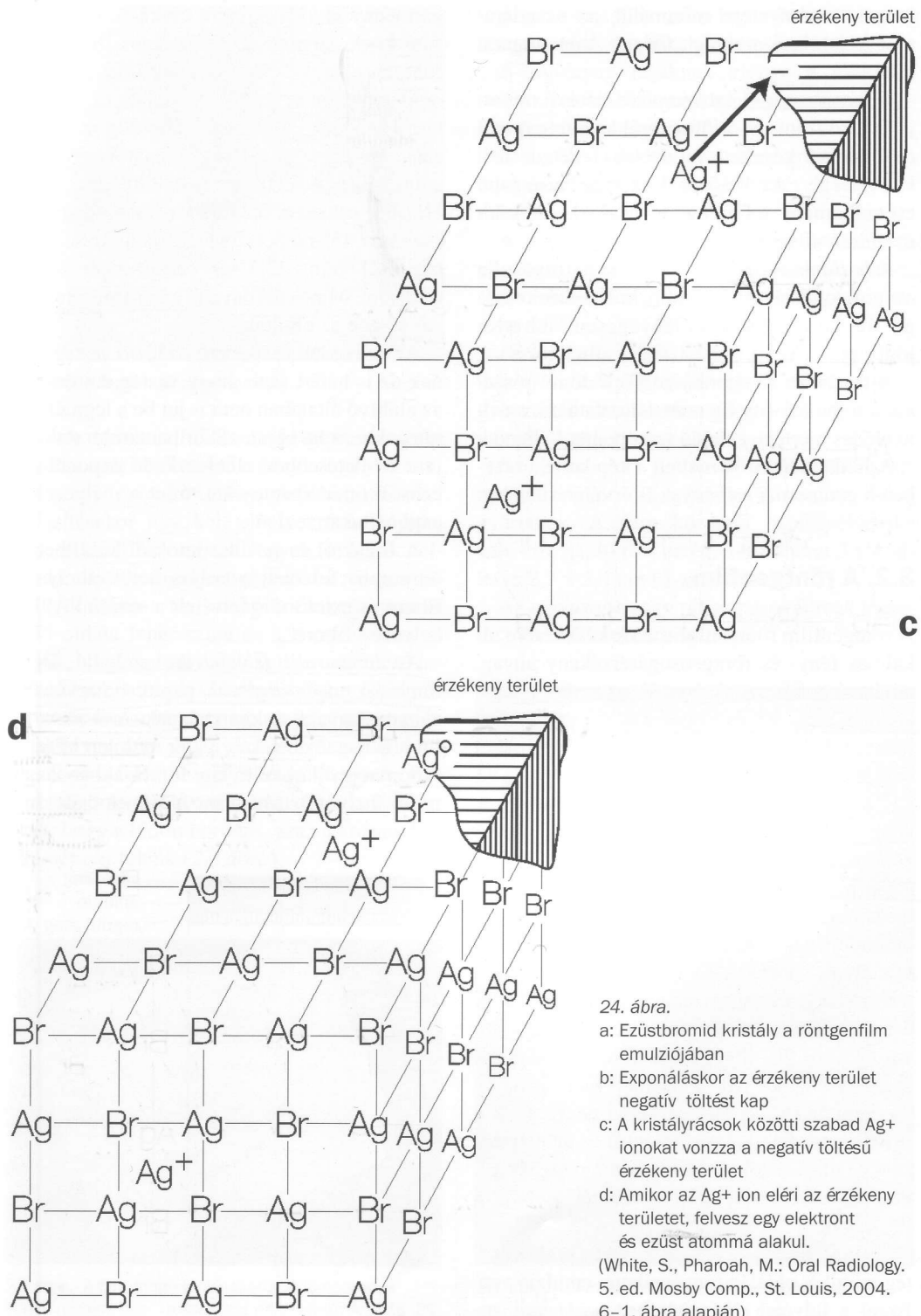
A tárgy sugárelnyelése (az abszorpció) megközelítően arányos az elnyelő anyag rendszámának (Z) negyedik hatványával, az anyag sűrűségével (ρ), rétegvastagságával (δ) és a röntgensugarak hullámhosszának (λ) harmadik hatványával:

$$\text{abszorpció} \sim Z^4 \rho \delta \lambda^3$$

Az elnyelő anyag *rendszáma* döntő az abszorpció szempontjából. Ha két anyag rendszáma kismértékben eltér egymástól, az már jelentős abszorpciós különbséget eredményez. Az emberi test szövetei közül a szénhidrátokból álló lágyrészek átlagos rendszáma 6, a fogakban és a csontokban lévő Ca rendszáma 20, ezért a csontok sugárelnyelése kb. 120-szoros a lágyrészekhez viszonyítva. A magas rendszám miatt nagy a sugárelnyelése a fémkoronáknak, a fémbetéteknek és az amalgámtöméseknek. A dentinhez viszonyítva lényegesen kevésbé sugárnyelők az alacsonyabb rendszámú szilikáttömések, ezért sötétten vetülnek.

Az anyag *sűrűsége* kisebb mértékben befolyásolja az abszorpciót. Szervezetünkben a levegő és a csont sűrűsége különbözik egymástól a legnagyobb mértékben. A víz sűrűsége 1; a levegőé 0,0013; a zsírszöveté 0,02; a lágyrészeké 1,01–1,05; a csontszöveté 1,9. A légtartó arc-





24. ábra.

a: Ezüstbromid kristály a röntgenfilm emulziójában

b: Exponálásakor az érzékeny terület negatív töltést kap

c: A kristályrácsok közötti szabad Ag^+ ionokat vonzza a negatív töltésű érzékeny terület

d: Amikor az Ag^+ ion eléri az érzékeny területet, felvesz egy elektront és ezüst atommá alakul.

(White, S., Pharoah, M.: Oral Radiology. 5. ed. Mosby Comp., St. Louis, 2004. 6-1. ábra alapján)

üregek sugárnyelése minimális, az exsudatumot tartalmazó arcüreg „fedett”, több sugarat nyel el.

A rétegvastagság abszorpciós hatását mutatja az alsó front- és őrlőfogakról azonos expozíciós idővel készített felvételek feketedésbeli különbsége. Az őrlőfogak körüli vastagabb csontállomány több sugarat nyel el, ezért lényegesen világosabb a vetülete.

A hullámhosszúság jelentősen befolyásolja az elnyelődést. A nagyobb hullámhosszúságú, ún. lágy sugarakból lényegesen több nyelődik el.

A fogászati röntgenkészülékek döntő részénél a sugárkeménység nem változtatható, az elnyelődés mértéke ebből a szempontból állandó.

A fizikai tényezők mellett a kép keletkezésében a geometriai törvények is érvényesülnek.

Gyűjtés

3.2. A röntgenfilm

A röntgenfilm röntgenfelvételek készítésére alkalmas fény- és röntgensugárérzékeny anyag. Átlátszó poliészterből készül, ez az ún. hordozóréteg, mely 0,1–0,2 mm vastag. Egyes gyártmányok kék színűek. A hordozóréteg mindkét oldalán zselatinból és műanyagból álló 1–2 μm -es rögzítő réteg van, ez köti a fényérzékeny emulziót az alapanyaghoz. Az emulzió zselatinban szuszpendált 0,5–2 μm nagyságú ezüst halogén, főleg ezüst-bromid szemcséket tartalmaz. Gyártanak olyan filmet is, amelynek emulziójában vékony, lapszerű ezüst-bromid kristályok vannak a film felszínével párhuzamos elrendezésben, ez lényegesen növeli a film érzékenységét. Az emulziós réteg 13–20 μm vastag, kb. 20–40 egymás fölött elhelyezett szemcseretegéből áll. Felszínét igen kemény zselatinból álló védőréteg vonja be, ez védi a filmet a mechanikai sérülésektől és az elektromos feltöltődéstől. A film tehát 7 rétegből áll. Fogröntgenfilm nagyított metszetét mutatja a 25. ábra.

