# 31. fejezet

# Környezeti és foglalkozási eredetű károsodások

*Ungváry György*

*Kákosy Tibor*
*Köteles György*

# Foglalkozási mérgezések

*Ungváry György*

## *A foglalkozási mérgezések megelőzése*

Az üzemekben, a munkahelyen a legnagyobb tömegben, illetve a leggyakrabban használt vegyi anyagok többségének mérgező hatásait általában ismerjük. Az előírt kísérletes toxikológiai vizsgálatok eredményeinek felhasználásával, továbbá a munkavállalók védelmét szolgáló szabályozások, valamint a munkahigiénés és foglalkozás-egészségügyi szolgálatok tevékenysége révén nemcsak lehetőség nyílt ezek megismerésére, de a munkáltatóknak kötelessége is a tájékoztatás.

Amíg a lakosságot potenciálisan elsősorban a kereskedelmi forgalomban lévő, valamivel több mint 110 000 vegyi anyag hatása éri, az azokkal valamilyen tevékenységet (előállítás, gyártás, kiszerelés, csomagolás, raktározás, szállítás, árusítás, feldolgozás, felhasználás) folytató munkahelyek dolgozóit potenciálisan mintegy 13 000 000 vegyi anyag exponálhatja. Emellett egyre nagyobb veszélyt jelentenek a főként munkahelyi eredetű veszélyes hulladékok, amelyek mérgező hatása legtöbbször teljesen ismeretlen.

A munkahelyek dolgozóit a lakossági expozíció és a munkahelyi vegyianyag-expozíció egyaránt éri, de a munkahelyi expozíció a lakóhelyinek többszöröse. A dolgozók potenciális vegyianyag-expozíciója a vegyi anyagok tételszámát és azok expozíciós koncentrációját (dózisát) tekintve nagyságrendekkel nagyobb, mint a lakosságé.

Ennélfogva a vegyi anyagokkal dolgozó csoportok a vegyi anyagok egészségkárosító hatását illetően egyfajta különleges jelzőrendszer szerepét is betöltik: a vegyi anyaggal (anyagokkal) exponált dolgozók vizsgálata, illetve a dolgozókon tett megfigyelések hívják fel általában a figyelmet azokra a vegyianyag-koncentrációkra, metabolitszintekre, a káros hatásokat előre jelző paraméterekre (tünetekre), amelyek mérésével, kontrollálásával a lakosság vegyi anyag okozta károsodása biztonsággal megelőzhető. Ezért a munkavállalók vegyianyag-expozíciójának mérése és regisztrálása, valamint e dolgozók első, időszakos, soron kívüli és ún. záró orvosi alkalmassági (szűrő-) vizsgálata során nyert ismeretek, illetve ezek értékelése a lakosság egészségének megőrzését is szolgáló alapvető preventív tevékenység.

**A kémiai kockázatok kezelése.** Ahhoz, hogy a kemizációból származó globális és munkahelyi kockázatokat kezelni, illetve csökkenteni tudjuk, előbb a kockázatokat kell becsülhetővé, mérhetővé tenni. Ebbe a megismerési folyamatba egyaránt beletartozik a vegyi anyagok *tűz- és robbanásveszélyesség*ének, *egészségkárosító-, mérgezési (toxikológiai) hatás*ainak és *környezetkárosító (ökotoxikológiai) tulajdonság*ainak megismerése. A gyakorló orvosoknak megkülönböztetett részletességgel kell ismerniük a vegyi anyagok toxikológiai tulajdonságait, hatásait.

E célból az orvosnak tájékozódnia kell a vegyi anyagok toxikológiai vizsgálatainak eredményeiről, illetőleg értékelnie kell azok eredmé-

nyeit. A vegyi anyagok mérgező, egészségkárosító hatásáról állatkísérletekkel vagy ún. alternatív – pl. in vitro szerkezetanalízis – toxikológiai vizsgálatokkal szerzünk információt, de ismereteink egy része emberi mérgezések megfigyeléséből származik. Ezek ismeretében hozunk olyan döntéseket, intézkedéseket, amelyek alkalmasak a mérgező hatások megelőzésére vagy az egészségkárosító kockázatok kezelésére. Ezek az intézkedések (lásd később) jogszabályban, belső szabályzatokban kerülnek megfogalmazásra. Végrehajtásukért a munkahelyen a munkáltató a felelős; a munkáltató tanácsadói a foglalkozás-egészségügyi szolgálat, a munkabiztonsági szakértő, a munkahigiénikus, a toxikológus, valamint az ellenőrzésért felelős hatóságok (Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat: ÁNTSz, Országos Munkabiztonsági és Munkaügyi Főfelügyelőség: OMMF, Magyar Bányászati Hivatal: MBH) lehetnek.

## *A vegyi anyagok és készítmények osztályozása*

Abból a célból, hogy a vegyi anyagokról és készítményekről olyan összehasonlítható, könnyen kezelhető, gyors és egyértelmű információhoz jussunk, ami azoknak az ember egészséget és környezetét károsító legfontosabb tulajdonságairól tájékoztat, a vegyi anyagokat és készítményeket veszélyességük szerint osztályozzuk. Egy munkahelyen az expozíciót jelentő vegyi anyagok osztályba sorolása a foglalkozás-egészségügyi szolgálat által elvárt minimális ismeret, amely az adott veszélyes anyag hatásai szerint felépítendő orvosi vizsgálatok stratégiájának és prevenciós tennivalóinak kiindulópontja. A nagyobb kockázatot jelentő anyagokról az orvosnak irodalmi adatgyűjtés, a Fodor József Országos Közegészségügyi Központban (OKK-OKBI) működő Egészségügyi Toxikológiai tájékoztatási Szolgálattól (ETTSZ) kért információ stb. révén átfogó ismeretekhez kell jutnia.

Mielőtt az osztályozás elvét és gyakorlati kialakításának rendszerét bemutatjuk, szükség van az alábbiakban definiált néhány alapfogalom ismeretére.

## *Anyag, készítmény, veszélyes anyag, veszélyes készítmény*

*Anyag:* természetes állapotában előforduló vagy ipari termelőfolyamatból származó kémiai elem vagy ennek vegyületei, amelyek a termék stabilitásához szükséges adalékot és az előállításból-gyártásból származó szennyeződéseket is tartalmazhatnak, de nem tartalmaznak olyan oldószert, amely elkülöníthető az anyag stabilitásának vagy összetételének megváltozása nélkül.

*Készítmény:* két vagy több anyagot tartalmazó keverék vagy oldat.

*Veszélyes anyag:* amely fizikai-kémiai, toxikológiai vagy ökotoxikológiai sajátosságai révén az embert és/vagy a környezetet károsíthatja.

*Veszélyes készítmény:* olyan egy vagy több veszélyes anyagot tartalmazó keverék vagy oldat, amely fizikai-kémiai, toxikológiai vagy ökotoxikológiai sajátosságai révén az embert és/vagy a környezetet károsíthatja.

A munkahelyi kémiai biztonság, a helyes vegyianyag-kezelés szempontjából elsősorban a veszélyes anyagoknak és a veszélyes készítményeknek van jelentősége.

## *A veszélyes anyagok és a veszélyes készítmények jellemzői*

*Fizikai-kémiai tulajdonságuk* szerint a veszélyes anyagok lehetnek égést táplálók, oxidálók; rendkívül gyúlékonyak (vagy fokozottan tűzveszélyesek), könnyen gyulladóak (vagy tűzveszélyesek), gyúlékonyak (vagy kevésbé tűzveszélyesek).

*31.1. táblázat.* **Méregerősség szerinti osztályozás**

| Kategória | Orális $LD_{50}$, ALD patkány (mg/kg) | Dermális $LD_{50}$, ALD patkány vagy nyúl (mg/kg) | Inhalációs $LD_{50}$, ALD patkány (mg/liter/4 óra) |
|---|---|---|---|
| Nagyon mérgező | ≤ 25 | ≤ 50 | ≤ 0,25 |
| Mérgező | 25-200 | 50–400 | 0,25–1 |
| Ártalmas | > 200–2 000 | > 400–2 000 | > 1–5 |

*Toxikológiai sajátosságaik* szerint a veszélyes anyagok lehetnek nagyon mérgezőek, mérgezőek, ártalmasak (*31.1. táblázat*), maróak, irritálóak, túlérzékenységet okozóak (allergizálóak), organospecifikus károsodást okozóak, rákkeltők, mutagének, reprodukció- és utódkárosítóak, egyéb toxikus hatásúak.

*Ökotoxikológiai jellemzőik szerint* a veszélyes anyagok lehetnek környezetkárosítóak és környezetszennyezőek.

A felsorolt sajátosságok figyelembevételével történik az anyagok osztályba sorolása. Ennek során az anyagok veszélyszimbólumokat és veszélyjeleket kapnak (*31.1. ábra*), amelyeket ún. R (*r*isk: kockázat) és S (*s*afety: biztonság) mondatokra utalással egészítünk ki, pl. $R_1$: száraz állapotban robbanásveszélyes; $S_{12}$: a tartályt nem szabad légmentesen lezárni. Az anyagok csomagolóburkolatán elhelyezett címkén az R és S betűk mellett általában csak a mondatokra utaló számokat találjuk, de az anyagokhoz tartozó (a csomagolóburkolaton belül elhelyezett használati utasításon vagy az ún. biztonsági adatlapon) felleljük a releváns mondatot vagy – halmozott veszélyre utalás esetén – mondatokat. Az anyagok osztályozásának része még az anyag CAS-száma (Chemical Abstract Service Number) is – ez utóbbi az anyagok „személyi igazolványa": minden anyaghoz egyetlen CAS szám tartozik.

A veszélyes készítményeket szintén osztályba soroljuk, ezek is piktogrammal, veszélyjellel, R és S számokkal, mondatokkal, használati utasítással és biztonsági adatlappal kerülnek forgalomba. A biztonsági adatlap a veszélyes anyagok és veszélyes készítmények legfontosabb jellemzői és osztályozása mellett a legfontosabb prevenciós eljárásokat és a laikusok által nyújtandó elsősegélyt is feltünteti.

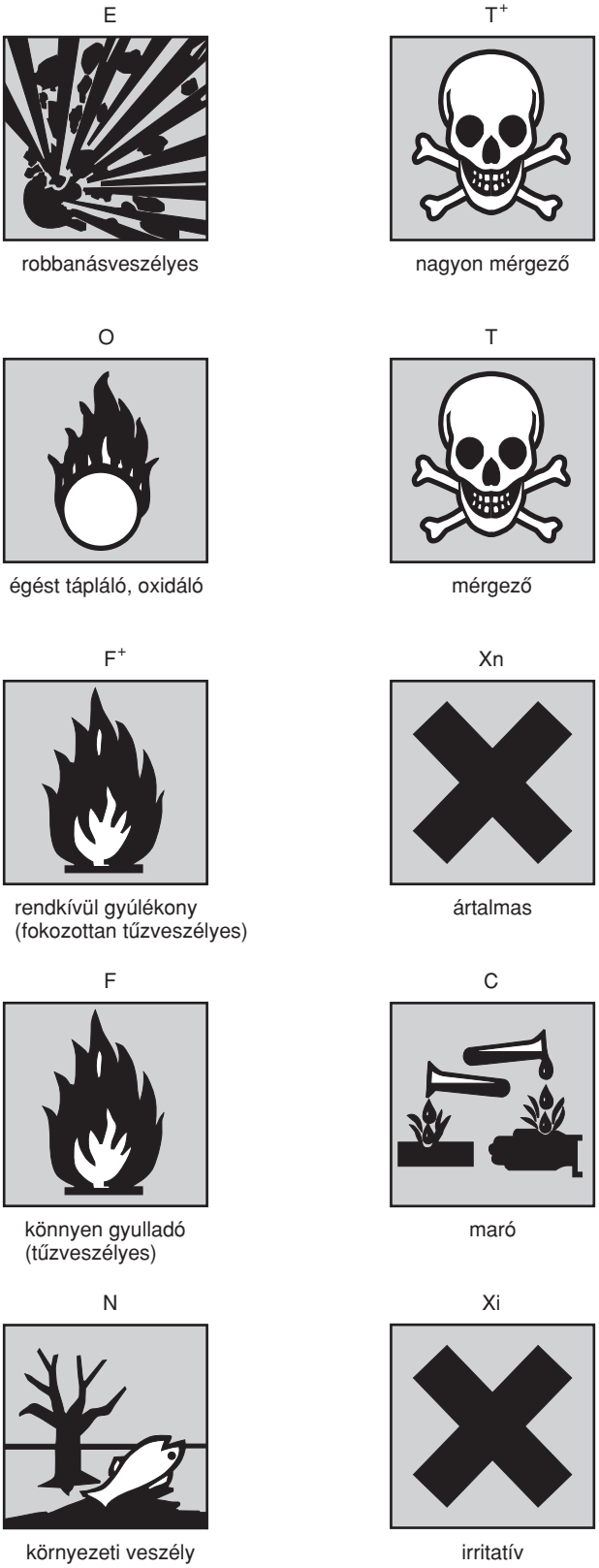
## *A kémiai termékek (anyagok, készítmények) csoportosítása*

Felhasználási területeik szerint az alábbi csoportokat szokás megkülönböztetni:

1. növényvédő szerek;
2. terméshozam-növelők (talajjavítók, műtrágyák);
3. élelmiszerek, élelmiszerek adalékanyagai;
4. takarmányok, takarmányadalékok;
5. ipari vegyi anyagok;
6. kőolajtermékek;
7. fogyasztói és háztartási vegyi anyagok (biocidok);
8. egyéb veszélyes anyagok, készítmények – gyógyszerek, kábítószerek, pszichotrop anyagok.