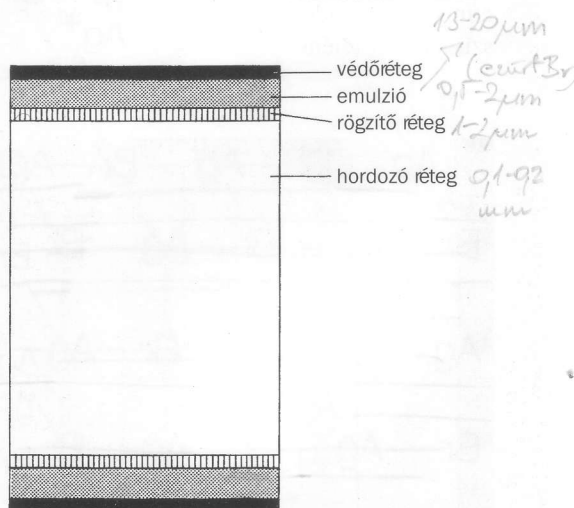
A film érzékenységét növeli, ha a hordozóréteg mindkét oldalán fényérzékeny emulzió van. Ezzel a felvétel elkészítéséhez szükséges su-

gármennyiség kb. a felére csökken. Ezeknek a filmeknek azonban az a hátránya, hogy ha a röntgensugarak ferdén érik a filmet, akkor az optikából ismert parallaxis miatt (a szemlélt tárgy képének eltolódása a látószög megváltozása következtében) a fókusztól távolabbi emulzióban keletkezett kép eltolódik, a kép élessége csökken. 0,2 mm vastag hordozóréteg esetében 45°-os beeső sugár mellett az eltolódás 0,21 mm; 22,5°-os beeső sugár mellett 0,51 mm. Minél vékonyabb a hordozóréteg, annál kisebb az eltolódás.

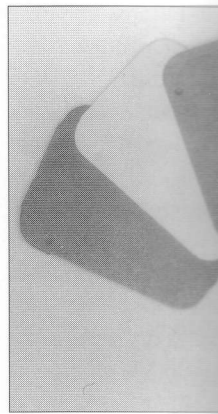
Az egy oldalra felvihető emulzió vastagságának az is határt szab, hogy vastag emulzióban az előhívó általában nem is jut be a legmélyebb rétegekbe, s ha bejut, akkor hamarabb redukálja a felületesebben elhelyezkedő exponátlan ezüst-bromid-szemcséket, mint a mélyen lévő exponáltakat.

A fogakról és az állcsontokról készíthetünk intraoralis felvételt a szájon belül elhelyezett filmre és extraoralis felvételt a szájon kívül elhelyezett filmre.

Az intraoralis felvételekre szolgáló filmek fényzáró, nedvszigetelő papírcsomagolásban vagy műanyag tasakban vannak. A tasakon belül a filmet 2 db fekete papír védőlap közé teszik. Archiválási célra egy filmtasakban 2 egymásra helyezett film van. A film mögött még

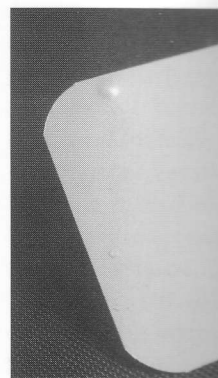


25. ábra. A röntgenfilm szerkezete

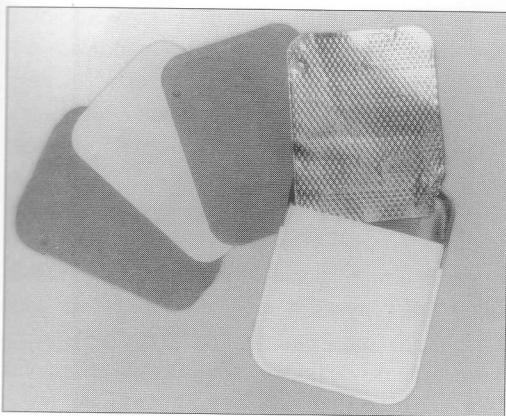


26. ábra. A fogfilm és a

egy vékony ólom fo
 elnyeli a száj képlet
 gárzás egy részét (2
 elkészítésekor úgy
 hogy a fémfólia or
 szín kerüljön a foga
 felé. Általában a be
 felőli oldala fehér s
 ráírják, hogy melyik
 lé fordítani. A tasak
 borodást ábrázoló je
 az előhívás után eg
 juk, hogy a felvétel
 ábrázolja. Az előh
 nunk, hogy a kidom
 szín nézzen felénk

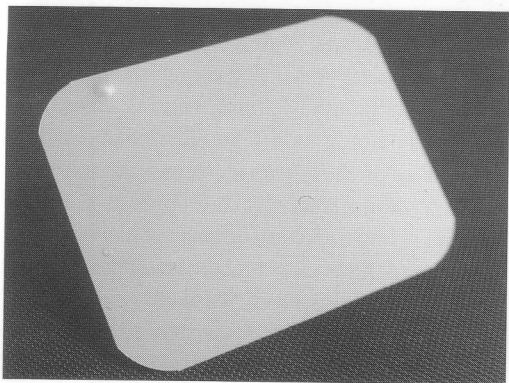


27. ábra. A film megte
 felénk nézzen



26. ábra. A fogfilm és csomagolása

egy vékony ólom fóliát is elhelyeznek, amely elnyeli a száj képleteiből a filmre jutó szórt sugárzás egy részét (26. ábra). A filmet a felvétel elkészítésekor úgy kell elhelyezni a szájban, hogy a fémfólia orálisan legyen, a másik fel-szín kerüljön a fogak mögé, tehát a röntgenszó felé. Általában a becsomagolt film röntgenszó felőli oldala fehér színű és a csomagolásra is ráírják, hogy melyik oldalt kell a röntgenszó felé fordítani. A tasak sarkában még egy kidomborodást ábrázoló jel is van. A jelzések alapján az előhívás után egyértelműen megállapíthatjuk, hogy a felvétel melyik oldali fogcsoportot ábrázolja. Az előhívott filmet úgy kell tartanunk, hogy a kidomborodás, azaz a konvex fel-szín nézzen felénk (27. ábra).



27. ábra. A film megtekintésekor a kidomborodás felénk nézzen

A tasak és a film sarkai legömbölyítettek, így nem okoznak a nyálkahártyán sérüléseket.

A műanyag tasaknak előnye a tökéletes nedvszigetelés, valamint az, hogy a film fertőtlenítő oldatba helyezhető.

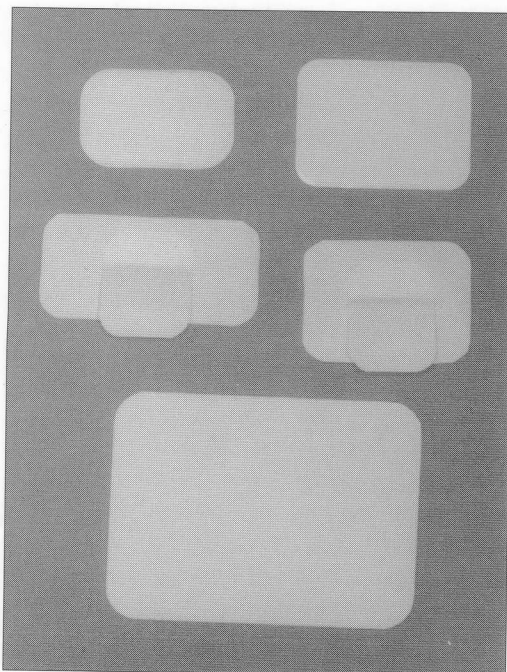
A fogfilmeket dobozba csomagolják a film-fajta és a lejáratási idő megjelölésével, mely kb. másfél év.

A filmeket röntgen- és egyéb ionizáló sugárzástól, valamint a szórt sugárzástól védve, száraz, hűvös, vegyszermentes helyen kell tárolni.

*Periapicalis felvételek*hez 3 x 4 cm-es (2-es méret) és 2,4 x 4 cm-es (1-es méret), illetve gyermekek vizsgálatához 2,2 x 3,5 cm-es (0-s méret) filmeket használunk.

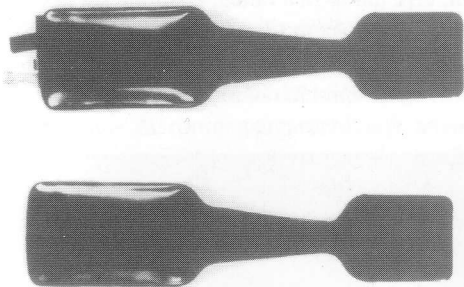
Interproximalis felvételek céljára ún. szárnyas filmeket (*Bissflügel*, *Bite-wing* film) gyártanak. A film közepén papírnyelvecske van, erre harap rá a beteg, a filmméret 3 x 4, illetve 2,7 x 5,4 cm (3-as méret).

Az *occlusalis* vagy ráharapásos filmek mérete 5,7 x 7,6 cm (28. ábra).

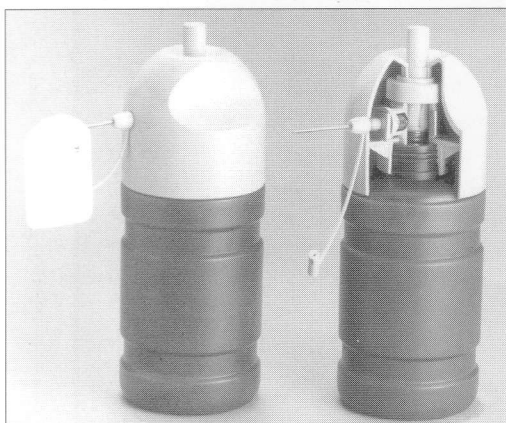


28. ábra. Különböző fogfilmek. Középső sorban szárnyas, alsó sorban ráharapásos film

Gyártanak olyan filmeket is, amelyekhez nem kell külön előhívó felszerelés. A filmtől elválasztva, de közös, fénymentes műanyag csomagolásban van az előhívó és a fixáló anyag, melyeket a zárt csomagoláson belül a film köré nyomunk, majd a felesleges vegyszert kimossuk. Ezeket a műveleteket nappali világosságnál végezzük. Az ilyen fajtájú filmek képminősége azonban gyengébb, ügyeleti ellátás, gyökérkezelés során használják (29. ábra). Új változat az *Emmenix IF* injekciós film. A filmet az előhívó vegyszert tartalmazó flakon kanüljére ráhúzzuk, majd a flakon adagolójával a film köré juttatjuk a vegyszert. A filmtasakot 20 s után kinyitjuk és kivesszük az előhívott filmet (30. ábra).



29. ábra. Világosan előhívható ún. gyorsfilm



30. ábra. Emmenix IF injekciós film (a gyártó Hager Werken, Németország felvétele)

Az extraoralis filmeket kazettába helyezve használjuk (részletesebben \Rightarrow *Extraoralis felvételek*).

Az egyes röntgenfilmek emulziójának jellemzői a rajzélesség, az érzékenység és a kontrasztosság.

A *rajzélesség* a bróm-ezüst-szemcsék méretétől függ, minél kisebbek a szemcsék, annál finomabb a rajzolat, de kevésbé érzékeny a film.

Az *érzékenység* a sugárhatás és a feketedés közötti viszonyt mutatja. Érzékeny a film, ha kis röntgensugár-mennyiség jelentős feketedést okoz.

A *kontrasztosság* azt jelenti, hogy az objektum sugárelnyelési különbségeit a film különböző mértékű feketedésként mutatja. Kontrasztos a film, ha kicsiny sugárelnyelési (expozíciós) különbség jelentős feketedésbeli különbséget okoz.

A feketedés vagy *denzitás* (D) a fényelnyelődest kifejező mérőszám.

$$D = \log \frac{\text{beeső fény}}{\text{áteresztett fény}}$$

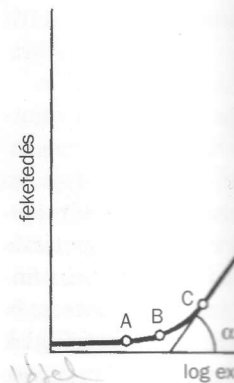
Fotocellás vagy más rendszerű denzitométerrel határozzák meg. A feketedés nulla, ha az exponált film a beeső fényből semmit sem nyel el, teljesen átlátszó, ez csak elméletben lehetséges. Egyes értékű a feketedés, ha a film a beeső fény egy tizedét

$$\left(\log \frac{1}{0,1} = 1\right)$$

engedi át, kettes értékű, ha egy századát engedti át.

Az expozíciók és a feketedés közötti összefüggést az ún. *érzékenységi* vagy *szenzitometriai vizsgálatok* mutatják. (A mérés elve ugyanaz mint a fényexpozíció esetében.)

Az expozíciót és a hozzá tartozó feketedést koordináta-rendszerben ábrázolják, a vízszintes tengelyen az expozíció tízes alapú logaritmusát, a függőleges tengelyen a denzitást (mely már eleve logaritmikus) jelölik. Az egyes mérési pontokat összekötve ún. *feketedési gör-*

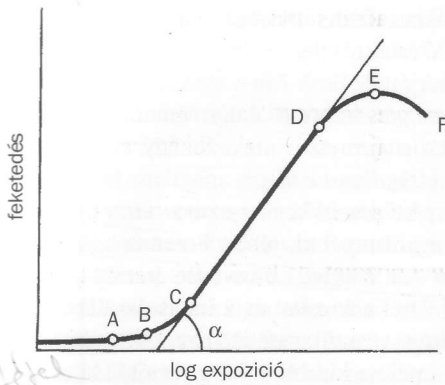


31. ábra. Feketedési görbe

A: feketedési küszöb
B-C: alulexpozíció
C-D: helyes expozíció
D-E: túlexpozíció
E-F: szolarizáció
 α : a görbe egyenes szakaszát a vízszintessel bezárt

bét kapunk (31. ábra) kezdődik, kezdeti szakasza huzamosan halad, ez az alulexpozíció, azaz az expozíció nélkül is látható a film. Az alapfátyoltól az emulzió érlelése közt a bróm-ezüst-szemcsék egy részének képződést fokozza a fény, ezért természetes háttérként denzitométerrel határozhatjuk meg a feketedést. A feketedési görbét hívunk és rögzítünk egy másik nem exponált filmre. A két film feketedése alapján az alapfátyoltól a film feketedése alapján az expozíció értékét meg lehet határozni. A két film feketedése alapján az expozíció értékét meg lehet határozni. A két film feketedése alapján az expozíció értékét meg lehet határozni.

A feketedési görbe egyenes szakaszát a vízszintessel bezárt hely a küszöb. A B-C szakasz az alulexpozíció, azaz az expozíció nélkül is látható a film. Az alapfátyoltól az emulzió érlelése közt a bróm-ezüst-szemcsék egy részének képződést fokozza a fény, ezért természetes háttérként denzitométerrel határozhatjuk meg a feketedést. A feketedési görbét hívunk és rögzítünk egy másik nem exponált filmre. A két film feketedése alapján az expozíció értékét meg lehet határozni. A két film feketedése alapján az expozíció értékét meg lehet határozni. A két film feketedése alapján az expozíció értékét meg lehet határozni.



31. ábra. Feketedési görbe

A: feketedési küszöb

B-C: alulexpozíció

C-D: helyes expozíció

D-E: túlexpozíció

E-F: szolarizáció

 α : a görbe egyenes szakaszának

a vízszintessel bezárt szöge

bét kapunk (31. ábra), amely a nulla pont felett kezdődik, kezdeti szakasza az x tengellyel párhuzamosan halad, ez a szakasz az *alulfátyolt*, expozíció nélkül is ilyen mértékben fekete a film. Az alulfátyolt az eredményezi, hogy az emulzió érlelése közben, a gyártáskor a bróm-ezüst-szemcsék egy része elbomlik. A fátyolképződést fokozza a film tárolása során a filmet ért természetes háttérsugárzás is. Az alulfátyolt denzitóméterrel határozzuk meg úgy, hogy előhívunk és rögzítünk egy nem exponált filmet és egy másik nem exponált filmet csak rögzítünk. A két film feketedése közötti különbség adja a film alulfátyolát, mely nem haladhatja meg a 0,1–0,3 feketedési értéket. A tárolás ideje alatt a feketedés fokozódhat, 0,4-nél magasabb érték már nem fogadható el.

A feketedési görbe A pontnál emelkedik, ez a hely a küszöb. A B–C szakasz a küszöb utáni hajlat, az alulexpozícióknak felel meg. A C–D egyenes szakasz a görbének az a része, amelyen az expozíciók növelésével a feketedés egyenletesen, arányosan fokozódik. Ezen a szakaszon tehát a feketedések az expozíciókkal arányosak. Ehhez a szakaszhoz tartoznak a helyes expozíciók értékek. A D–E szakasz a túl-

expozícióknak felel meg. A görbe ezután következő lefelé hajló része a szolarizációs szakasz, ahol az expozíció növelésével a feketedés csökken. Ennek oka még nem tisztázott. A szolarizáció olyan fokú lehet, hogy negatív helyett pozitívhoz hasonló lesz a kép.