## *Expozíció, mérgezés a munkahelyen*

A veszélyes anyagok, illetőleg veszélyes készítmények elsősorban az 1., az 5., a 6., a 7. és a 8. csoportba tartoznak; a munkahelyen főként ezek jelenthetnek egészségkárosító expozíciót. Az expozíció során a munkatérből belégzéssel, a munkahelyi berendezések, gépek felszínéről közvetlen érintkezéssel bőrön át juthatnak a dolgozók szervezetébe a veszélyes anyagok és készítmé-




*31.1. ábra.* **A veszélyes anyagok és készítmények jelzésére Magyarországon és az Európai Unió országaiban kötelezően használt szimbólumok (piktogramok) és veszélyjelek**

nyek. Ezek esetenként akut, más esetekben – hosszabb időn át történő ismételt expozíciót követően – krónikus mérgezést, megint más esetekben az első expozíciótól távolabbi időpontban ún. *késői toxikus hatás*t (mutagén hatás, daganat, fejlődési rendellenesség, reprodukciókárosodás) idéznek elő.

A veszélyes anyagok, veszélyes készítmények okozta egészségkárosodási vagy baleseti kockázatok kezelésének, a hatások *megelőzés*ének módszerei lényegében megegyeznek. A munkahelyen a primer prevenciót vagy a kockázat elkerülését, a hatástalan szintre csökkentését kell mindig célul kitűzni. Ezek módszerei lehetnek műszaki, szervezési, valamint egyéni védőeszközös megoldások. (Alkalmazásuk meghatározása munkahigiénikus, munkabiztonsági szakember vagy foglalkozás-egészségügyi orvos feladata; lásd munka-egészségtani, foglalkozás-orvostani vagy munkavédelmi szakkönyvek.)

## *Határértékek, munkakörnyezeti monitorozás*

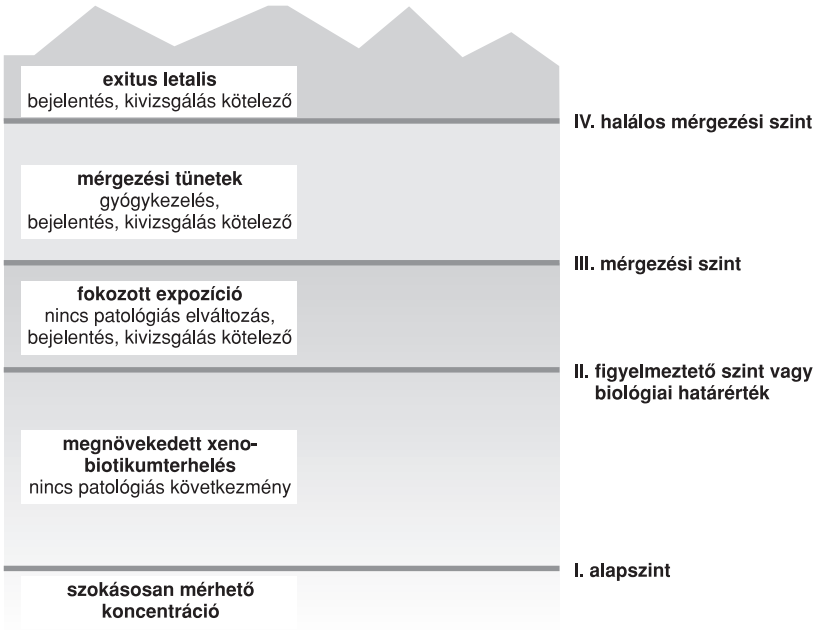
**Munkakörnyezeti határértékek.** A munkahelyi (munkakörnyezeti) határértékrendszer a primer prevenciónak és a kockázat elkerülésének a minimálisra csökkentését szolgálja. A munkahelyi határértékek betartása Magyarországon kötelező. Ezek az ún. *valódi határérték*kel bíró anyagok esetében (dózis-hatás összefüggésük determinisztikus, határértékeik jele: ÁK és CK – *á*tlagos *k*oncentráció és *c*súcs*k*oncentráció) általában biztonsággal védenek napi 8, illetve heti 40 órás munkaidő (pontosabban: expozíciós idő) esetében.

A *nem valódi határérték*kel bíró anyagok (dózis-válasz összefüggésük sztochasztikus, határértékük jele: MK – *m*aximális *k*oncentráció) hasonló munka- (expozíciós) idő esetén $1{:}10^5$ egészségkárosító kockázati szintet garantálnak. Az értékeket jogszabály írja elő. Ismeretük a prevenció, a kockázatkezelés sikerességének szavatolása mellett fontos a foglalkozási mérgezésekhez kapcsolódó bírósági eljárásokban is.

A munkakörnyezeti határértékeket az ún. *munkakörnyezeti monitorozás*sal ellenőrizzük, ami a munkatérben jelenlévő szennyező anyag(ok) időszakos, rendszeres vagy folyamatos mérését, regisztrálását és értékelését jelenti. A munkakörnyezeti monitorozást kizárólag munkahigiénikus és analitikai kémiai szakemberek képesek végrehajtani. Magyarországon általában az ÁNTSZ-ben dolgozó szakemberek végzik.

## *Biológiai monitorozás*

**Biológiai expozíciós mutató, biológiai határérték.** Az ún. biológiai expozíciós mutató(k) (BEM) meghatározott gyakorisággal történő rendszeres mérését, regisztrálását és értékelését *biológiai monitorozás*nak nevezzük. A mérések gyakoriságát a munkatér levegőjében jelen lévő vegyi anyag veszélyessége és a dolgozót sújtó expozíció ideje, azaz expozíciós idő szabja meg. A BEM a vegyi anyag és az emberi szervezet kölcsönhatását jellemző paraméter, ami arányos a szervezetbe jutott xenobiotikum dózisával, és ami lehet maga a szervezetbe jutott vegyi anyagra (pl. fémek) vagy annak valamely metabolitjára (toluol esetében pl. o-krezol), illetve tágabb értelemben a vegyi anyag és/vagy a metabolitjának a szervezetet károsító hatására jellemző paraméter (ún. hatásmutató). Ilyen pl. a szerves foszforsav-észtereknek a vörösvérsejt acetil-kolinészteráz enzimjére kifejtett aktivitást gátló hatása. A BEM azon szintjeit, amelyek azokat a biológiai válaszokat reprezentálják, amik fölött (vagy alatt) a szintek már közelítenek a szervezet károsodását okozó mérgezési szintekhez, *figyelmeztető szintek*nek, *biológiai határértékek*nek nevezzük (*31.2. ábra*). A Magyarországon a vizeletre, illetve a vérre ajánlott biológiai határértékeket tünteti fel a *31.2.* és a *31.3. táblázat*. A BEM-re jellemző, hogy mértékét a szervezetbe jutott anyag összes tömege (dózisa) szabja meg, függetlenül attól, hogy a vegyi anyag szájon át, belégzéssel, bőrön át, illetve egyidejűleg vagy




*31.2. ábra.* **A szervezetbe jutott xenobiotikumok a környezetben (beleértve a munkakörnyezetet) lévő koncentrációjuk függvényében az ábrán I–IV. számokkal jelölt szinteket érhetnek el**

*Megjegyzés.* A környezet szennyezettsége miatt a legtöbb xenobiotikum kimutatható a szervezetben; „a szokásosan mérhető” koncentráció a „civilizáció” előrehaladásával alakult ki; az ún. alapszint a különböző szennyezettségű környezetekben más és más

*31.2. táblázat.* **A foglalkozási vegyi expozíció esetén vizsgálandó biológiai expozíciós (hatás) mutatók megengedhető felső határértékei vizeletben**

| Vegyi anyag | Biológiai expozíciós (hatás) mutató | Mintavétel ideje | MEGENGEDHETŐ (felső) határérték | |
|---|---|---|---|---|
| | | | mg/g kreatinin | µmol/mmol kreatinin (kerekített értékek) |
| Anilin | p-amino-fenol | m.u. | 10 | 1,0 |
| Arzén (k) | arzén | m.u. | 0,13 | 0,20 |
| Benzol (k) | trans, trans mukonsav | m.u. | 1,5 | 1,2 |
| Dimetilformamid | N-metil-formamid | m.u. | 40 | 76 |
| Etil-benzol | mandulasav | mhv., m.u. | 1500 | 1110 |
| Fenol | fenol | m.u. | 300 | 360 |
| Fluorid vegyületek | fluorid | m.u.<br>köv.m.e. | 7<br>4 | 42<br>24 |
| Higany (szervetlen) | higany | n.k. | 0,05 | 0,028 |
| Kadmium | kadmium | n.k. | 0,01 | 0,01 |
| Króm (k) | króm | m.u. | 0,02 | 0,043 |
| Kobalt (k) | kobalt | m.u. | 0,03 | 0,058 |
| n-Hexán | 2,5-hexán-dion | m.u. | 3,5 | 3,5 |
| Nikkel (k) | nikkel | mhv., m.u. | 0,02 | 0,038 |
| Nitro-benzol | p-nitro-fenol | m.u. | 5 | 4,0 |
| Szelén | szelén | n.k. | 0,075 | 0,110 |
| Sztirol | mandulasav | mhv., m.u. | 1000 | 740 |
| Toluol | o-krezol | m.u. | 1 | 1,05 |
| Triklór-etilén | triklór-ecetsav | mhv., m.u. | 50 | 35 |
| Xilol | metil-hippursavak | m.u. | 1500 | 860 |

*Megjegyzések:* m.u. műszak után
n.k. nem kritikus
mhv. munkahét végén
köv.m.e. következő műszak előtt
k karcinogén anyag, a javasolt határérték „technikai értékként" kezelendő

egymást követő több expozíció révén jutott-e a szervezetbe.

Ennélfogva a BEM szintje a dolgozó átfogó, teljes expozícióját, a szervezetbe jutott összdózist jellemzi, s ily módon ismerete jobban szolgálja a dolgozó védelmét, mint a környezeti monitorozás. Szeretnénk azonban leszögezni: a *biológiai monitorozás és a környezeti monitorozás egymást kiegészítik*, és általában nem helyettesítik. A BEM-ek és a biológiai határértékek bevezetése az egyén egészségét védik, a munkások védelmét az ÁK-, illetőleg az MK-érték koncepciójának szellemében szolgálják.

**Fokozott expozíciós esetek.** Ha a vizeletmintákban vagy a vérmintákban mért BEM értékei a 31.2. és a 31.3. táblázaton feltüntetett értékeket meghaladják, vagy az acetil-kolin-észteráz-aktivitás esetében a BEM szintje a feltüntetett érték alá süllyed, fokozott expozícióról, fokozott expozíciós esetekről beszélünk. A fokozott expozíciós eset – hasonlóan a foglalkozási

*31.3. táblázat.* **A foglalkozási vegyi expozíció esetén vizsgálandó biológiai expozíciós (hatás) mutatók megengedhető felső határértékei vérben**

| Vegyi anyag | Biológiai expozíciós (hatás) mutató | Mintavétel ideje | MEGENGEDHETŐ (felső) határérték | |
|---|---|---|---|---|
| | | | mg/l | µmol/l (kerekített érték) |
| Anilin | methemoglobin | mhv.-m.u. | 3% | |
| Kadmium | kadmium | n.k. | 10 k | 0,09 |
| Ólom (szervetlen) | ólom<br><br>cink-protoporfirin (előszűrésre) | n.k.<br><br>három hónapnál hosszabb expozíció esetén alkalmazható | 500 k*<br>300 k**<br>5,9* g/g Hb<br>3,9** mg/g Hb | 2,4<br>1,5<br>150 mmol/mol hem*<br>100 mmol/mol hem** |
| Szén-monoxid | CO Hb | | 5% | |
| Szerves foszforsav-észter tartalmú peszticidek | vörösvérsejt vagy teljes vér acetil-kolin-észteráz (EC. 3.1.1.7.) aktivitás | | > 25%-os aktivitáscsökkenés az expozíció előtt mért alapaktivitáshoz viszonyítva*** | |

*Megjegyzések:* m.u. műszak után
n.k. nem kritikus
mhv. munkahét végén
k javasolt határérték „technikai értékként" kezelendő
* férfiak és 45 évnél idősebb nők
** 45 évnél fiatalabb nők
*** az alapaktivitás az expozíció mentes periódusban egy héten belül két alkalommal történt mérések értékeinek átlaga
**1.**

megbetegedésekhez, a foglalkozási mérgezésekhez – bejelentendő és kivizsgálandó; jelenleg az eljárást a 27/1996. (VIII.28.) NM rendelet írja elő.

**A biológiai expozíciós mutatók forrásai.** A BEM-ek mérésére elvben számos biológiai minta alkalmas. Pl. a szervezetbe jutott toluol egy részét – függetlenül a szervezetbe jutás útjától (belégzés, bőrön át, lenyelés) – kilélegezzük, másik része – elsősorban a máj biotranszformációs rendszere révén – benzil-alkohollá, benzaldehiddé, benzoesavvá oxidálódik, majd ugyancsak a májban glicinnel hippursavvá konjugálódik, és a vesén át a vizelettel kiürül. Ennek megfelelően a toluol és a szervezet közötti interakcióra jellemző BEM a toluol, a benzil-alkohol, a benzaldehid, a benzoesav és a hippursav egyaránt lehet. A toluolt a kilélegzett levegőben, a vérben (és elvileg valamennyi szervben), a benzil-alkoholt, a benzaldehidet, a benzoesavat, a hippursavat a vérben (és elvileg valamennyi szervben), de elsősorban a vizeletben mérhetjük. Megjegyzendő, hogy a toluolexpozíció biológiai monitorozására újabban, a pontosabb értékelés miatt, a toluol egyik „kollaterális metabolizáció után" keletkező metabolitját, a vizeletben megjelenő ortokrezolt használjuk.