A feketedési görbe jellemzi a filmet. A görbéről számszerűen kifejezhetjük a film kontrasztosságát és érzékenységét. A film kontrasztossága a görbe meredekségével (gradáció = G) arányos. A G a görbe egyenes szakaszát meghosszabbító vonal és a vízszintes tengely által bezárt szög tangense. Ha a szög 45° , akkor $G = 1$. A röntgenfilmek G értéke 2–3, ami 64° , illetve 74° szöget jelent. Minél nagyobb a G , annál kontrasztosabb a film.

A film érzékenységét (speed = S) kifejező szám annak a (r -ben mért) dózisanak a reciproka, mely a filmen az alulfátyolon felül 1-es denzitású feketedést okoz. Minél nagyobb az S , annál érzékenyebb, gyorsabb a film.

A filmeket érzékenységi csoportokra osztják. Intraorális felvételekhez minimálisan D filmet kell használni. Jelenleg a legérzékenyebb az F csoport. A Kodak InSight (E vagy F) film (1. táblázat) fele annyi expozíciót igényel mint a Kodak D film és mégis a D-vel közel azonos a kontraszt és a feloldás. Ezt a lapos kristályok teszik lehetővé. A film érzékenysége az ezüst-haloid kristályok méretétől és ezüsttartalmától függ.

A 32. ábra A és B film feketedési görbéje: a B film kontrasztosabb, mint az A film (α_2 nagyobb, mint α_1), azaz az objektum kis sugárelnyelési különbségeit nagy feketedésbeli kü-

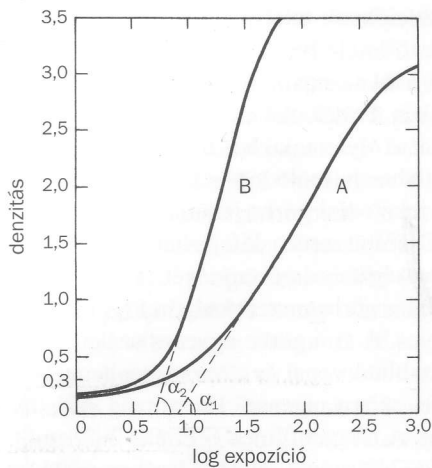
Intraorális filmek érzékenysége

| Érzékenységi csoport | Speed (R^{-1})* |
|----------------------|---------------------|
| D | 12–24 |
| E | 24–48 |
| F | 48–96 |

* R^{-1} = annak az R-ben mért dózisanak a reciproka, mely az alulfátyolon felül 1-es denzitású feketedést hoz létre a filmen

(White, S., Pharoah, M.: Oral Radiology. 5.ed. Mosby Comp., St. Louis, 2004)

1. táblázat



32. ábra. A és B film feketedési görbéje
(Williams, M. M. Dr. után in Stafne, E. C., Gibilisco, J. A.: Oral roentgenographic diagnosis. Saunders Comp. Philadelphia, London, Toronto 1975)

lönbséggel ábrázolja. Emiatt azonban csak kisebb kontraszttartományt tud ábrázolni. Ezt fejezzük ki a film kontraszterjedelmével (film latitude). A széles kontraszterjedelmű film (wide latitude of contrast) a tárgykontraszt széles skáláját képes ábrázolni. Olyan tárgy ábrázolására, ahol a tárgykontraszt széles határok között változik, széles kontraszterjedelmű filmet kell használni. A B film érzékenyebb, gyorsabb film.

3.3. Az expozíció

Az expozíció során a filmet röntgensugarak hatásának tesszük ki. Ha a röntgensugár és a film közé elhelyezünk egy tárgyat, akkor a film előhívása után a filmen a tárgy röntgenképe látható. Ha a tárgy egyes részeinek sugárnyelése különböző, akkor röntgenképe különböző feketedésű részekből tevődik össze. Az expozíciós időt úgy kell megválasztani, hogy a vizsgált tárgyról a legrészletesebb képet kapjuk. Az expozíció idejét befolyásolja:

- a vizsgálandó tárgy,
- a film érzékenysége,

- a fókuszfilm távolság,
- a kV érték,
- a mA érték,
- a besugárzási mező nagysága,
- az erősítőernyő.

A vizsgálandó tárgy annyiban befolyásolja az expozíciós időt, hogy ha a tárgy több röntgensugarat nyel el, akkor hosszabb expozíciós időre van szükség. Intraoralis periapicalis felvételeknél a fogakat és a fogak körüli csontállományt vesszük figyelembe. A metszőfogak abszorpciója kisebb, mint az örlőké, körülöttük a csontállomány is kevesebb, ezért a metszőfogak felvételeihez rövidebb expozíciós idő szükséges. Vastagabb réteg „átexponálásához” hosszabb expozícióra van szükség, pl. az oldalirányú koponyafelvétel lényegesen hosszabb idővel készül, mint az arcusfelvétel.

Minél érzékenyebb a film, annál rövidebb az expozíciós idő. Sugárvédelmi okokból lehetőleg nagy érzékenyséű filmet használjunk.

A geometriai sugárfogyást figyelembe kell venni, a filmre jutó sugármennyiség a fókuszfilm távolság négyzetével csökken. Így a kétszeres távolság négyszeresre növeli az expozíció idejét. A párhuzamos felvételi technika lényegesen nagyobb fókuszfilm távolságot jelent, tehát sokkal hosszabb expozíciós időt kellene választani. Ha nagyon érzékeny filmre dolgozunk, akkor az expozíciós idő jelentős növelése nélkül is kellő feketedést érünk el. (A geometriai sugárfogyást kiegyenlíthetnénk a röntgensugár intenzitásának, a mA értéknek a növelésével is. Mivel a fogfelvételi készülékeknél a mA érték általában nem változtatható, csak az expozíciós időt növelhetjük.)

A kV-érték növelése fokozza a film feketedését, tehát csökkenti az expozíciós időt. A kV növelésével rövidebb hullámhosszú röntgensugár keletkezik, s ebből az adott tárgy kevesebbet nyel el, több jut a sugárzásból a filmre (⇒ A röntgenkép keletkezése). A legújabb fogászati röntgenkészülékeknél a kV-érték változtatható. Figyelembe véve a bőr sugárterhelését, a kép minőségét, a kontrasztosságot, a csont ábrázolásához (endodontia, parodontológia stb.) a legalkalmasabb a

70 kV, a caries kimu
csőfeszültség.

A milliamper, azaz
arányos a filmfekete
amper és az idő szo
mény határozza meg
tat. Nagyobb rönt
debb idő alatt hoz
dést (pl. 10 mA-rel
alatt érünk el azonos
vételi készülékek
A röntgenfilmekhez
ajánlott expozíciós é
készített, a táblázatb
előhívóoldat alkalm
megadott kV, mA, fó
Ha a feltételek valan
az expozíció. Fogatb
videbb, lágyrészdu
esetében 25%-kal
A vizsgált tárgy absz
pozíciós idő megva
túl- vagy alulexpona
okozhat a hálózati fe
ingadozása is (expo
nyeinek kijavítása, =
zása).

Ha az általunk haszn
ságait vizsgáljuk, val
ve mA értéke eltér
helyes expozíciós idő
ről készült sorozatfel
Legmegfelelőbb a r
mentuma. Az eljárás
fajta azonos távolsá
kozatos növelésével
tünk. A felvételeket a
friss hívóban előhívj
két sorozatból melyek
ezekhez tartozó exp
irányadónak. Betegn
nem készítünk ilyen

Kisebbsugárzás
sugárzást, tehát a film
feketedés eléréséhez
időt. (A szórt sugárz
éleesebb lesz.)

70 kV, a caries kimutatásához pedig az 50 kV csőfeszültség.

A milliamper, azaz a **mA értékkel** egyenesen arányos a filmfeketedés. A feketedést a milliamper és az idő szorzata ($\text{mA} \cdot \text{s}$), a teljesítmény határozza meg, amelyet a **mAs érték** mutat. Nagyobb röntgensugár-mennyiség rövidebb idő alatt hoz létre ugyanolyan filmfeketedést (pl. 10 mA-rel 1 s alatt vagy 5 mA-rel 2 s alatt érünk el azonos filmfeketedést). A fogfelvételi készülékek általában 7–12 mA-esek. A röntgenfilmekhez a gyárak mellékelik az ajánlott expozíciós értékeket, melyek a frissen készített, a táblázatban megadott hőmérsékletű előhívóoldat alkalmazásánál érvényesek a megadott kV, mA, fókusz–film távolság esetén. Ha a feltételek valamelyike változik, módosul az expozíció. Fogatlan szájban pl. 25%-kal rövidebb, lágyrészduzzanat, vastag csontozat esetében 25%-kal hosszabb az expozíció. A vizsgált tárgy abszorpciójának megfelelő expozíciós idő megválasztásában tévedhetünk, túl- vagy alulexponáljuk a felvételeket. Hibát okozhat a hálózati feszültség 10 V-nál nagyobb ingadozása is (expozíciós hibák következményeinek kijavítása, \Rightarrow *A röntgenfilmek kidolgozása*).

Ha az általunk használttól eltérő film tulajdonságait vizsgáljuk, vagy ha készülékünk kV, illetve mA értéke eltér a gyári utasítás adataitól, a helyes expozíciós időket anatómiai készítményről készült sorozatfelvételekkel állapítjuk meg. Legmegfelelőbb a mandibula nagyórlók segmentuma. Az eljárás a következő: mindkét filmfajtára azonos távolságból az expozíciós idő fokozatos növelésével sorozatfelvételeket készítünk. A felvételeket azonos körülmények között friss hívóban előhívjuk. Megállapítjuk, hogy a két sorozatból melyek a legjobb felvételek, és az ezekhez tartozó expozíciós időket tekintjük irányadónak. Betegről sugárvédelmi okokból nem készítünk ilyen célból sorozatfelvételeket.

Kiseb **besugárzási mező** csökkenti a szórt sugárzást, tehát a film feketedését, ezért a kellő feketedés eléréséhez növelni kell az expozíciós időt. (A szórt sugárzás csökkenése miatt a kép élesebb lesz.)

Erősítőernyő alkalmazása lényegesen csökkenti az expozíciós időt. Csak extraoralis felvételekhez használjuk. Minél érzékenyebb az erősítőernyő (fólia), annál kisebb expozíciós idővel készítjük a felvételt, viszont az érzékenyebb erősítőernyő kifejezettebben rontja a képességet (\Rightarrow *Erősítőernyő*).

3.4. A röntgenfilmek kidolgozása

Az expozíció során a röntgenfilm emulziójában ún. **latens kép** keletkezik. Szabad szemmel ez nem látható, nem tudjuk megállapítani ránézés-sel, hogy a film exponált-e. A kép az előhívás folyamán válik láthatóvá.

A film kidolgozásának szakaszai:

- az előhívás,
- az öblítés,
- a rögzítés,
- a mosás és
- a szárítás.

Ezeket a műveleteket a sötétkamrában végezzük. Rendkívül tisztán és pontosan kell kidolgozni a filmeket. A hibás munka eredménye a technikailag rossz röntgenfilm, mely nemcsak megnehezíti a diagnosztikai munkát, hanem fokozza a tévedés veszélyét is.

3.4.1. SÖTÉTKAMRA

A sötétkamra a röntgenfilmek kidolgozásához megfelelően berendezett és megvilágított, jól szellőztethető helyiség, mely a kézi előhíváshoz nélkülözhetetlen, de az extraoralis filmeket előhívó automaták döntő része is sötétkamrát igényel. A sötétkamra nagyságát az igénybevételnek megfelelően kell megválasztani. Fontos, hogy kívülről ne szűrődjön be fény. Ha 10–15 percig tartózkodunk a zárt sötétkamrában, akkor jól észrevevesszük a beszűrődő fényt. A nagy forgalmú sötétkamrák vagy zsiliprendszerűek, kettős ajtóval, vagy kétajtós filmátadó ablak, illetve forgódobos szekrény van beépítve a falába, így a kamrában dolgozó úgy veheti be a szekrénybe helyezett filmet, hogy közben nem jut be külső fény.

A sötétkamra az ott dolgozó személyek és a filmek érdekében mind a direkt-, mind a szórt-röntgensugárzástól védett. Annak megfelelően, hogy milyen az előhívás, különböző a sötétkamra berendezése. Általában van benne egy szárazasztal, amelyen a filmeket kicsomagolják, illetve betöltik a kazettákat, valamint egy nedvesasztal, mely tartalmazza az előhívó-, a rögzítő- és a mosófolyadék tartályait, valamint a folyóvízes tartályt. A szárazasztal alsó része rendszerint filmtároló.

A sötétkamrát 15W erősségű, megfelelő színűszűrővel ellátott fényforrás világítja meg, melyet a munkasztaltól legkevesebb 1,2 m-re kell elhelyezni. Ha a fényforrás túl közel van, a film fátyolos lesz, a túlérzékeny filmek még nagyobb mértékben fátyolosodnak. A vörös fény – az ún. ipari röntgenfilmek kivételével – mindenfajta film előhívásához alkalmas, mert erre a hullámhosszúságú, legkisebb energiájú fényre a filmek nem érzékenyek. A sárga fény ugyancsak kis energiájú, az emberi szem ezt a valóságosnál világosabbnak érzékeli.

A sötétkamra megvilágítását úgy ellenőrizzük, hogy a szárazasztalra egy nem exponált filmet teszünk. A film felét fekete papírral fénymentesen letakarjuk, a takarásra nehezéket helyezünk, hogy a takarás egyenletes legyen. A le nem takart részt 5 percig a sötétkamra fényének tesszük ki, majd a filmet előhívjuk. Ha a film két részének azonos a feketedése, akkor a megvilágítás megfelelő.

A sötétkamra lámpájának színűszűrője két üveglemez között festett zselatin. A zselatinréteg idővel megrepedezhet, az átszűrődő fény a filmekben fátyolt okozhat. Ezért a szűrőket időnként ellenőrizni és cserélni kell.

3.4.2. ELŐHÍVÁS

Az előhívott kép fotográfiai tulajdonsága az előhívó összetételétől, hőmérsékletétől és az előhívás idejétől függ.

Az előhívó hatóanyagot, védőanyagot, lúgosítót és késleltetőt tartalmaz.

Hatóanyaga a felszínes hatású phenidon (régebben metol) és a mélybe hatoló hidrokinnon,

melyek az exponált (a latens képet alkotó) ezüst-bromid kristályokban lévő összes ezüst-iont szilárd fém-ezüst szemcsékké redukálják. Az ezüst az emulzióban feketén jelenik meg.

Védőanyag a nátrium-szulfid. A redukáló hatású előhívó a levegő oxigénjét is redukálja, ezáltal redukációs képessége csökken. A nátrium-szulfid megköti az oxigént, ezzel tartósítja a hívót.

Lúgosítóanyag a nátrium-hidroxid/nátrium-karbonát. Fenntartja a hívó lúgos kémhatását azáltal, hogy megköti a hívóban keletkező hidrogén-bromidot és egyéb halogén savakat, azaz megakadályozza a hívó savanyodását.

Késleltető anyag a kálium-bromid. Szabályozza, lassítja a hívási folyamatot. Hatására azok a felszínesen lévő bróm-ezüst-szemcsék, amelyek nem nyeltek el sugárzást, nem redukálódnak. Késleltető nélkül a fém-ezüst ezekből is kiválik, s fátyolt okoz.

A gyári előhívók vagy tömény oldatban kaphatók, ezeket előírás szerint hígítjuk; vagy por alakban vannak, s az egyes összetevőket előírás szerint, megfelelő sorrendben fel kell oldani. Az oldást rozsdamentes acél-, zománczott, porcelán- vagy üvegedényben végezzük. A keveréshez legjobb a műanyag keverő.

A **kézi előhívás** az előhívó tankban történik, a tank többnyire műanyagból vagy rozsdamentes acélból van. A tankot az előhívás után lefedjük, hogy védjük a hívót a levegő oxidáló hatásától. A filmet a sötétkamrában száraz, tiszta kézzel kibontjuk. Úgy fogjuk meg, hogy csak a film éleit érintjük, így nem kerül rá ujjlenyomat.

A filmeket filmtartó létrára vagy csipeszre tesszük és az előhívóba helyezzük. A tankban annyi hívónak kell lenni, hogy szintje a legfelső filmet is legalább 1 cm-rel túlérje. A csipeszek, filmtartó létrák nem rozsdásodó acélből vagy műanyagból készülnek. Használat után a rájuk száradt vegyszereket le kell mosni, mert a következő előhíváskor ezek leoldódva filmhibát okoznak.

Az előhívóban az emulzió eredeti vastagságának háromszorosára duzzad, ezáltal könnyebben és gyorsabban behatolhat a hívó az

emulzióba. A film az előhívóban, ezalatt az idő alatt, mely az idő lejárta között a filmet mozdítják el, de egyenlő időre.