A vegyi anyagok és egyes metabolitjaik szintjét számos szerv működése (a tüdőn át történő kilégzés, a zsírszöveti tárolás, a máj biotranszformációs, illetve konjugációs aktivitása, a vese kiválasztó képessége) befolyásolja. Egészséges emberben valamennyi BEM alkalmas arra, hogy az egyes biológiai mintákban (kilélegzett levegő, vér, vizelet stb.) mért koncentrációja jellemezze a dolgozóba jutott vegyianyag-dózist, a dolgozó valódi expozícióját. Más a helyzet nem egészsé-

ges emberben; pl. a légzés, a máj vagy a vese károsodása esetében a BEM mért értéke nemcsak az expozíciótól, hanem a szervezet $O_2$-ellátásától, a máj metabolizáló, konjugáló, exkretáló, a vese readszorbeáló, exkretáló stb. képességétől is függ. Ezért a BEM-ek, a biológiai monitorozás használhatóságának, valamint a fokozott expozíciós esetek megítélésének előfeltétele, hogy a dolgozó egészséges legyen, amit orvosi alkalmassági vizsgálatnak kell bizonyítania.

Jegyezzük meg: miután a BEM-ket a (tömeges) szűrővizsgálatok során használjuk, arra kell törekedni, hogy ez a vizsgálat *nem invazív vizsgálat* legyen, tehát a BEM-ket elsősorban vizelet-mintából határozzuk meg. A vizsgálatot csak akkor kössük vérvételhez, ha az egyetlen informatív paraméter kizárólag vérmintában mérhető.

## *A munkaköri alkalmasság megítélése veszélyes anyag vagy készítmény expozíciója, valamint mérgezés esetén*

### *Fokozott expozíció, reverzíbilis mérgezések*

**Fokozott expozíció.** A nem kumulálódó anyagok esetén a dolgozó folytathatja a munkáját, de az expozíciós forrást meg kell szüntetni. Ha az anyag (pl. ólom) vagy hatása (pl. a szerves foszforsav-észter) kumulálódik, a dolgozót ki kell emelni az expozícióból. A kiemelés időtartama addig tart, amíg a BEM újra a normáltartományban nem lesz (31.2. ábra).

**Akut mérgezés.** A dolgozót azonnal ki kell emelni az expozícióból és a megfelelő ellátásban (laikus elsősegély → orvosi elsősegély → szakorvosi, kórházi ellátás) kell részesíteni. Ha a tünetek megszűnnek, az anyag vagy metabolitjainak szintjei (vér, vizelet, egyéb biológiai minta) a normáltartományban vannak, a klinikus (kórházi vagy házi-) orvos a dolgozót gyógyultnak minősíti; akinek ezután munkahelyén jelentkeznie kell a foglalkozás-egészségügyi orvosnál soron kívüli alkalmassági vizsgálaton. A foglalkozás-egészségügyi orvos a munkaköri kockázatok, a megterhelés és a várható igénybevétel meghatározását követően dönt a munkába állás lehetőségéről és időpontjáról, a dolgozó munkaköri alkalmasságáról.

**Krónikus mérgezés.** A dolgozót azonnal ki kell emelni az expozícióból. Hasonló munkakörben (ha a mérgezést előidéző anyag határérték alatt van is) csak a teljes gyógyulást követően elvégzett soron kívüli orvosi munkaköri alkalmassági vizsgálat támogató javaslata esetén végezhet munkát. Maradványtünetek esetén a vegyi expozícióban való foglalkoztatás kontraindikált. A más munkakörben való alkalmasságról az adott munkakör kockázatainak, az azzal járó megterhelésnek és a várható igénybevételnek az ismeretében az adott munkahely foglalkozás-egészségügyi orvosa dönt.

**Lokális toxikus hatás.** Szenzibilizáló anyagok okozta bőrbetegségek, asthma bronchiale és egyéb allergiás megbetegedések esetében az érzékenységet okozó anyaggal, anyagokkal a dolgozó nem végezhet munkát. Tapasztalataink alapján az egy-egy foglalkozási allergénre (fémek, növényvédő szerek hatóanyagai stb.) kialakult túlérzékenységet egyre több foglalkozási eredetű anyagra kialakuló allergiás reakció követi. Ezért, ha egy foglalkozási vegyi anyagra túlérzékenység alakul ki, a súlyosabb klinikai státus elkerülése végett célszerű a dolgozónak más munkakörben elhelyezkednie.

### *Irreverzíbilis mérgezések*

Valamennyi formája (akut, szubakut, krónikus, késői toxikus hatás) kontraindikálja a vegyi expozícióban való foglalkoztatást.

## *A vegyi expozícióban való foglalkoztatás kontraindikációi*

A munkaköri alkalmasságot mindig a munkakörből eredő kockázatok, a megterhelés és a várható igénybevétel ismeretében döntjük el. Döntésünk meghozatalakor vegyük azonban figyelembe: az ún. *méregtelenítés*hez szükséges szerveknek, szervrendszereknek (máj, vese, tüdő, szív-ér rendszer), valamint a veszélyes anyag méreghatása célszervének (pl. neurotoxikus anyagok, hematotoxikus anyagok, rákkeltő anyagok esetében az idegrendszernek, a vérképző rendszernek, az immunrendszernek) épnek kell lennie. Figyelembe kell venni továbbá a 33/1998. (VI.24.) NM r. előírásait, amely a fiatalkorúak, az idősek, a nők, a terhes nők, a szoptató anyák, az anyatejet adó nők, a nem régen szült nők és más ún. *sérülékeny csoportok* foglalkoztathatóságát szabályozza.

# *Részletes toxikológia*

## *Fémek*

### Az ólom és vegyületei

#### *Ólom*

***A kóroki tényező tulajdonságai***

Az ólom kékesszürke nehézfém, olvadás- és forráspontja 327 °C, illetve 1620 °C. Az ólom 550–600 °C-on párolog, és a levegőben egyesül az oxigénnel, ólom-oxidot alkotva. A fémólom felhasználása gyakori. A leggyakrabban használt *szervetlen vegyületei* az ólom-oxid vagy gelét (PbO), az ólom-dioxid ($PbO_2$), az ólom-tetraoxid vagy mínium ($Pb_3O_4$), az ólom-karbonát vagy ólomfehér [$2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$], az ólomkromát vagy krómsárga ($PbCr_4$), az ólom-szulfát ($PbSO_4$), az ólom-szilikát ($PbSiO_3$), az ólomnitrát [$Pb(NO_3)_2$] és az ólomazid [$Pb(N_3)_2$].

Leggyakoribb *szerves vegyületei* az ólom-tetraetil [$Pb(C_2H_5)_4$], az ólom-tetrametil [$Pb(CH_3)_4$] és az ólom-sztearát (a sztearát és az ólom-nitrát vagy ólom-acetát keveréke) *(31.3. ábra)*.

***Előfordulás és felhasználás. Ólomexpozíció veszélyével járó munkakörök***

Az ólom a kőzetekben, a talajban és a növényzetben kis mennyiségben mindenütt jelen van. A primer ólomérc a galenit (PbS), amely rendszerint együtt található ezüst-, réz-, arzén-, antimon-, bizmut- és ón-szulfidokkal. Egyéb gyakori ólomércek a cerussit ($PbCO_3$) és az anglezit ($PbSO_4$). Az ólmot ipari célra bányászással, olvasztással, finomítással és másodlagos visszanyeréssel állítják elő.

Fémólmot használnak a nagyfeszültségű villamos kábelek köpenyeként; csövek, víztározók, tetőfedő anyagok előállításához; ólomzárnak; víznek kitett fémfelületek bevonataként, különösen tengervíz esetén (mínium, ólomvörös); savas ólomakkumulátor gyártásához (akkumulátorlemezek); a vegyiparban a kénsavtartályok, a párologtató edényzet bélelésére stb.; különféle ötvözetek gyártásához (ónnal, rézzel és antimonnal a nyomdaiparban és a lőszergyártásban); ólompigmentek előállítására a festékekhez és lakkokhoz; flintüveg és üvegzománc készítéséhez. Ólom-alkilokat (tetraetil-ólom, tetrametil-ólom) használnak a petrolkémiai iparban az üzemanyagok kopogásgátló adalékanyagaként.

Az olvasztókban és az akkumulátort gyártó üzemekben dolgozók, a forgácsolók, a festők, a fazekasok, a kerámiaiparban és az öntödékben dolgozók, a hegesztők és a benzinkeverők között vannak azok, akik a legnagyobb expozíciós veszélyben dolgoznak. Ólomexpozícióval kell számolni a sokszorosítóipar bizonyos munkaköreiben, mint a kézi betűszedés, a magasnyomás, a gépi szedés, a szedőgépszerelés, a tömörítés, a lapöntés, a betűöntés, a betűcsiszolás; a korszerű nyomdatechnikák túlnyomó többsége azonban ólommentes. Előfordul ólomexpozíció a gumi- és műanyagiparban is.

A fémólom (Pb) osztályozása

| vegyjele | CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | R mondat | S mondat |
|---|---|---|---|---|
| Pb | 7439–92–1 | T | 61–20/22–33 | 53–45 |

mérgező

Az ólom szervetlen vegyületeinek osztályozása

| CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | | R mondat | S mondat |
|---|---|---|---|---|
| – | T | N | 61–62–20/22–33––50/33 | 53–45–60–61 |

mérgező

környezetre veszélyes

Az ólom-tetraetil osztályozása

| tapasztalati képlete | CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | | R mondat | S mondat |
|---|---|---|---|---|---|
| $Pb(C_2H_5)_4$ | 78–00–2 | T | N | 61–62–26/27/28––33–50/53 | 53–45–60–61 |

mérgező

környezetre veszélyes

*31.3. ábra.* **A fémólom és az ólomvegyületek az osztályozása**

A munkaterek levegőjét akkor szennyezi ólomfüst (fémólom), ha az ólmot és a vegyületeit magas hőmérsékleten hevítik (pl. ólomkohászat, míniummal bevont fémvázas szerkezetek, hídalkatrészek vágása, hegesztése).

A háztartásban az ólombevonatú cserépedények és a régi házakban a málló ólomfesték is lehetnek ólomexpozíció esetleges forrásai.

### *Sorsa a szervezetben, hatása a szervezetre*

**Felszívódás.** Az ólom és vegyületei a légutakon és az emésztőcsatornán át jutnak be a szervezetbe. A bőrön keresztüli felszívódás csak a szerves vegyületek esetében lényeges.

A lakosság körében az ólomfelvétel becsült értéke 100 mg/nap és 350 mg/nap között van. Bár a fő forrás az élelmiszer és a víz, kb. naponta 20 mg szívódhat fel a szervezetbe az ólomvegyületgőzök és a szilárd részecskék belégzéséből a szennyezett városi környezetben. A levegőből származó ólom egészségkárosító hatása a részecske méretétől függ. Az 5 μm-nél kisebb részecskék visszamaradhatnak a tüdőben, míg a nagyobb részecskék kiülepszenek a felső légutakban, ahonnan a mukociliáris mozgás elszállítja az orrba és a garatba, ahonnan nyeléssel az emésztőtraktusba jut. A belélegzett ólom 10–30%-a a tüdőn keresztül szívódik fel, míg 5–10%-a a tápcsatornába jutva abszorbeálódik. A tetraetil-ólomgőzök a tüdőn át jól felszívódnak.

**Eloszlás.** Az ólom a véráramba szívódik fel, ahonnan a különböző szervekbe jut. A vér ólomtartalmának kb. 95%-a a vörösvérsejtekhez kötött. A plazmában levő ólom egy része diffúzibilis formában van, feltehetően egyensúlyban a szervezet egyéb ólomraktáraival, amelyek két részre oszthatók: *kemény szövetek* (csont, haj, köröm, fog) és *lágy szövetek*, parenchimás szervek (csontvelő, idegrendszer, vese, máj). Közvetlenül mérgező hatása kizárólag a lágy szövetekben levő ólomnak van. A kemény szövetekben az ólom szorosan kötött állapotban lelhető föl, és csak akkor mérgező, ha ez a raktár szolgál a lágy szövetek ólomtartalmának forrásául. Az ólomnak a kemény és a lágy szövetek közötti megoszlása következtében a biológiai felezési idejét a szervekben nehéz megmondani. Kétségtelen azonban, hogy a szervezetben levő ólommennyiség felének kiürülése éveket igényel. A vérben a felezési idő 30–40 nap.

**Kiválasztás.** Az ólom mind a vizelettel (75–80%), mind a széklettel (kb. 15%) kiválasztódik; még mérsékelt felszívódás esetén is gyorsan megjelenik a vizeletben. Úgy látszik, hogy egyensúly áll be a szervezetben a felszívódás és a kiválasztás között, vagyis a vizelettel, a széklettel, az epével, az izzadsággal kiválasztódó, valamint a hajban és a körmökben levő mennyiség megfelel az abszorbeálódottnak. A vizelettel az ólom lényegében a glomeruláris filtráció révén választódik ki. Emberben nem ismert, hogy az epével az ólom mekkora hányada ürül ki.

### *Ólommérgezés*

**Klinikai kép.** A foglalkozási eredetű ólommérgezés általában idült mérgezés, ritkán félheveny, még ritkábban heveny mérgezés is lehet.

A vérólomszint és a ZnPP-értékek emelkedése a megengedettnél nagyobb ólomexpozíció és a preintoxikáció legkorábbi tünetei. Ezek megelőzik a szubjektív panaszokat, mint a gyors elfáradás, az étvágytalanság, az idegesség, a fejfájás, a tremor, főleg a n. radialis beidegződési terület feszítőizmainak gyengesége, a gyomor-bél panaszok, (obstipatio, colica), a lesoványodás.

A foglalkozásban ólommal nem exponált populáció vizeletének ólomszintje 0,05–0,39 mmol/l (10–80 mg/l) között van. Hazai tapasztalatok szerint ólommérgezésben a vizelet ólomkoncentrációja az esetek 83%-ában meghaladta a 0,72 mmol/l-t (150 mg/l-t) és 65%-ban a 0,97 mmol/l-t (200 mg/l-t). A 0,72 mmol/l-nél (150 mg/l-nél) alacsonyabb vizeletólomszint sem zárja ki azonban az ólommérgezést. Minthogy a szervetlen ólomvegyületek expozíciója esetén a vizelet ólomkoncentrációja nincs jó összefüggésben az expozíció mértékével, az biológiai expozíciós mutatóként nem használható.

Az ólommal dolgozók vérének ólomszintje a fokozott ólomfelvétel következtében emelkedik, és arányos az expozíció mértékével. Az expozíció megszűnte után a vérólomszint már akkor is normális lehet, ha a parenchimás szervekben jelentős mennyiségű ólom van. Ezt Ca-EDTA-provokációs vizsgálattal állapíthatjuk meg.

*Elváltozások a vérképző rendszerben és a vérképben.* Az ólom gátolja a delta-aminolevulinsav-dehidráz- (ALAD-) enzim aktivitását mind az erythroblastokban, mind a vörösvérsejtekben. Ez a szérumban és a vizeletben egyaránt megnöveli a delta-ALA koncentrációját.

Ezzel egyidejűleg ólommérgezésben gyakran jelennek meg, illetve szaporodnak fel basophil szemcséket tartalmazó vörösvérsejtek. Ezek néha az egészséges egyének vörösvérsejtjeiben is megtalálhatók (kevesebb mint 0,5‰), illetőleg egyes betegségekben – pl. súlyos anaemia, leukaemia, rosszindulatú daganatok –, továbbá különböző foglalkozási mérgezésekben is kimutathatók kis mennyiségben. Ólommérgezésben a bazofilen szemcsézett vörösvérsejtek száma jelentősen megszaporodik (10–20‰). A bazofilen szemcsézett vörösvérsejtek száma és a vérólomszint között nincs összefüggés; fokozott expozíció vagy a korai diagnózis megállapítására ennek vizsgálata nem alkalmas.

A csontvelőben található elváltozások: az erythroblastok durva basophil pontozottsága; gyakori a kettős magvú erythroblastok (a mitózis toxikus károsodása miatt); a fokozott vörösvérsejt-képződés jelei a fiatal basophil alakok megszaporodása, esetleg a nagy macroblastok megjelenése.

Anaemia enyhe mérgezésben általában nem észlelhető. Az anaemia nem korai jele a fokozott expozíciónak vagy a károsodásnak; súlyos mérgezésben azonban nagyfokú anaemia fejlődhet ki, amely orto- vagy hiperkrom jellegű. Az anaemia oka a vörösvérsejtek fokozott pusztulása. A fokozott vörösvérsejt-szétesés miatt kismértékben emelkedett szérumbilirubin- és szérumvasértékek találhatók, és a sclerán subicterus észlelhető. Ismételt, súlyos ólommérgezések után a vörösvérsejt-képzés károsodása miatt az anaemia állandósulhat.

*Érrendszeri tünetek.* Az arteriolák és a kapillárisok spasmusa és ezek következményei a szubakut mérgezésben a korai tünetek közé tartoznak. A súlyos ólommérgezettek jellegzetes arcszínének, az ún. *ólomkolorit*nak az oka nemcsak az anaemia és a haemolysis következtében kissé emelkedett szérumbilirubin-szint, hanem a bőrerek spasmusa. Az angiospasmus egyes esetekben megfigyelhető a szemfeneken (kivételesen átmeneti vakságot is észleltek).

A nagyon nagy és hosszú ideig tartó ólomexpozíciót követően az ólom erekre kifejtett toxikus hatása következtében gyakoribb a *magas vérnyomás,* az *arteriosclerosis,* a *cerebrosclerosis,* a *nephrosclerosis,* az *angina pectoris*. Ezek a súlyos elváltozások a mai alacsony expozícióban már nem fordulhatnak elő.

*Szájüreg.* A régebben klasszikus diagnosztikai jelnek tartott ólomszegély elsősorban az alsó metszőfogak, máskor a többi fogak körül, a külső gingiva szélen megjelenő keskeny, szürkéskék vagy kékesfekete, nagyító alatt rögös elrendeződésű elszíneződés; önmagában sohasem jelent mérgezést, csak fokozott felszívódást. A szegély az ólommérgezések közel 50%-ában hiányzik. Ha a fogazat ápolt és ép, az ólomszegély súlyos mérgezésben is hiányozhat.

*Gyomor-bél traktus.* A colica a súlyosabb ólommérgezés gyakori tünete. Igen heves, fájdalmas bélgörcs, amelynek gyakori kísérő tünete a lassú és feszes pulzus, valamint a vérnyomás-emelkedés. A hirtelen fellépő heves bélfájdalmat – néha napokkal előbb – enyhébb bélfájdalom és székrekedés előzi meg.

*Ízületek.* Az *ólomarthralgia* az ólomcolicának néha kísérő, máskor megelőző vagy követő tünete, de colica nélkül is jelentkezhet. Időszakos heves fájdalom, amelyet tónusos görcsök kísérhetnek, főleg az alsó, ritkán a felső végtagban, még ritkábban a hát- és nyakizmokban. A fájdalomra jellemző a gyors változás.

*Idegrendszer.* Elváltozásai általában a nagy és hosszan tartó ólomfelszívódás, illetve az ismételt ólommérgezés után jelentkeznek. A motoros idegrendszer károsodásának gyakran első klinikai tünete az idegvezetési sebesség műszeresen mérhető csökkenése. Nem korai tünet (ahogy ré-

gebben leírták!) a kézfej feszítőerejének csökkenése – elsősorban a munka által fokozottan igénybe vett kézen jelentkezik – és a feszítőizmok galvanikus ingerlékenységének csökkenése.

Az ólom által okozott *perifériás idegbénulás* hosszan tartó, fokozott ólomfelszívódás, illetve ismételt vagy hosszan tartó súlyos mérgezés következménye. Ezért előfordulása ma már rendkívül ritka, ipari expozícióban nem fordul elő. Az ólommérgezésre a perifériás motoros ideg fájdalommal nem járó, degeneratív, atrófiás elváltozása jellemző, általában érzészavar nélkül. (A tallium- és az arzénmérgezésre a heves fájdalmakkal járó polyneuritis jellemző.) A bénulás az esetek legnagyobb részében a n. radialis beidegzési területén és elsősorban, illetve súlyosabb mértékben a fokozottan igénybe vett kézen, továbbá, ha az alsó végtag fokozottan terhelt, a lábon jelentkezik. A bénulás lassan, hónapok, évek alatt fejlődik ki.

Az *encephalopathia* ma már rendkívül ritka, mert általában a heveny vagy a félheveny ólommérgezésben fordul elő. Kezdetben nagyfokú fáradtság, álmatlanság, szédülés, emlékezetzavar, majd tremor, izomrángások, epileptiform görcsök, pszichés tünetek (nagyfokú nyugtalanság, depressio) jelentkeznek. Klinikailag az eklampsziás uraemiához hasonlít. A súlyos encephalopathia után gyakori a központi idegrendszer maradandó károsodása. Az enyhébb esetek általában minden következmény nélkül gyógyulnak. Előfordul enyhébb és idült formában is, amire általános pszichés panaszok, fejfájás, álmatlanság jellemzőek. Az encephalopathia idült, szubklinikai formáiban a legjellemzőbb tünetek az általános lassúság, a pszichomotoros zavarok, az enyhe intelligenciakárosodás és a személyiségváltozások.

*Késői toxikus hatás.* Az ólom 2B kategóriás rákkeltő; humán teratogén hatása bizonyított.

**Prognózis.** Az ólom okozta krónikus veseelégtelenség és az akut ólomencephalopathia halálos kimenetelű lehet. A súlyos, perifériás ólomneuropathiák gyakran irreverzíbilisek, maradandó bénulást okoznak.

**Az ólommérgezés korai diagnózisa. Labordiagnosztikai eljárások**

- *Biológiai meghatározás.* Kétféle biológiai teszt létezik: a) a vér ólomkoncentrációjának mérése – ez bizonyítja az ólomexpozíció fennállását, és jelzi annak mértékét; b) az ólom okozta káros hatások intenzitásának mérése biokémiai és hematológiai módszerekkel.
- A *biokémiai tesztek* jelzik a delta-aminolevulinsav-dehidráz (ALAD) aktivitásának csökkenését a vérben; a delta-aminolevulinsav (delta-ALA) és a koproporfirin III (CP) koncentrációjának növekedését a vizeletben és a cinkprotoporfirin (ZnPP) koncentrációjának növekedését a vörösvérsejtekben. Mérni szokták még a haj, a fog és a köröm ólomtartalmát is.
- A *hematológiai tesztek* által jelzett károsodások: a) a csökkent hemoglobintartalom; b) a csökkent vörösvérsejtszám és ezek rövidebb élettartama; c) a nagyobb reticulocytaszám (fiatal vörösvérsejtek); és d) a bazofilan festődő vörösvérsejtek nagyobb száma (regeneráció megnyilvánulása). A biokémiai és a hematológiai tesztek – bár nem specifikusak – a káros hatások intenzitásának becslésére jól használhatók.

A vérvételnél nagy gondot kell fordítani arra, hogy elkerüljük az ólomszennyeződést. Noha nem lényeges a vér- és vizeletminták vételének időpontja, a biológiai monitorozás során előnyös, ha a vér- és vizeletmintákat legalább három-négy nappal az utolsó expozíciót követően vesszük.

A foglalkozási anamnézis, a ZnPP-koncentráció, a vérólomszint meghatározása és az általános klinikai vizsgálat együttes értékelése alapján a fokozott ólomexpozíció, az ólommérgezés legkezdetibb állapota jól és korán felismerhető, amikor még lehetőség van a mérgezés kifejlődésének megelőzésére. Bizonytalan esetben segítséget nyújt a CaEDTA mobilizációs érték (EDTAm) meghatározása (a vizsgálat előtt három alkalommal meghatározzuk a napi, 24 órás vizelet

ólomtartalmát, majd két napig 2 g (20% oldat) CaEDTA-t adunk iv., a két nap alatt és azt követően több napon át meghatározzuk a napi, 24 órás vizelet ólomtartalmát.

A *differenciáldiagnózis* általában nagyobb problémát nem jelent, mert a vér ólomszintjének meghatározása ma már csaknem rutinszerűen rendelkezésre áll.

**Gyógyítás.** Ólommérgezés esetében a beteget helyezzük el fekvőbeteg-intézetben; a foglalkozási eredetű mérgezéses eseteket vagy a mérgezésre gyanús betegeket fekvőbetegosztályra vagy járóbeteg-szakrendelésre utaljuk be. Az OKK-OMFI járóbeteg-szakrendelésén, illetve fekvőbetegosztályán az ólommérgezés kezelése a következők szerint történik: $CaNa_2$ EDTA 2 g intravénás infúzió adása naponta 5 napig, majd két nap szünet. A kezelés addig folytatódik, amíg az ólom koncentrációja a vizeletmintában 650 mg/l (3,15 mmol/l) alá nem esik. A vizeletmintát az infúzió kezdetétől 4 órán át gyűjtött vizeletből vesszük. Ha a vizelet fehérjekoncentrációja megnő a kezelés idején, akkor a kezelést megszakítjuk. Az ólommérgezés kezelése kelátorokkal akkor indokolt, ha a vér ólomszintje több mint 50 mg/dl. Állatkísérletes tapasztalatok szerint a $CaNa_2$-EDTA megnöveli az agy ólomkoncentrációját. Ezért többen javasolják, hogy a kezelést dimerkaprollal vagy DMPS-sel vagy succimerrel célszerű kezdeni. Javasolt lehet még a $CaNa_2$-EDTA kezelést követően per os penicillaminkezelést alkalmazni.

### *Megelőzés*

**Foglalkoztathatóság.** Ólomveszélyes munkahelyen nem foglalkoztathatók a vérképzőrendszeri betegségben szenvedők, a hipertóniások, az érbetegek, az arteriosclerosisban szenvedők, a vesebetegek, a belső elválasztású mirigyek betegségeiben, az ovulációs-menstruációs ciklus zavaraiban szenvedők, az idegbetegek, a fertőző betegségben szenvedők (pl. tbc, lues), a gyomor-bél huzam és a máj betegségeiben szenvedők, az alkoholisták, a terhes és a szoptató nők, valamint a 18 éven aluliak. Többször ismétlődő ólommérgezés után a dolgozót ólommérgezés veszélyével járó munkában ne foglalkoztassuk.

**Munkaköri (orvosi) alkalmassági vizsgálatok.** Az ólommal dolgozókat a munka veszélyességétől, az expozíció nagyságától vagy az időszakos orvosi vizsgálatok eredményétől függő gyakorisággal orvosilag ellenőrizni kell; az előírás szerint ez utóbbi évente kötelező. Az időszakos orvosi vizsgálattal, illetőleg a biológiai monitorozással el kell érnünk, hogy felismerjük a fokozott expozíciót vagy az ólommérgezés latens szakát. A latens szakaszban a munkaképesség nem csökkent, a dolgozók általában egészségesnek érzik magukat. Ha ilyenkor a dolgozót olyan munkakörbe helyezik át, ahol nincs ólomexpozíció, és egyidejűleg megfelelő kezelést alkalmazunk, a mérgezés kifejlődését megelőzhetjük. Latens vagy enyhe ólommérgezésben azonnal meg kell szüntetni a fokozott ólomexpozíciót, vagy a dolgozót ólommentes munkahelyre kell irányítani. Ólomexpozícióban dolgozók esetében a záróvizsgálat kötelező.

**A prevenció eszközei.** *Munkakörnyezeti monitorozás:* hasznos információt szolgáltathat a munkahelyeken az állandóra kihelyezett, a levegőminőséget figyelő mérőrendszer (fixpontos), amelynek helyét gondosan ki kell választani, valamint a személyi mintavevő segítségével mért egyéni expozíció. Az egyes dolgozóknál biológiai módszerekkel ellenőrzött expozíciónak több előnye is van a munkakörnyezet monitorozásával szemben.