A hívási idő függ a hőmérséklettől is, általában 20 °C-nál magasabb hőmérsékleten a hívási idő hirtelen csökken. A hívási idő hosszabb ideig kelletlenül tart. Túl magas hőmérsékleten az előhívás gyorsabb, a részletek mélységű részletek jelennek meg, jelentős mértékben.

Az egyes filmek hőmérsékletének és hőmérsékletének a gyárak a filmeket előhívják meg.

A meghatározó tényező: a hívás ideje, a vizuális tartózkodni, a vizuális. Az expozíciós idő, a megfelelően választott expozíciós idő. Ha az előhívás időt növeljük, az expozíciós idő növekszik be, ha mind az előhívás idő, a fém-ezüst. Ha az előhívás végül minden bróm-ezüst, a kép egyenlőre, majd teljesen megvilágított.

A használat közben. Ha a hívó nem megfelelően, a rögzítő rad. Az elfogyott emulzió hozzáadásával pótoljuk egyes berendezések.

Az előhívó használata által kimerül. A kimerül felületével arányosan hosszabbodik az előhívás, ki kell cserélni. A hőmérséklet fokozza, ha friss emulzió. Az előhívó hatásfokát javíthatjuk, amennyiben a gőzöt tartalmaz, k

emulzióba. A filmet előírt ideig állni hagyjuk az előhívóban, ezt az időt olyan órán állítjuk be, mely az idő leteltével csönget. Ha a hívás közben a filmet mozgatjuk gyorsabban hívódik ugyan elő, de egyenetlenül.

A hívási idő függ a hívószertől hőmérsékletétől is, általában 20 °C-on 5 perc a hívás. Az állandó hőmérsékletet termosztát biztosítja. Ha a hívó hőfoka túl alacsony, akkor az előhívás lassú, hosszabb ideig kell hívni, s ez árt a kép minőségének. Túl magas hőmérsékletű hívóban az előhívás gyorsabb, viszont a film különböző mélységű részletei nem egyenletesen hívódnak elő, jelentős mértékű a fátyolképződés.

Az egyes filmfajtáknak, a hívó összetételének és hőmérsékletének megfelelő hívási időt a gyárak a filmekhez mellékelt utasításban adják meg.

A meghatározott időre történő hívás előnyei: a hívás idején nem kell a sötétkamarában tartózkodni, a vizuális módszernél biztosabb. Az expozíciós időt mindig a hívási időnek megfelelően választjuk meg és sohasem fordítva. Ha az előhívás után a kép világos, az expozíciós időt növelni kell, ha a kép sötét, csökkentjük az expozíciós időt. A hívás akkor fejeződik be, ha mindazon bróm-ezüst-szemcsékből, amelyek röntgensugarat nyeltek el, kiválik a fémezüst. Ha az előhívást tovább folytatjuk, végül minden bróm-ezüst-szemcséből kiválik az ezüst, a kép egyre fátyolosabb lesz, sötétedik, majd teljesen megfeketedik.

A használat közben a hívó mennyisége csökken. Ha a hívó nem lepi el a filmet, a kilógó filmrészlet a rögzítés után teljesen világos marad. Az elfogyott hívót naponta regenerátor hozzáadásával pótolni kell (gépi előhívásnál egyes berendezések ezt automatikusan végzik).

Az előhívó használat közben **oxidálódik**, ezáltal **kimerül**. A kimerülés az előhívott filmek felületével arányos. A kimerülő hívóban meghosszabbodik az előhívás ideje. Az ilyen hívót ki kell cserélni. A kimerült előhívó hatását nem fokozza, ha friss előhívó oldatot adunk hozzá. Az előhívó hatásfokát regenerátor hozzáadásával javíthatjuk, amely több hatóanyagot és lúgosítót tartalmaz, késleltetőt viszont nem.

Gyorshívás: a gyökérkezelés közben készített felvételeket friss, magasabb hőmérsékletű, ún. gyorshívóban hívjuk elő, s gyorsfixálóban rögzítjük. A nem teljesen kifixált filmről már tájékozódhatunk, de utána még teljesen fixáljuk a filmet. Megfelelő berendezések vannak erre a célra, melyekkel a kezelőhelyiségben is előhívhatjuk a filmeket.

3.4.3. ÖBLÍTÉS

Az előhívás után a filmeket az ún. közti mosóban, vízben fél percig erőteljesen mozgatjuk, ezzel az előhívási folyamatot gyorsan be lehet fejezni. Azonkívül így távolítjuk el a film felületén megtapadt előhívót és a redukációs terméket.

3.4.4. RÖGZÍTÉS

Az előhívás után a film zöldesfekete, hiszen tartalmazza azokat a bróm-ezüst-szemcséket is, amelyek nem nyeltek el röntgensugarat. Ezeket a szemcséket oldja ki a rögzítőfolyadék. Közben a film feketedik, mert csak fémezüst marad benne vissza. A rögzítés befejeztével a film fényre már nem érzékeny, a kép fixált.

A rögzítő hatóanyaga a nátrium-tioszulfát (fixíró) vagy a kétszer olyan gyorsan ható ammónium-tioszulfát. Vegyhatása savanyú (kb. pH 5). A rögzítő savi vegyhatását kálium-metabiszulfit tartja fenn, ez semlegesíti a filmen visszamaradt előhívó lúgos hatását.

A rögzítés ideje is a hőmérséklettől függ, általában 10 perc, gyorsrögzítők esetében 2–3 perc. Ha hosszabb ideig marad a film a rögzítőben, ez nem árt. Azonban nagyon hosszú idejű fixálás a fémezüst szemcséket is lassan kioldja. Túl rövid fixálás esetén a film tejszerű, zöldes fátyol keletkezik, mely később sárgásbarna lesz, a film nem átlátszó, az elszíneződés miatt archiválásra alkalmatlan. A helyesen rögzített film évtizedeken át változatlan.

Használat közben a rögzítőfolyadék hatásfoka is csökken, ha literenként több mint 2,5 g ezüstöt tartalmaz, akkor kimerül. A kimerüléshez az is hozzájárul, hogy a közti mosás miatt

a filmmel bekerülő víz hígítja a rögzítőt. A kimerült oldatot cserélni kell. A rögzítőt is lehet regenerálni, előhívó automatáknál ez folyamatosan történik.

Az elhasznált rögzítőfolyadékból az ezüstöt vegyi- vagy elektronikus úton vissza lehet nyerni. Ezt vagy az előhívó automatákhoz csatlakoztatott berendezések folyamatosan a helyszínen végzik, vagy az elhasznált fixálót összegyűjtik és az ezüst kivonását központilag végzik el.

A rögzítőfolyadék elkészítése a hívóéhoz hasonlóan, előírás szerint történik.

A hívó- és rögzítőfolyadékok nem keverhetők, ezért az oldást is külön edényben végzik. A tankok sem cserélhetők fel.

3.4.5. MOSÁS, SZÁRÍTÁS

Az emulzióból a vízben oldható vegyi anyagokat 20–30 percig folyó vízben történő áztatással el kell távolítani. Ugyanis a visszamaradt tiosulfát a levegő hatására bomlik és idővel a filmen sárgásbarna elszíneződés keletkezik. A mosási idő csökken, ha a víz magasabb hőmérsékletű, de 25 °C-nál melegebb nem lehet, mert a zselatin fellazul.

A kimosott filmeket nem túl meleg, jól szellőző, pormentes helyiségben megszáritjuk. Legalkalmasabbak az elektromos szárítószekrények. Napon, fűtőtest közelében nem szabad szárítani, mert a zselatin 35 °C-on olvad. Szükség esetén ventilátorral vagy hajszárítóval gyorsan megszáritathatunk egy-egy filmet, de előzőleg 5% formalint tartalmazó 50%-os alkohollal le kell öblíteni a filmet.

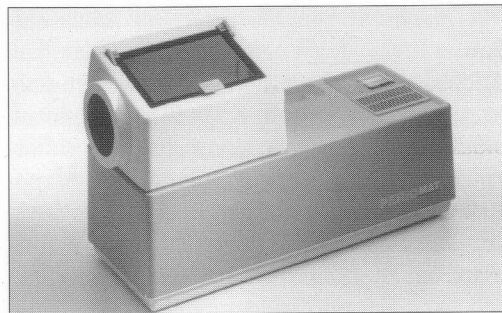
3.4.6. AUTOMATIZÁLÁS

A félautomatikus berendezések a hívó regenerálását, pótlását és a folyadékok kívánt hőmérsékletét automatikusan biztosítják. A filmet kézzel bontjuk ki és helyezzük az egyes folyadékokba.