*Biológiai monitorozás:* a fokozott expozíció kimutatása érdekében előszűrést alkalmazunk, amely csak 3 hónapnál hosszabb expozíciót követően kerül sorra. Meghatározzuk a vér ZnPP-szintjét; megengedett határértéke: 150 mmol/mol hem (férfiak és 45 évnél idősebb nők esetében), 100 mmol/mol hem (18–45 éves nők esetében). Ha az eredmény határérték fölötti, vér-

ólom-meghatározás szükséges. A vér ólomszintjének megengedhető határértéke 2,4 mmol/l (500 g/l) férfiak és 45 évnél idősebb nők esetében; 1,5 mmol/l (30 g/l) 18–45 éves nők esetében.

A prevenció a szokásos; az eszközeit illetően utalunk a jelen fejezet bevezetőjében leírtakra; a prevenció speciális eszközeiről a munka-egészségtani és a foglalkozás-orvostani kézikönyvekben található bővebb információ.

## *Ólom-sztearát*

*Mérgezés* fordulhat elő az ólom-sztearát gyártásakor, csomagolásakor, valamint felhasználása közben (festék-, kenőanyag-, műanyaggyártás; stabilizátor, szárítóképességet növelő adalékanyag). A mérgezést az ólom-sztearát hosszú időn keresztül lebegő finom porának belégzése okozza.

*A klinikai kép* az ólom-nitrátból készült ólom-sztearát gyártása és csomagolása közben észlelt mérgezésekben megegyezik a fémólommérgezésben leírtakkal.

## *Szerves ólomvegyületek. Az ólom-tetraetil és az ólom-tetrametil keveréke*

Az ólom szerves vegyületeinek keveréke színtelen, jellegzetes szagú, olajszerű folyadék. Nagyon illékony. Benzinnel keverve már szobahőmérsékleten párolog.

### *Előfordulás és felhasználás. A szerves ólomexpozíció veszélyével járó munkakörök*

Főleg a benzinkeverők és a repülőgép-mechanikusok, különösen a benzintankok tisztításával foglalkozók, a kipufogó közelében dolgozók veszélyeztetettek. A közhasználatú „etil-benzin" kb. 0,3–0,6‰, a repülőgép- és motorcsónakbenzin lényegesen több, kb. 1,0–1,5‰ ólomtetraetilt tartalmaz. Figyelemreméltó, hogy pl. a repülőgép kipufogó csövétől kb. 20 cm távolságra a levegőben 74–250 mg/m$^3$ ólom-tetraetilt mutattak ki.

### *Sorsa a szervezetben, hatása a szervezetre*

**Felszívódása, kiválasztása.** A tiszta ólom-tetraetil és az ólom-tetrametil zsírban kitűnően oldódik, szobahőmérsékleten gyorsan párolog, a légutakon és bőrön át jól felszívódik. A legfeljebb 0,6‰ ólom-tetraetilt tartalmazó benzin gyakorlatilag veszélytelen, részben az alacsony koncentráció miatt, részben azért, mert a benzin az ólom-tetraetil párolgását és a bőrön keresztüli felszívódását jelentősen csökkenti. Meleg hatására azonban az „etil-benzin" az ólom-tetraetil gyors párolgása miatt veszélyessé válhat. Tilos meleg felületen (pl. meleg motorok tisztítása), de hideg állapotban is tisztításra használni. A szerves vegyületekből származó ólom nagyrészt a vizelettel választódik ki, és a vizelet ólomkoncentrációja jobb összefüggésben van az expozíció mértékével, mint a szervetlen ólomvegyületek expozíciója esetén.

### *Mérgezés*

**Klinikai kép.** A tetraalkilgyök trialkilvegyületté alakul át a szervezetben, és elsősorban az utóbbi vegyület okozza a toxikus hatásokat. A heveny mérgezés tünetei a gáz belélegzése után 1–2 óra múlva, a félheveny és az idült mérgezés tünetei néhány nap vagy hét múlva jelentkeznek.

A *bevezető tünetek* a fejfájás, az étvágytalanság, a hányinger, az édeskés szájíz, a fokozott nyálelválasztás, a hasi fájdalom, a hányás. Jellegzetes korai tünet a kínzó álmatlanság. A bőr feltűnően sápadt. Főleg a karokban remegés jelentkezik. A tünetekhez bradycardia, hypotonia, esetleg hypothermia társul. *Heveny mérgezés*ben hypotonia, hypothermia, mániás jellegű delírium fejlődik ki, amely súlyos esetben néhány órán belül halállal végződhet. *Súlyos mérgezés*ben nagyfokú zavartság, schizophreniához hasonló tünetek jelennek meg.

Az ólommérgezés jellegzetes biokémiai tünetei gyakran hiányoznak, bár idült expozícióban a delta-aminolevulinsav-érték, a CP emelkedhet, de nem olyan mértékben, mint a szervetlen ólom okozta expozícióban. A vérólomszint gyakran emelkedett. A vizeletólom-koncentráció és a tünetek súlyossága között összefüggést mutattak ki. A vizeletólom-érték az egyetlen értékelhető biológiai indikátor.

**Prognózis.** A mérgezés általában következmény nélkül gyógyul (enyhe mérgezésben néhány nap alatt, súlyos mérgezésben hetek vagy hónapok alatt), kivételes esetekben jelentkezhetnek következmények, mint idült idegrendszeri elváltozások, fokozott alapanyagcsere, nagyfokú lesoványodás, bradycardia, angina pectoris.

**Gyógyítás.** A szennyezett ruhát azonnal távolítsuk el. A bőrt tisztítsuk meg. A gyógyszeres kezelés során Ca-EDTA, $B_1$-vitamin, nyugtató és roboráló szerek, súlyos mérgezésben nyugtatószerek (morfin tilos!) adása szükséges.

### *Megelőzés*

A szerves ólomvegyületek bőrön át és belégzéssel egyaránt a szervezetbe jutnak. A benzinkeverőknél a következő védőintézkedések szükségesek: gumi védőruha, kesztyű, csizma, légzésvédő. Az előírások betartása teljes védelmet biztosít.

**Foglalkoztathatóság.** Ólom-tetrametil-expozícióban nem foglalkoztathatók az ideg- és érbetegek, a belső elválasztású mirigyek betegségeiben szenvedők, a nők és a 18 éven aluli férfiak.

**Alkalmassági vizsgálatok.** Az időszakos orvosi vizsgálat elsősorban a kezdeti tünetek és az idegrendszeri elváltozások (pszichés tünetek) vizsgálatára terjedjen ki. A mérgezésből felgyógyultat teljes gyógyulás után sem szabad újból ólom-tetraetil veszélyével járó munkahelyen foglalkoztatni. A szerves ólomvegyület expozíciójában dolgozók esetében a záróvizsgálat kötelező.

**A prevenció eszközei.** A prevenció eszközeit illetően utalunk a jelen fejezet bevezető részére, valamint a munkaegészségtan és a foglalkozásorvostan szakkönyvekre.

## A higany és vegyületei

### *A kóroki tényező tulajdonságai*

A higany ezüstös, folyékony fém, olvadáspontja –39 °C. Szobahőmérsékleten párolog; mind zárt, mind nyílt téren rövid idő alatt veszélyes koncentrációt érhet el. Számos vegyületet alkot, ezek szervetlenek (pl. oxidok, szulfátok, kloridok és nitrátok), valamint szervesek (alkil és aril). A vízben rosszul oldódó higanyvegyületek rendszerint kevéssé mérgezők (*31.4. ábra*).

### *Előfordulás és felhasználás. Higanyexpozíció veszélyével járó munkakörök*

A legfontosabb higanyérc a cinnabarit (HgS). A fémhiganyt nátrium-hidroxidok és kálium-hidroxidok, valamint klór elektrolitos előállítására, ezenkívül laboratóriumi és mérőműszerek (barométerek, hőmérők stb.) gyártásában és javításához, higanygőzcsövek, röntgencsövek, egyenirányítók stb. gyártásánál, valamint amalgám előállításához is felhasználják.

A higany(II)-kloridot ($HgCl_2$) valamikor fertőtlenítőszerként használták, ma fungicidként – rendszerint higany(I)-kloriddal ($Hg_2Cl_2$) keverve – csávázásra és favédelemre. Az aril- és az alkil-higany-vegyületeket a mezőgazdaság használja fungicidként vagy fertőtlenítőszerként. Magyarországon a higanytartalmú növényvédő szerek használata tilos. A metil-higany (alkil) nagyon mérgező, és világszerte tilos alkalmazni. Alkil-higanyvegyületek természetes módon, a környezetben is létrejönnek: a tengeri mikro-

A fémhigany osztályozása

| Vegyjele | CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | | R mondatok | S mondatok |
|---|---|---|---|---|---|
| Hg | 7439–97–6 | T | N | 23–33–50/53 | (1/2–)7–45–<br>–60–61 |
| | | | | | |
| | | mérgező | környezetre veszélyes | | |

A higany(II)-klorid osztályozása

| tapasztalati képlete | CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | | R mondatok | S mondatok |
|---|---|---|---|---|---|
| $HgCl_2$ | 7487–94–7 | T | N | 28–34–48/24/25–<br>–50/53 | (1/2–)36/37/39–<br>–45–60–61 |
| | | | | | |
| | | nagyon mérgező | környezetre veszélyes | | |

*31.4. ábra.* **A fémhigany és egy higanysó osztályozása**

planktonok metilezik a higanyt. Ezek bejutnak a tengeri állatokba, főként a halakba és a puhatestűekbe, és a tengeri eredetű élelmiszerek útján jutnak el az emberhez (lásd: Minamata-betegség).

A fő veszély az elemi higany gőzeinek expozíciójából származik. Ilyen expozíció fordul elő a higanyércbányászatban; a kohászatban fémhigany előállításakor; a nátrium- és kálium-hidroxidok, a festékek, a lumineszcens lámpák és fénycsövek gyártásánál; az elektromos mérőeszközök és a laboratóriumi műszerek készítésénél és javításánál; a fogászatban amalgám készítésénél; a szerves higanyvegyületek csávázásra és favédelemre való alkalmazásánál. Sok egyéb olyan foglalkozás is van, ahol számolni kell a higany potenciális expozíciójával, ilyen a higanytartalmú vegyületek, gyógyszerek gyártása, a robbanóanyag-gyártás (durranóhigany), a kalaptomp-előállítás – a higany-nitrát [$Hg(NO_3)_2$] nagyfokú mérgező hatása miatt. E vegyületet Magyarországon tilos használni, sőt a kalaptomp-előállítás is be van tiltva. Egyelőre azonban engedélyezettek Magyarországon a higanytartalmú faanyagvédő szerek – ilyenek a higany-klorid és a higany-cianid.

### *Sorsa a szervezetben, hatása a szervezetre*

**Felszívódás.** A higany főként a tüdőn keresztül jut a szervezetbe, gőz vagy por formájában. A belélegzett higanygőzöknek kb. 80%-a szívódik fel. A lenyelt fémhigany csak elhanyagolható

mennyiségben szívódik fel az emésztőrendszerből, míg a vízoldékony higanyvegyületek könnyen felszívódnak. Néhány szerves és szervetlen kétértékű higanyvegyület a bőrön át is felszívódhat. Az élelmiszerrel naponta felvett higany néhány mikrogramm.

**Megoszlás, biotranszformáció.** A felszívódott elemi higany gyorsan $Hg^{2+}$-ionná oxidálódik, ennek a szulfhidril- (SH) csoportokhoz van affinitása, és az ebben gazdag szubsztrátokhoz kötődik. A legnagyobb higanykoncentráció a vesékben (metallotioninhoz kötve) és a májban található. A higany képes átjutni a vér-agy gáton és a placentán. A metil-higanynak nagy az affinitása az agyhoz. A vérben a higany kb. 90%-a a vörösvérsejtekben található. A higany arilvegyületeinek anyagcseréje hasonló a fémhiganyéhoz és a szervetlen higanyvegyületekéhez. A higany fenil- és metoxietilvegyületei gyorsan átalakulnak szervetlen higannyá, amíg a metilezett higany nagyon lassan metabolizálódik.

**Kiválasztás.** Amíg az elemi higany és szervetlen vegyületei inkább a vizelettel, mint a széklettel ürülnek, a szerves vegyületek elsősorban a széklettel választódnak ki (kb. 90%-ban). A szervetlen higanyvegyületek biológiai felezési ideje kb. 6 hét.

### *Mérgezés*

**Klinikai kép.** A szervetlen higanyvegyületek gőzeinek expozíciója károsíthatja az idegrendszert. A metil-higany különösen mérgező az idegrendszerre, míg a fenil- és metoxietilvegyületek kevésbé mérgezőek.

*Akut mérgezés.* Ha a levegőben a fémhigany gőzének koncentrációja több $mg/m^3$, akkor az ezzel történő, rövid ideig tartó expozíció a bronchusnyálkahártya irritációját, fokozott nyálelválasztással járó stomatitist, lázzal és dyspnoéval kísért pneumonitist okozhat. A szervetlen sók, pl. a higany(II)-klorid ($HgCl_2$) helyi necrosist okoz a szájban és az emésztőcsatornában, a keringés összeomlását váltja ki, és akut veseelégtelenséget idéz elő oliguriával és anuriával.

*Idült mérgezés.* A higanygőz okozta idült mérgezés elsősorban az idegrendszert károsítja. Három klasszikus tünete az izgatottság (pszichés zavarok), a tremor és a stomatitis. Az idegrendszeri és a pszichés tünetek a legjellegzetesebbek. A nem specifikus korai tüneteket (anorexia, fogyás, fejfájás) sokkal jellemzőbb rendellenességek követik: fokozott ingerlékenység, alvászavarok (gyakori felébredés, álmatlanság), izgatottság, szorongás, depressio, emlékezetzavarok és önbizalomhiány. Sokkal súlyosabb jellegű problémákat – mint a hallucináció, a teljes memóriavesztés és a szellemi képesség romlása, a személyiség megváltozása *(erethismus* vagy *neurasthenia mercurialis)* – ma már nem lehet látni. Kevert típusú (azaz mind állandó, mind intenciós) higanytremor figyelhető meg először a zárt szemhéj, az ajak, a nyelv és az ujjak finom reszketéseként. A kézírás remegőssé, szabálytalanná és gyakran olvashatatlanná válik *(tremor mercurialis)*. A tremor progrediál, a karokra és végül az egész testre kiterjed.

A súlyos mérgezések gyakran beszédzavarokat okoznak, amelyek különösen a kiejtést érintik. Egyéb neurológiai tünetek a kipirulás, a fokozott verejtékezés és a dermatographia; esetenként az amiotrófiás laterális sclerosishoz és a bulbáris paralysishez hasonló korkép (a n. vestibularis és a n. cochlearis károsodása) jelenik meg, és kachexia fejlődik ki. A stomatitishez gyakran gingivitis társul, amely a fogak kihullásához vezethet; a szájszárazság, az égető viszkető érzés, a fémes íz ráterjed a garatra is. Annak ellenére, hogy a vesében nagy mennyiségben felgyűlik a higany, a vese károsodása ritka. A szemlencse elülső tokjában lerakódott higany szürkésbarna vagy sárga visszaverődést okoz a lencséről.

Nagyon ritka a foglalkozási eredetű mérgezés a higany aril (fenil) és metoxietil szerves vegyületeivel. Hatásuk hasonló a szervetlen higanyéhoz, mivel a szervezetben gyorsan átalakulnak ebbe a formába; ezek toxikus dermatitist is okozhatnak.

*Késői hatás.* Nincs bizonyíték arra, hogy a szervetlen higany rákkeltő hatású lenne. Néhány kísérletes tanulmányban azonban leírtak kromoszóma- és mitózisaberrációt a higanyexpozíció következményeként. A szerves higanyvegyületek (alkil-higanyok) teratogének, az újszülöttek Minamata-megbetegedését, elsősorban az arc és a kisagy fejlődési rendellenességeit okozzák.

**Prognózis.** Az idült mérgezés prognózisa jó, ha az expozíció megszűnik, és különösen akkor, ha a mérgezést nem engedik továbbfejlődni a korai szakaszokon túl.

**Differenciáldiagnózis.** *Akut mérgezés.* A higany eredetű akut bronchitist, intersticiális pneumonitist és stomatitist megerősíti az erre vonatkozó munkaköri anamnézis, a nagy koncentrációjú higanyt tartalmazó levegővel történt foglalkozási eredetű expozíció és a vizeletben higany jelenléte nagy koncentrációban.

*Idült mérgezés.* A higany eredetű tremor hasonló ahhoz, mint amilyet sclerosis multiplexben, egyes izombetegségekben és alkoholistáknál lehet látni. Néha nehéz megkülönböztetni a szellemi elváltozásokat (erethismusként leírt) az egyéb exogén neurózisoktól és néhány más megbetegedéstől. A higanyexpozíció a munkahelyi anamnézisben, valamint a nagy higanykoncentráció jelenléte a vizeletben segít megerősíteni vagy kizárni a higany kóroki szerepét a tremorban és a szellemi zavarokban.

**Gyógyítás.** A higanymérgezés első tüneteinek megjelenésekor ki kell vonni a dolgozót a további expozícióból, és legalább addig távol tartani, amíg a tünetek és jelek eltűnnek. Azokat a tünetmentes dolgozókat, akiknél a vizelet higanykoncentrációja meghaladja a 0,28 mmol/mmol kreatininszintet, ugyancsak távol kell tartani az expozíciótól, amíg a koncentráció ezen szint alá csökken. Ha néhány tünet és jel hosszú ideig tartó (több éves) expozíció után is fennmarad, a dolgozót véglegesen ki kell vonni a higanyexpozícióból. Kérdéses, hogy dimerkaprollal, unithiollal (nátrium 2,3-dimerkapto-1-propán-szulfonát) vagy penicillaminnal történő kezelés hatásos-e. A dimerkaprol helyett újabban a succimert vagy a DMPS-t javasolják. Idült mérgezéses eseteket speciális fekvőbeteg osztályra vagy járóbeteg-szakrendelésre utaljunk. Akut mérgezés esetén, ha a kiváltó elemi higany, az expozíció azonnali megszüntetésére, ha a kiváltó ok merkurisó, a folyadék- és elektrolit-háztartásra kell figyelmet fordítani. A higany megkötésére, eliminációjára tiol-kelátorokat adagoljunk (dimerkaprol, succimer, DMPS vagy penicillamin).

### *Megelőzés*

**Foglalkoztathatóság.** A legnagyobb veszélyben a serdülők (18 éven aluliak), a terhesek, a szoptatós anyák, a nem régen szült nők, a szervi és funkcionális betegségben szenvedők, a neurológiai és a pszichiátriai betegek, a vese és a máj parenchimás betegségeiben, az emésztőrendszeri és bőrmegbetegedésben, valamint hyperthyreosisban szenvedők és az idült alkoholisták vannak. A fentiek közül bármely csoportba tartozók foglalkoztatása tilos.

**Alkalmassági vizsgálatok.** Az *alkalmazás előtti vizsgálat*nak ki kell terjednie az anamnézisre és a fizikális vizsgálatra, különös figyelmet fordítva a szájüregre, a bőrtakaróra, az idegrendszerre és a mentálhigiénés állapotra. Kézírásmintát kell venni, és eltenni későbbi összehasonlítás céljából.

*Időszakos vizsgálat.* Orvosilag az időszakos vizsgálat ugyanaz, mint az alkalmazás előtti. Az expozíció mértékétől függően 6 hónapos időszakonként kell elvégezni. Ha az expozíció nagyon nagy, szükséges lehet a vizsgálatok rövidebb időszakonkénti megismétlése.

A higany eredetű tremor felderítése érdekében ellenőrizni kell a kézírást, összehasonlítva azzal a referenciamintával, amelyet az alkalmazás előtti vizsgálatnál vettek. A szerves higanyvegyületek expozíciójával járó munkahelyeken a látótér szemészeti vizsgálatát is el kell végezni.

**A prevenció eszközei.** Amikor csak lehetséges, a higanyt légmentesen zárt rendszerben kell tartani, a munkahelyeken szigorú tisztaságnak és rendnek kell lennie. Okvetlenül meg kell akadályozni továbbá a higany kiszökését a tartályokból, a cseppek szétszóródását a levegőbe és a higany beszivárgását a padlózat vagy a munkaasztalok hajlataiba és repedéseibe (ez hosszú ideig tartó párolgást eredményez). A higanygőzt és a higanyvegyületeket tartalmazó port műszaki intézkedésekkel kell visszaszorítani. A higanygőz nagy koncentrációjú expozíciójával járó veszélyhelyzetben légzőkészüléket kell viselni.

Az egyes országokban az elemi higanyexpozíció határértéke 0,01 mg/m$^3$ és 0,05 mg/m$^3$ között van. Az egészségre gyakorolt hatásra alapozott expozíciós határérték az Egészségügyi Világszervezet munkacsoportjának ajánlása szerint 25 mg/m$^3$ a levegőben (idővel súlyozott átlag) vagy 50 mg/g kreatinin (0,28 mmol/mmol kreatinin) a vizeletben.

Azoknál, akiket foglalkozásuk körében higanyexpozíció nem ér, a vizelet higanykoncentrációja kevesebb 20 mg/l-nél. Úgy látszik, hogy közvetlen összefüggés van a levegő higanykoncentrációja és a vizeletben előforduló koncentráció között. A levegőben és a vizeletben levő Hg koncentrációja közötti arányt 1:2-nek vagy 1:3-nak adják meg. A becslések szerint a levegő átlagos 50 mg/m$^3$-es higanykoncentrációja a vizeletben 100–150 mg/l-nek felel meg. Nagyok az egyedi eltérések azonban mind az expozíciós és a kiválasztási szint közötti korrelációban, mind a naponta kiválasztott higany mennyiségében.

*Munkakörnyezeti monitorozás.* Hazánkban kötelező!

*Biológiai monitorozás.* A vizeletben a higanyt határozzuk meg. A magyar biológiai határérték: 0,28 mmol/mmol kreatinin, ami 0,05 mg/g kreatininnek felel meg. Szerves vegyületek (metil-higany) expozíciója esetében meg kell mérni a vörösvérsejtekben és a plazmában ezeknek a vegyületeknek a koncentrációját. A biológiai határérték szerves higanyvegyület expozíciójában 100 mg (Hg)/l a vérben (Németország). A kivitelezhető módszert azonban nem tartják szelektívnek.

## A króm és vegyületei

### *A kóroki tényező tulajdonságai*

A króm kemény, kékesfehér színű fém, olvadáspontja 1890 °C. A króm két, három és hat vegyértékű lehet. A króm(II) vegyületei viszonylag instabilak, és könnyen stabil króm(III)-má oxidálódnak. A hat vegyértékű krómsók erősen oxidáló vegyületek, és könnyen redukálódnak három vegyértékűvé (*31.5. ábra*).

A kálium-bikromát osztályozása

| tapasztalati képlete | CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | | R mondatok | S mondatok |
|---|---|---|---|---|---|
| $K_2Cr_2O_7$ | 7778–50–9 | T | N | 49–46–21–25–26––37/38–41–43––50/53 | 53–45–60–61 |
| | | | | | |
| | | nagyon mérgező | környezetre veszélyes | | |

*31.5. ábra.* **A kálium-bikromát osztályozása**

### *Előfordulás és felhasználás. Krómexpozíció veszélyével járó munkakörök*

A legközönségesebb krómérc a vas-kromit ($FeCr_2O_3$). A krómot és vegyületeit különösen a fémfeldolgozó- és a vegyipar használja fel, pl. krómpigmentek gyártása és felhasználása, bőrcserzés és krómgalvanizálás, krómötvözetek és rozsdamentes acél gyártása során; használják továbbá robbanóanyag-gyártás, gyufagyártás, fakonzerválás során, fényképészetben, grafikai munkákhoz és a nyomdaiparban (mély- és síknyomás). A legtöbb cementfajtában van kis mennyiségű króm. Jelentős tömegben használnak az iparban még krómsavat ($H_2CrO_4$), kálium-kromátot ($K_2CrO_4$) és kálium-bikromátot ($K_2Cr_2O_7$).

A legnagyobb expozíciós veszélyben a mono- és dikromátot, valamint a ferrokromátötvözeteket gyártók, a rozsdamentes acélt hegesztők, a krómpigmenttel szórófestést végzők, a bőrcserzők és az egyéb bőripari dolgozók, a faiparban fakonzerválást végzők, a cementet előállítók és az építőiparban dolgozók, a festők, a fényképészek, a nyomdai mély- és síknyomásban dolgozók vannak. Legalább 80–90 olyan foglalkozást tartanak számon, ami a króm és vegyületeinek expozíciós veszélyével jár.

### *Sorsa a szervezetben, hatása a szervezetre*

**Felszívódás, megoszlás.** Habár a foglalkozási expozíció esetén a tüdőt tartják a leglényegesebb behatolási kapunak, a tüdőben történő krómfelvételről csak töredékesek az ismereteink. Úgy látszik, hogy a krómpor és -füst lerakódása és visszamaradása a tüdőben ugyanolyan, mint egyéb poroké és aeroszoloké.

A három vegyértékű krómvegyületek általában sokkal kisebb mértékben szívódnak fel a szervezetben, mint a hat vegyértékű vegyületek. A vegyület oldhatóságától függően a szájon át a szervezetbe jutó három vegyértékű vegyületek 0,2–3%-a, a hat vegyértékű vegyületek 1–10%-a szívódik fel.

A krómpigment-részecskék, a rozsdamentes acél hegesztésekor képződő füst és a krómsavköd-aeroszolok általában 1 μm-nél kisebb részecskékből állnak, aminek az a következménye, hogy jelentős mértékben átjutnak az alveolusokon.* A nagyobb vízoldékonyság fokozza a krómvegyületek felvételét és toxicitását.

**Biotranszformáció.** A hat vegyértékű krómvegyületek három vegyértékűvé redukálódnak a szervezetben. A redukció aránya a célszervben levő redukáló tényező mennyiségétől függ, ez befolyással van a hat vegyértékű vegyületek toxicitására és kiválasztására. A három vegyértékű króm esszenciális fém, és az ún. glükóztolerancia-faktorban van szerepe.

**Kiválasztás.** A kiválasztás főként a vizelettel és a széklettel történik. Az egyes krómvegyületek kiválasztásának sebessége jelentősen eltérő.

### *Mérgezés*

**Klinikai kép.** Nincs bizonyíték arra, hogy a leglényegesebb krómtartalmú érc (kromit) vagy a fémkróm mérgező lenne az emberre. A három vegyértékű krómvegyületek általában sokkal kevésbé mérgezőek, mint a hat vegyértékűek.

*Akut hatások.* A hat vegyértékű krómvegyületek balesetszerű bejutása a tápcsatornába vérzést okozhat az emésztőrendszerben, valamint májnecrosist vagy a vesékben tubuláris elhalást.

*Idült hatások.* A kromátok helyi lerakódása a nyálkahártyán az orrsövény fekélyesedését válthatja ki, amely gyakran vezet átfúródáshoz. Ugyancsak leírtak fekélyesedést a torokban és a

* Az alveolusokba a kb. 1 μm átmérőjű vagy ennél kisebb részecskék jutnak le teljesen. A légutakban való lerakódás azonban, amely a 2 μm-es részecskéknél csaknem 100%-os, csökken az ennél kisebb részecskék esetén, és a minimumot a 0,5 μm-nél kisebb részecskéknél éri el. Ez utóbbiak a nyirokutakon vagy a vérárammal kijutnak a tüdőből.

felső légutakban. A kromátok lerakódása a bőrön mély fekélyek („krómlyukak”) kialakulásához vezethet, különösen az ujjak tövénél és a kéz bütykeinél, de másutt is, ahol kromátok rakódtak le, és nem mosták le megfelelően.