A teljesen automatizált berendezéseknek a filmtovábbítás módja szerint két alaptípusa van: felfüggesztéses továbbítású és forgóhengeres. Az előbbieket döntő része intraoralis fil-

mek előhívására való, de van extraoralis film előhívására alkalmas változatuk is. A berendezések vagy a sötétkamrában működtethetők, vagy megfelelő fényvédő feltét használatával nappali fény mellett is üzemeltethetők. A csipeszekre vagy előhívókeretekre helyezett filmeket egy csörlő szállítja az egyes tankokba, melyek termosztáttal szabályozott vízfürdőben vannak. Ilyen rendszerű készülék többek között a „Procomat” (Siemens), a „Dry-o-mat” és a „Clarimat Standard” (Philips).

A forgóhengeres berendezésekben forgó hengersorpárok között halad a film a hívóból a fixálóba, onnan a mosóba, majd megszáritva jön ki a készülékből (a hívó és fixáló között mosás nincs, mert a hengerek közt átrépselt



33. ábra. Előhívó automata intraoralis filmekhez (a gyártó Dürr Dental, Németország felvétele)



34. ábra. Előhívó automata intra- és extraoralis filmekhez (a gyártó Dürr Dental, Németország felvétele)

filmen csak minimális, különböző típusú készítmények különböző ideig tartóan terjed. A 33. ábrán látható előhívó automata (Németország), a 34. ábrán látható filmeket előhívó automata (Dental, Németország) tomaták magasabb hőmérsékletűre. A kétféle automata használata szükséges, csak a mosás során működnek jól.

A gépi előhívó automata ellenállóbb („masztos”) filmek alkalmasak. A gépi előhívó automata adalékokat” (pl. d) adnak.

3.4.7. GYENGÍTÉS

A túlexponált vagy gyengített képet úgy javíthatjuk, ha az oldással a film fehéritését a művelet a gyengítést.

A gyengítőfolyadékot csak közvetlenül a filmre össze, mert tartósan megőrzi a filmet.

I. folyadék: 500 ml 50 g nátrium-tiosulfát

II. folyadék: 100 ml 10 g kálium-ferricitrátot fénytől védő oldatban oldni.

Használatkor az I. folyadékot a II. folyadékkal keverjük a verési arány 4:1. Ha a film gyengített, akkor a felfüggesztés végébe, de fennáll a film elválásos képrészeken.

A két oldatot üvegekbe helyezzük, melyet fehér alapon lemártjuk a fixált és a filmet és szemmel ellenőrizzük.

Mivel a gyengítő oldatában a folyadék a gyengítést valamilyen módon elvégzi. Ezután még legalább

filmen csak minimális vegyszer marad). A különböző típusú készülékeken a film áthaladása különböző ideig tart, 90 másodperctől 7 percig terjed. A 33. ábrán intraoralis filmeket előhívó automata *Periomat* (Dürr Dental, Németország), a 34. ábrán intra- és extraoralis filmeket előhívó automata *XR 24* (Dürr Dental, Németország) látható. Az előhívó automaták magasabb hőmérsékleten üzemelnek. A kétféle automatához más-más vegyszer szükséges, csak a megfelelő vegszerrel működnek jól.

A gépi előhívásra csak a mechanikailag ellenállóbb („maschinenfest”), kemény filmek alkalmasak. A hívóhoz is „keményítő adalékokat” (pl. dialdehideket, diketonokat) adnak.

3.4.7. GYENGÍTÉS

A túlexponált vagy túlhívott felvételek minőségét úgy javíthatjuk, hogy az ezüstszemcsék kioldásával a film feketedését csökkentjük. Ez a művelet a gyengítés.

A gyengítőfolyadék két oldatból áll, melyeket csak közvetlenül a gyengítés előtt keverünk össze, mert tartósan csak külön tárolhatók:

I. folyadék: 500 ml desztillált vízben oldott 50 g nátrium-tioszulfát,

II. folyadék: 100 ml desztillált vízben oldott 10 g kálium-ferri-cianid (vörösvér-lúgsó). Ez utóbbit fénytől védve, barna üvegben kell tárolni.

Használatkor az I. folyadékból 4 részt keverünk a II. folyadékból vett 1 résszel, tehát a keverési arány 4:1. Ha a keverési arány ennél nagyobb, akkor a folyamat gyorsabban megy végbe, de fennáll annak a veszélye, hogy a világos képrészekben a finom rajzolat eltűnik.

A két oldatot üvegedényben keverjük össze, melyet fehér alapra helyezünk. Az edénybe bemártjuk a fixált és legalább 10 percig mosott filmet és szemmel ellenőrizzük világosodását.

Mivel a gyengítőfürdőkből kivett film emulziójában a folyamat mosás alatt is folytatódik, a gyengítést valamivel hamarabb megszakítjuk. Ezután még legalább 1 percre a filmet vissza-

tesszük a rögzítőbe és utána 20–30 percig mosuk. Gyengíthetünk közvetlenül a rögzítés vagy mosás után. Ha szárítás után gyengítünk, a filmet előbb vízben kell áztatni, hogy az emulzió ismét megduzzadjon.

A túlexponált, szabályosan előhívott és gyengített kép jobb, mint a túlexponált és túl rövid ideig hívott (alulhívott) kép.

3.5. A röntgenkép kiértékelése

3.5.1. A FILMEK MEGTEKINTÉSE

Az előhívott filmen a vizsgált tárgy negatív röntgenképe látható. Kiértékelhetjük a még nedves filmet is, de a megszáritott filmen jobban megítélhetők az egyes képrészletek. A száraz film valamivel világosabbnak látszik, mert a ráeső fényt a nedves filmhez képest másként nyeli el és másként veri vissza.

◊ A filmeket áteső fényben vizsgáljuk. Nem helyes az ablak felé tartva nézni a filmet, mert ez a megvilágítás vagy túl erős, vagy túl gyenge. Erős izzólámpa fénye és a nem homályosított üvegű égők izzószála vakít, ezenkívül az általuk termelt magas hőmérsékleten a nedves film zselatinja megolvad, a száraz film meggörbül.

A helyes filmvizsgálat feltételei: alkalmas elhelyezésű, megfelelő erősségű és színű fényforrás, a film nagyságával megegyező fénymező.

◊ A fényforrás elhelyezése olyan legyen, hogy a vizsgáló személyt sem szemből, sem a háta mögül ne érje természetes vagy mesterséges sugárforrásból eredő erős fény.

◊ A fény erőssége legyen szabályozható, ugyanis még kifogástalan felvételi technika és sötétkamrai munka mellett is egyes képek világosabbak, mások sötétebbek, illetve egyes képrészek sötétebbek.

◊ A fény színe kékesfehér vagy fehér legyen, semmiképpen se tartalmazzon erős vörös összetevőt. A fénycsövek színösszetétele nagyon megfelelő.

◊ A fénymező nagysága ne legyen a film méreténél nagyobb, ugyanis a film mellett a szembe behatoló erős fény megnehezíti a finom részle-

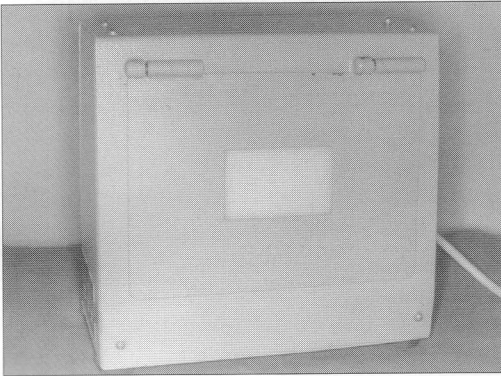
tek felismerését. A fénymezőt keretekkel vagy redőnyzárás diafragmával szabályozhatjuk.

A **film alapanyagának színe** is befolyásolja a kicsiny árnyékkülönbségek felismerését, ezért használnak kékes alapanyagú filmet. Ha a film alapfátylas, akkor a hozzáadódó kék szín tovább fokozza a fátyolhatást.

A fenti feltételeknek az egyszerű filmnézőszekrény (35. ábra) csak részben tesz eleget. A két darab 40 W-os kriptonizzó fényt tejuveglemez homogenizálja. A fénymező nagysága 10 x 15 cm, a ráhajtható kereté pedig 4 x 6 cm.