Valószínűleg a bőr kromátallergiája a legközönségesebb következményes egészségkárosodás. Ez okozza a kontakt dermatitist a férfi esetek 13%-ánál. A bőrtapaszos teszt kis koncentrációjú kálium-kromáttal a legáltalánosabban használt módszer a diagnózis megerősítésére. A három vegyértékű krómvegyületek ugyancsak képesek krómallergiás reakciót kiváltani.

Leírtak asztmás reakciót olyan dolgozóknál, akik krómsavnak és kromátaeroszoloknak voltak kitéve, valamint rozsdamentes acélt hegesztőknél, akik a hegesztési füst következtében nikkel- és krómvegyület-expozícióban dolgoztak.

*Késői hatások.* A hat vegyértékű krómvegyületek rákkeltők. A bronchuscarcinoma előfordulásának az átlagosnál nagyobb gyakoriságát mutatták ki a dikromátnak és a krómpigmentnek kitett dolgozók között. Van néhány kevéssé meggyőző adat a rák fokozott gyakoriságára a festőknél, a krómpigmentet felhasználóknál, a krómsavködnek kitett dolgozóknál, a rozsdamentes acélt hegesztőknél és a vas-króm ötvözetek előállításával foglalkozóknál. A daganatos megbetegedések az orrmelléküregekre is lokalizálódhatnak.

*Expozíció–hatás összefüggés.* Súlyos akut mérgezés fejlődik ki, ha 1–9 g hat vegyértékű krómvegyület jut a szájon át a szervezetbe. Nyálkahártya-károsodást találtak krómsavgőzök expozíciója után kb. 0,1 mg/m$^3$ vagy nagyobb koncentráció esetén, de nem található adat az alacsonyabb koncentrációjú $Cr^{6+}$-részecskék hatására vonatkozóan.

**Prognózis.** Teljes lehet a gyógyulás a bőr- és nyálkahártya-fekélyekből, sőt még az allergiás dermatitisből is, ha megszűnik a krómvegyületek expozíciója. A bőrallergia azonban fennmaradhat, és a későbbi kontaktus nyomnyi mennyiségű krómmal is (pl. krómcserzett bőrruházattól) kiújulást okozhat. Az orrsövény-átfúródás és az atrófiás rhinitis irreverzíbilis állapot. A króm okozta tüdőrák prognózisa nem különbözik a más etiológiájú tüdőrákokétól.

**Differenciáldiagnózis.** Az orrsövény fekélyesedését és átfúródását a krómon kívül egyéb maró hatású fémek és vegyületeik is okozhatják. Ezért annak érdekében, hogy ezeknek az állapotoknak a pontos kórokáról meg lehessen bizonyosodni, alapvető a megfelelően dokumentált munkaköri anamnézis. A krómexpozíció által kiváltott fekélyeket elég könnyű megkülönböztetni az egyéb hasonló bőrelváltozásoktól: a tipikus krómfekély mély, kerek és a széle kiemelkedő.

A bőrtapaszos teszt fontos a krómexpozíció miatti allergiás dermatitisnek az egyéb allergiás bőrreakcióktól való megkülönböztetésében. A krómexpozíció miatti asthma kimutatására provokációs teszteket is használnak. Meg kell azonban jegyezni, hogy a króm foglalkozási eredetű expozíciójának bizonyítéka elengedhetetlen a diagnózis megerősítésére mindkét esetben.

A krómmal dolgozóknál a tüdőrákesetek leggyakrabban laphám típusúak, és szövettanilag nem különböznek a környezeti rákkeltők okozta egyéb tüdőrákoktól.

**Gyógyítás.** Ha balesetszerűen kromátok kerülnek a tápcsatornába, elsősegélyként tejet és redukáló anyagot, pl. aszkorbinsavat kell azonnal adni az érintettnek. A legfontosabb a $Cr^{6+}$ gyors redukciója $Cr^{3+}$-má. Bőrallergia és asthma esetén a munkakör-változtatás látszik általában tanácsosnak. A fekélyek kifejlődésének kezdeti szakaszában a redukáló anyagok helyi alkalmazása korlátozhatja a progressziót. A tüdőrákosokat úgy kell kezelni, mint az egyéb kórok miatti tüdőrákos eseteket. Az idült mérgezési eseteket speciális fekvőbeteg-osztályra vagy járóbeteg-szakrendelésre** utaljuk.

---

** A Fodor József Országos Közegészségügyi Központ Országos Munkahigiénés és Foglalkozás-egészségügyi Intézet egységei.

*Megelőzés*

**Foglalkoztathatóság.** Azok a személyek, akiknek az anamnézisében a levegőben levő krómátokra fellépő asztmás reakció vagy a krómátokra és egyéb krómvegyületekre kialakuló bőrreakció szerepel, sokkal érzékenyebbek, mint mások. Ezeknek a dolgozóknak azt kell tanácsolni, hogy ne vállaljanak olyan munkát, ami a krómnak és vegyületeinek az expozíciójával jár. Nem ismert, hogy van-e keresztreakció más allergénekkel. Tanácsosnak látszik azonban, hogy ne alkalmazzanak atópiás személyeket olyan munkakörben, ami a krómvegyületek jelentős légúti vagy bőrön keresztüli expozíciójának a veszélyével jár. Feltételezik, hogy a dohányzás potencírozza a krómátexpozíciót. Az allergiás betegségekre való hajlam mellett kontraindikált a foglalkoztatása a 18 év alattiaknak, a terhes, nemrég szült vagy szoptató és anyatejet adó nőknek, a felső légúti krónikus gyulladásban szenvedőknek, a krónikus bőrbetegeknek.

**Alkalmazás előtti vizsgálat.** Az alkalmazás előtti vizsgálatnak ki kell terjednie az anamnézisre és a fizikális vizsgálatra, különös figyelemmel az allergiákra, valamint a légúti és bőrbetegségekre. Indokolt a légzésfunkciós, a fül-orr-gégészeti és a bőrgyógyászati szakvizsgálat.

**Időszakos vizsgálat.** Évenként el kell végezni. Orvosilag az időszakos vizsgálat ugyanaz, mint az alkalmazás előtti. Továbbá még rinoszkópiát is kell végezni. A nagy expozícióban dolgozók esetében a tüdőrák korai felismerése céljából mellkasröntgennel való szűrővizsgálat; a leginkább veszélyeztetetteknél köpetcitológia elvégzése is javasolt, de a hatásos gyógykezelés hiánya és a citológiai jellemzés nehézségei nagymértékben korlátozzák ennek a megközelítésnek az értékét. A záróvizsgálat kötelező.

**A prevenció eszközei.** A króm koncentrációjának csökkentésére a munkatér levegőjében műszaki megelőző intézkedéseket kell végrehajtani. A bőrkontaktus megelőzése érdekében mindenütt, ahol szükséges egyéni védőeszközöket (különösen kesztyűt, védőruházatot, védőkenőcsöt) használni. Nagyon fontos a megfelelő személyi tisztaság, pl. a rendszeres kézmosás, a műszak utáni zuhanyozás és a védőkenőcs használata.

A különböző országokban a krómvegyületek expozíciós határértéke 0,01 mg(Cr)/m$^3$-től 0,1 mg(Cr)/m$^3$-ig váltakozik; a króm és oldhatatlan vegyületeinek expozíciós határértéke 0,5 mg/m$^3$ és 1 mg/m$^3$ között van. Mivel a krómátok rákkeltők, az expozíciót olyan alacsony szinten kell tartani, amilyenen csak lehetséges.

*Környezeti monitorozás.* A levegő krómkoncentrációjának meghatározása az expozíció megítélésének legmegbízhatóbb módszere. A hat vegyértékű vegyületek szűrőre gyűjtésekor számításba kell venni annak lehetőségét, hogy az elemzés előtt három vegyértékűvé redukálódnak. Mind a belélegezhető frakciót, mind a teljes koncentrációt meg kell mérni. Ez különösen a kis vízoldékonyságú aeroszolok esetében fontos (pl. króm-karbonát, ólom- vagy cink-kromát, hegesztési füst), ezek esetében a nagyobb részecskék felszívódás nélkül kitisztulnak a légutakból. Ami a jól oldódó krómvegyületeket illeti (pl. króm-acetát, króm-trioxid vagy krómsav, kálium-kromát, nátrium-kromát és nátrium-dikromát), mindenféle részecskeméret fontos toxikológiailag, mivel a felső légutakban lerakódott nagyobb részecskék feloldódnak és felszívódhatnak.

*Biológiai monitorozás.* Az arra irányuló kísérletek, hogy a vizelet krómtartalmát viszonyítsák a munkatér levegőjének a krómkoncentrációjához, mindeddig nem teremtették meg az expozíciós szint meghatározásának megbízható kritériumát. A plazma vagy a teljes vér krómkoncentrációjának a meghatározása 24 órával az egyszeri balesetszerű, szájon át történt bevitel után, illetve a nagy koncentrációjú krómátok rövidtávú inhalációs expozíciója után, segítséget adhat az expozíciós szint nagyságának megítélésében. A vörösvérsejtek krómkoncentrációjának

meghatározása hasznos jelzője lehet az expozíciónak még 7–8 héttel az egyszeri nagy dózisú expozíció után is. Magyarországon a króm és vegyületeinek expozíciója esetén a biológiai monitorozás kötelező. A biológiai expozíciós mutató a vizeletkrómszint. A biológiai (megengedhető) határérték 0,043 μmol/mmol kreatinin (vagy: 0,02 mg/g kreatinin).

## A mangán és vegyületei

### *A kóroki tényező tulajdonságai*

A mangán fehéresszürke, törékeny fém; a természetben szabad állapotban is előfordul. A talajban oxidálódik és nyolcféle oxidációs állapotban fordul elő. A mangán-oxid ($MnO_2$) a legstabilabb oxidja; további fontos mangántartalmú ásványok a karbonátok és a szilikátok. A fém szerves vegyületei közül a mangán-2-metil-ciklopenta-dienil-trikarbonil (MMT) és a mangánciklopenta-dienil-trikarbonil (CMT) a legfontosabbak (*31.6. ábra*).

### *Előfordulás és felhasználás. Mangánexpozíció veszélyével járó munkakörök*

A legközönségesebb mangánércet (piroluzit, $MnO_2$) külfejtéssel bányásszák. A világon kibányászott összes mangán kb. 90%-át az acélipar használja reagensként oxigén és kén redukálására. Egyéb főbb alkalmazásai a szárazelem-gyártás, a kálium-permanganát és más mangánvegyületek előállítása. Mangánt használnak a hegesztőpálcák bevonatában is. Egyes vegyületeit szárítóként használják lenmagolaj préseléshez üveg- és textilfehérítésre, festésre, bőrcserzésre és műtrágyagyártáshoz. A mangán szerves karbonilvegyületeit adalékanyagként használják a tüzelőolajban, a füstszűrőkben, és a benzinben kopogásgátló adalékként.

A mangánbányászok, a ferromangán-, vas- és acélipari dolgozók, valamint azok, akik szárazelemek és hegesztőpálcák előállításával foglalkoznak, vannak a legnagyobb veszélyben, illetőleg a legjelentősebb mangánexpozícióban. Mangánexpozícióval lehet számolni a gyufa- és a festékgyártás során is.

### *Sorsa a szervezetben, hatása a szervezetre*

**Felszívódás.** A mangán és vegyületei főként belégzéssel jutnak a szervezetbe. Mivel a legtöbb mangánvegyület gyakorlatilag vízoldhatatlan, végül csak azok a részecskék szívódnak fel, amelyek elég kicsik ahhoz, hogy elérjék az alveolust. A mangán bekerülhet a szervezetbe az emésztőcsatornán keresztül is szennyezett étel vagy víz fogyasztása útján; a lenyelt mangánnak kb. a 3%-a abszorbeálódik.

A mangán-dioxid osztályozása

| tapasztalati képlete | CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | R mondatok | S mondatok |
|---|---|---|---|---|
| $MnO_2$ | 1313–13–9 | $X_n$ | 20/22 | (2–)25 |

ártalmas

*31.6. ábra.* **A mangán-dioxid osztályozása**

**Eloszlás.** A felszívódott mangán gyorsan kitisztul a vérből, és más szövetekbe, főként a májba kerül. Képes átjutni a vér-agy gáton és a placentán is. A mangán egyes enzimek alapvető metalloprotein-összetevője.

**Kiválasztás, kiürülés.** A mangán biológiai felezési ideje kb. 40 nap, de az agyban ez az időtartam jelentősen hosszabb, mint a test többi részében. Az epe a legfontosabb útja a kiválasztásnak. Így csaknem teljes mértékben a széklettel ürül, és a napi felvett mennyiségnek csak kb. 0,1–1,3%-a választódik ki a vizelettel. Az MMT-expozíciót követően azonban sokkal nagyobb a mangán kiürülése a vizelettel; elérheti a teljes mennyiség kb. 30%-át.

### *Mérgezés*

**Klinikai hatások.** *Akut hatások.* Az akut mérgezés mangánvegyületekkel csak ritkán, baleset következtében fordul elő. A nagyobb mennyiségű mangánfüst belégzése heveny fémlázat okoz.

*Idült hatások.* A hosszú távú mangánexpozíció a *központi idegrendszer*t és a *tüdő*t károsítja.