A kellően megvilágított filmet szükség esetén kézi nagyítóval vagy olyan nagyítóval szemléljük, amelynek látómezeje megegyezik a film méretével.

A röntgenkép helyes kiértékelésének alapfeltétele a technikailag kifogástalan röntgenkép, mely éles és kontrasztos.



35. ábra. Filmnéző szekrény

3.5.2. KÉPÉLESSÉG

Éles a kép, ha egy tárgypontnak egy képpont felel meg, ez az ideális ábrázolás azonban nem valósítható meg. A kép élességét pl. úgy lehet mérni, hogy μm szélességű résről készített röntgenképet hasonlítanak össze az eredeti rés-sel. A képélességet befolyásolják a geometriai tényezők, az elmozdulás, a film emulziójának és az erősítőernyő tulajdonságai, valamint szubjektív hatások is.

A geometriai élesség a fókusz méretétől, a fókusz–tárgy és a tárgy–film távolságtól függ. A kép csak akkor lenne teljesen éles, ha a fókusz pontszerű lenne. A valóságban azonban a fókusz felület, melynek minden pontjából indulnak ki röntgensugarak, s minden sugár egy-egy képet ad. Ennek következtében a tárgy körvonalai kissé elmosódnak, a kép magja körül félárnyék keletkezik. Kis fókusz– tárgy távolság és nagy tárgy–film távolság, valamint nagy fókusz alkalmazása kedvezőtlen, mert növeli a félárnyék méretét (\Rightarrow a képkeletkezés geometriai törvényei).

Intraoralis felvételeknél a tárgy–film távolság kicsiny, a film közvetlenül a fogak mögött van. A nagyobb fókusz–tárgy távolságot a hosszú tubus biztosítja. A fókusz méretének a terhelhetőség szab határt.

Elmozdulási élettenséget okoz, ha a felvétel ideje alatt a beteg, a film vagy a röntgenső elmozdul. Az elmozdulás sebességétől függően a kép kissé élettlen vagy teljesen elmosódott lesz. Intraoralis felvétel készítésekor az elmozdulás lehetősége kisebb, ha az expozíció ideje rövid, ha a beteg fejét megtámasztva kényelmesen ül, a filmet megfelelően és biztosan tartja, és ha a felvétel elkészítése közben nem nyel.

A képélességet befolyásolja a film feloldóképessége, ami a bróm-ezüst szemcsék (kristályok) nagyságától függ. Minél kisebbek a szemcsék, annál jobb a film feloldóképessége. A feloldóképesség azt jelenti, hogy a film egymáshoz közel elhelyezkedő 2 tárgyrészletet különállóan ábrázol. Ezt általában úgy mérik, hogy keskeny, vonalszerű ólomcsíkot és ugyanolyan keskeny rést, azaz vonal párokat tartalmazó tárgyról röntgenfelvételt készítenek és megszámozzák, hogy 1 mm-n belül hány vonal-pár látható nagyítón keresztül. A periapicalis film feloldása 20 vonal-pár/mm, a panoráma felvételekhez használt erősítőernyő-film feloldása 5 vonal-pár/mm.

Az erősítőernyő alkalmazása rontja a képélességet.

Szubjektív tényező szemünknek az a tulajdonsága, hogy a kontrasztos képet a valóságosnál élesebben érzékeljük.

3.5.3. KÉPKONTRASZT

Ha a röntgenkép n és sötét területek lá tét területek denz kontraszt. Ha egy r területek vannak, (high contrast). A contrast felvétel és fehéren kívül látható a felvétel

Ha egy röntgenk sötétszürke árnyal kontrasztos (low c long-scale of cont mert a szürkének r a felvételen.

A röntgenfelvét kontraszttól és a fil

A tárgykontrasz tárgy egyes részeim miai összetétele n tárgyrészek sugár film egyes részei k pulpakamra sötét, felvételen). A tárgy tulajdonságain kiv minősége és menn gázás befolyásolja vastagodó tárgyról tett röntgenfelvétél 2,5 cm vastag víz, hez 1 mm Al, a har a negyedikben a ví

2,5 cm H₂O
+ 1 mm Al
+ 3 mm Al
+ 5 mm Al

36. ábra. Lépcsőzetes (Wachsman)

3.5.3. KÉPKONTRASZT

Ha a röntgenkép nem homogén, akkor világos és sötét területek láthatók rajta, a világos és sötét területek denzitása közötti különbség a kontraszt. Ha egy röntgenképen fekete és fehér területek vannak, az a felvétel kontrasztos (high contrast). Az ilyen felvételt short-scale of contrast felvételnek is nevezik, mert a feketén és fehéren kívül csak néhány szürke árnyalat látható a felvételen.

Ha egy röntgenképen csak világosszürke és sötétszürke árnyalatok láthatók, az kevésbé kontrasztos (low contrast). Az ilyen felvételt long-scale of contrast felvételnek is nevezik, mert a szűrkének nagyon sok árnyalata látható a felvételen.

A röntgenfelvétel kontrasztossága a tárgykontraszttól és a filmkontraszttól függ.

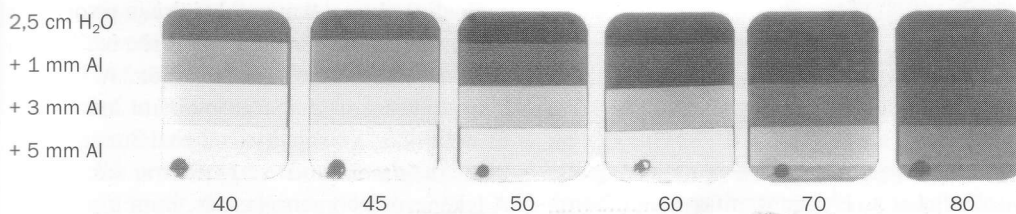
A tárgykontraszt abból adódik, hogy ha a tárgy egyes részeinek vastagsága, sűrűsége, kémiai összetétele nem azonos, akkor az egyes tárgyrészek sugárelnyelése különböző, azaz a film egyes részei különböző feketedésűek (pl. a pulpakamra sötét, a zománc világos a röntgenfelvételen). A tárgykontrasztot a tárgy említett tulajdonságain kívül csak a röntgensugárzás minősége és mennyisége, valamint a szórt sugárzás befolyásolja. A 36. ábrán lépcsőzetesen vastagodó tárgyról növekvő kV értékkel készített röntgenfelvételek láthatók. Az első lépcső 2,5 cm vastag víz, a második lépcsőben a vízhez 1 mm Al, a harmadikban a vízhez 3 mm Al, a negyedikben a vízhez 5 mm Al adódik hozzá.

A 40 kV-os csőfeszültséggel készített felvételt *high-contrast* vagy *short-scale* felvételnek nevezik. A feszültség növelésével a kontraszt csökken, a 80 kV-os csőfeszültséggel készített felvételt *low-contrast* vagy *long-scale* felvételnek nevezik.

A nagy mennyiségű szórt sugárzás csökkenti a tárgykontrasztot azáltal, hogy a film egész területén egyenletesen növeli a feketedést. A röntgenfotonok energiájának növelése fokozza a szórt sugárzást. A szórt sugárzást csökkenti a szűk diafragma, az intraoralis filmeknél a tasakban lévő fémfólia, illetve extraoralis filmeknél a kazetta hátsó oldalán lévő ólomlemez, valamint az alkalmazott finomrács, illetve *Bucky-rács*.

A film fotografiai tulajdonsága, az ún. *filmkontraszt* befolyásolja, hogy a tárgykontraszt milyen mértékben ábrázolódik a filmen. A felvétel kontrasztossága függ még attól, hogy alkalmaztunk-e erősítőernyőt, valamint függ a film alapfátylától és a film kidolgozásától (előhívás, fixálás, szárítás). A kontrasztosság szorosán összefügg az expozícióval is. Az expozíciót úgy kell megválasztani, hogy az a feketedési görbe egyenes szakaszának feleljen meg.

A *szubjektív képkontraszt* nem mérhető, életlen és lélektani tényezőktől függ. Az életlen képet kevésbé kontrasztosnak látjuk, ezenkívül többek közt a látási hibák, a szem kifáradása, a vizsgálati körülmények, a megvilágítási viszonyok, a vizsgáló gyakorlottsága is befolyásolják a kontrasztosság megítélését.



36. ábra. Lépcsőzetesen vastagodó tárgyról növekvő kV értékkel készült röntgenfelvételek (Wachsmann, F., Consentius, K.: *Strahlenschutz-Belehrungen*. Hoffman, Berlin, 1983)