- *Központi idegrendszeri hatások (manganismus).* A mangánmérgezés első tünete a szellemi képesség károsodása, ami lehet már a nagykoncentrációjú mangánpor vagy -füst mindössze néhány hónapos, sőt rövidebb expozíciójának eredménye. Rendszerint hosszú, két- vagy többéves expozíció után jelentkezik. A központi idegrendszer rendellenességeihez sok más tünet is társul. Lefolyása tekintetében a betegség három szakaszra osztható:
  - *szubklinikai szakasz*, általában enyhe tünetekkel; kezdetben gyengeség, fáradékonyság, fejfájás, étvágytalanság, hányinger, szédülés, alvászavar, vegetatív tünetek; később zsibbadás, merevségérzés a csípőtájon és a lábakban, a járás nehézkessé válása megtartott izomerő mellett;
  - *korai klinikai szakasz*, a pszichés és a neurológiai tünetek dominanciájával, melyekhez akut pszichomotoros zavarok, dysarthria és járászavar társulnak. Objektív tünetek jelennek meg: a garatreflex gyengül, kiesik, vegetatív tünetek jelentkeznek, paralysis a n. facialis és a n. hypoglossus területén. Kezdetben finom, majd durva hullámú tremor a végtagokban, amely később átterjed a törzsre és a fejre is. A folyamat előrehaladásával az alsó végtagok merevsége fokozódik, kifejlődik a pro- és a retropalsio, a jellegzetes „kakasjárás", majd a maszkszerű arc, a mimikai merevség, végül a mimika teljes hiánya. Gyakori a nyálfolyás, a hirtelen fellépő izzadás;
  - *teljesen kifejlődött szakasz*, amelyhez mániás vagy depressziós pszichózis és parkinsonismus csatlakozik. A parkinsonismus jellegzetes kórképén kívül egyéb központi idegrendszeri károsodások is előfordulnak. Előfordul nyelészavar, beszédzavar (halk, monoton beszéd), megváltozhat az írás (apróbetűs, reszketős). A gyakoribb pszichés tünetek: motoros nyugtalanság, hajlam az impulzív cselekedetekre (kényszersírás, kényszernevetés), nagyfokú ingerlékenység, álmatlanság, eufóriás és depresszív hangulatok váltakozása. A szellemi funkciók általában épek.
- *Hatás a tüdőre.* A nagykoncentrációjú mangán expozíciójában dolgozók köréből a pneumónia, valamint az akut és a krónikus bronchitis (különösen, ha az expozíció dohányzással jár együtt) gyakoribb előfordulását jelentették. Úgy látszik, hogy a mangán csökkenti az immunológiai ellenállást a bakteriális és a vírusos fertőzésekkel szemben. A mangán egyéb hatásaira vonatkozó közlések között szerepel az alacsony vérnyomás, a disproteinaemia és a reprodukciós zavarok. Ezek a hatások azonban nincsenek kielégítően bizonyítva.
- *Késői toxikus hatás.* Az eddigi ismeretek szerint a mangán nem karcinogén; állatkísérle-

tekben (egérben és patkányban) ugyanakkor teratogén.

**Expozíció–hatás összefüggés.** Ismertek 2–5 mg/m$^3$-es légköri mangánkoncentráció mellett a központi idegrendszert érintő káros hatásokról tanúskodó esetek. Kb. 0,5 mg mangán/m$^3$ koncentráció esetén nem specifikus jelek és tünetek jelentkezhetnek. Vannak beszámolók a tüdőre gyakorolt hatásáról a levegőben levő 0,3–0,5 mg/m$^3$-nél alacsonyabb koncentrációnál is.

**Prognózis.** Ha a dolgozót röviddel a tünetek megjelenése után kivonják az expozícióból, részleges javulás következhet be. Megmaradhat azonban számos maradandó zavar, különösen a beszédben és a járásban. A manganismus késői szakaszában a rokkantság végleges.

**Differenciáldiagnózis.** Ki kell zárni a nem specifikus tünetek egyéb okait. Alapvető a mangánexpozícióra vonatkozó munkaköri anamnézis ismerete.

**Gyógyítás.** A manganismusban szenvedő dolgozókat ki kell vonni a további mangánexpozícióból. Szájon át adagolt levodopakezelés ajánlott; a $CaNa_2$-EDTA-val történő kezelés hatékonysága kérdéses.

### *Megelőzés*

**Foglalkoztathatóság.** A terhes nőknél a mangánexpozíció következtében fennállhat az abortusz veszélye. A legnagyobb veszélyben az idült fertőzésekben, a máj- és a vesebetegségekben (csökkent mangánkiválasztás), a táplálkozási zavarokban, a vashiányos anaemiában (fokozott mangánfelszívódás) és az obstrukciós idült tüdőbetegségben szenvedők vannak. Az alkoholisták és a dohányosok az átlagosnál ugyancsak sokkal inkább veszélyeztetettek a mangán okozta betegségek kifejlődésében. A pszichotikus és a neurológiai rendellenességekben, valamint a krónikus légzőszervi megbetegedésben szenvedők ne végezzenek mangánexpozíciót okozó munkát!

**Előzetes alkalmassági vizsgálat.** Az alkalmazás előtti vizsgálatnak ki kell terjednie az anamnézisre és a fizikális vizsgálatra, különös tekintettel az ideg- és a légzőrendszerre.

**Időszakos vizsgálat.** Orvosi szempontból az időszakos vizsgálat ugyanaz, mint az alkalmazás előtti. Az időszakos vizsgálatot évente kell elvégezni. Különös hangsúlyt kell kapjanak a magatartási és az idegrendszeri zavarok, pl. a beszédhibák, az érzelmi zavarok, a tremor, az egyensúlyzavar, a járás vagy a guggolás gátoltsága, az adiadochokinesis és az írászavarok. Gyakran csak szubjektív tünetek és az abnormális viselkedés utalnak az egészségkárosodás korai jelentkezésére.

**A prevenció eszközei.** A megelőzést szolgáló legelső intézkedésnek a mangánpor és a -füst visszaszorításának kell lennie. A bányákban a szárazon történő fúrást mindenütt nedves eljárással kell helyettesíteni. A rövid ideig tartó nagykoncentrációjú expozíció elkerülésére frisslevegős légzőkészüléket, valamint légzésvédőt kell használni. Alapvetően fontos az igen magas fokú személyi tisztaság betartása. Kötelezővé kell tenni a munka utáni zuhanyozást és a ruhaváltást, és meg kell tiltani az evést és a dohányzást a munkahelyen.

A különböző országokban a mangánra vonatkozó expozíciós határértékek 0,3 mg/m$^3$ és 6 mg/m$^3$ között váltakoznak. Az Egészségügyi Világszervezet Munkacsoportjának ajánlása az egészségre gyakorolt hatásra alapozott expozíciós határérték tekintetében a köbméterenkénti 0,3 mg belélegezhető mangánrészecske a levegőben (idővel súlyozott átlag) mint megengedhető munkahelyi expozíció.

**Meghatározás a munkakörnyezetben.** A munkatér levegőjében el kell végezni a mangán-

koncentráció időszakos mérését (mind a teljes port, mind a respirábilis frakciót mérni kell); erre legjobb az egyéni mintavevő. Eléggé bizonytalan azonban a levegőben levő koncentráció és a dolgozók egészségkárosodásának mértéke közötti korreláció.

**Biológiai meghatározás.** Nincs sok értelme a mangán meghatározásának a vizeletben és a vérben. Csoportos vizsgálatnál a mangán átlagkoncentrációja a vizeletben durva korrelációt mutat az átlagos levegőkoncentrációval, azonban az egyének vizsgálatánál az összefüggés gyenge. A nem mangánexpozícióban dolgozók körében a vér mangánkoncentrációja nem haladja meg a 20 mg/litert, a vizeleté a 2 mg/litert és a hajban a 3 mg/kg-ot. Javasolható, hogy a székletben talált 60 mg/kg mangánkoncentrációt tekintsék a foglalkozási jellegű mangánexpozíció biológiai határértékének.

# *Oldószerek*

## Benzol

### *A kóroki tényező tulajdonságai*

Színtelen, jellegzetes szagú folyadék. Gőze nehezebb a levegőnél (*31.7. ábra*).

### *Előállítás és felhasználás. Benzolexpozíció veszélyével járó munkakörök*

A benzol a kőszénből gyártott koksz és a világítógáz melléktermék, a vegyipar és a gyógyszeripar alapanyaga. Kitűnő oldó-, extraháló-, hígító- és tisztítószer (vegyipar, gyógyszeripar, festékgyártás, műanyagipar, cipőgyártás); számos lakk, festék, ragasztóanyag (bútoripar, cipőipar, vasipar, nyomdaipar stb.), festékeltávolító szer tartalmaz benzolt. Benzolexpozíció fordul elő a kőolajiparban, a kábelgyártásban, a laboratóriumi munkákban stb. A felhasználása a nemzetközi (ILO) egyezmények értelmében erősen korlátozott.

### *Sorsa a szervezetben, hatása a szervezetre*

**Felszívódás, biotranszformáció, kiválasztás.** A munkahelyen elsősorban belégzéssel juthat a szervezetbe. A felszívódott benzol 30–75%-át változatlan formában kilélegezzük. A benzol főként a májban, az ún. *vegyes funkciójú oxidáz- (MFO-) rendszer* segítségével metabolizálódik; csak kis része (0,1–0,3%) ürül változatlan formában a vizeletben; a többi fenollá, kisebb részben benzokinonná és mukonsavvá oxidálódik (*31.8. ábra*). A benzol a lipidgazdag szövetekben (zsírszövet, csontvelő, központi ideg-

A benzol osztályozása

| tapasztalati képlete | CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | | R mondatok | S mondatok |
|---|---|---|---|---|---|
| $C_6H_6$ | 71–43–2 | F | N | 45–11–<br>–48/23/24/25 | 53–45 |
| | | | | | |
| | | könnyen gyulladó | mérgező | | |

*31.7. ábra.* **A benzol osztályozása**

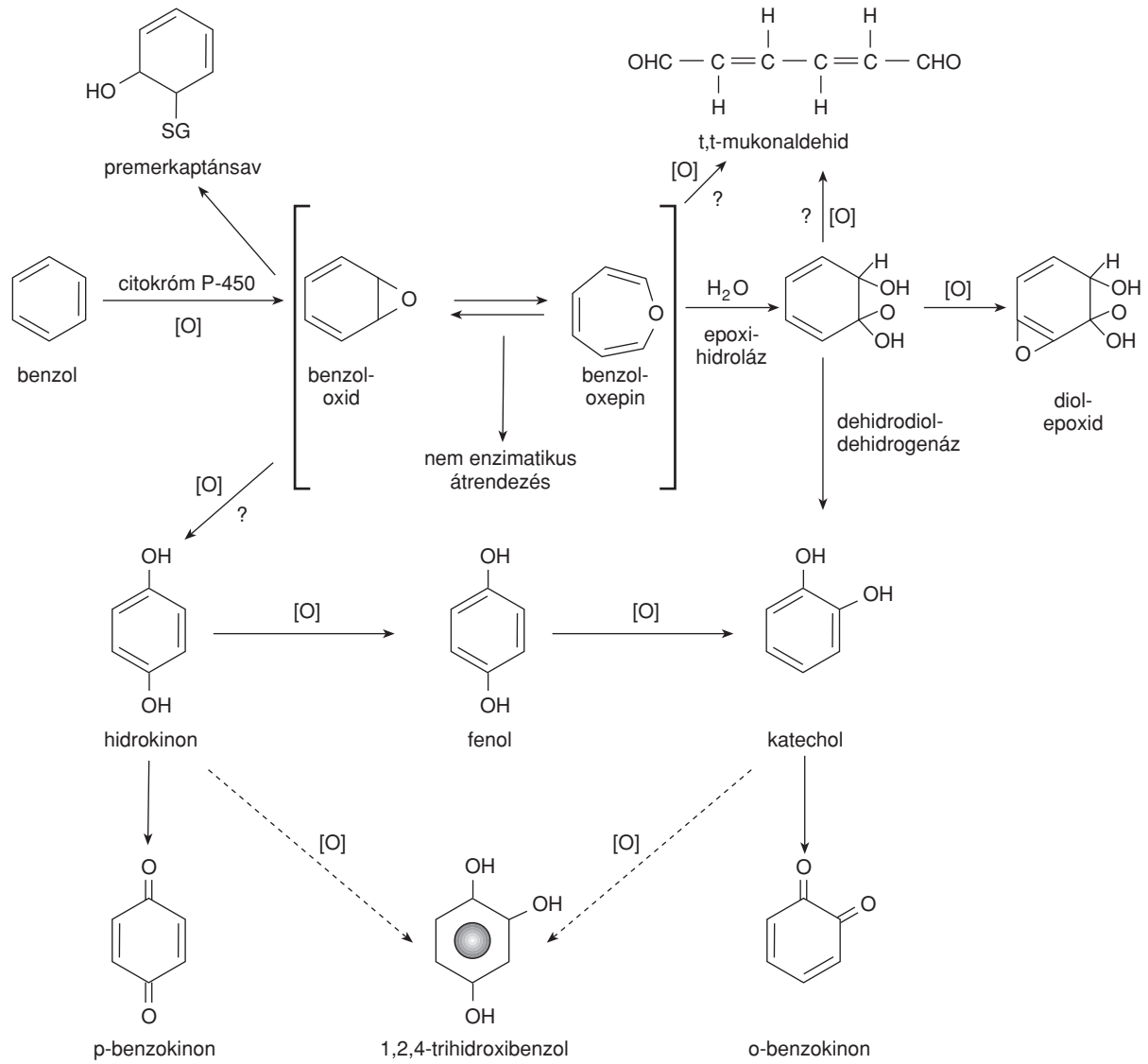
rendszer, mellékvese stb.) felhalmozódik, és onnan lassan ürül. A vizeletben ürülő fenolmennyiség meghatározása a nagyobb benzolkoncentráción történt expozíció esetében felhasználható a benzolexpozíció jellemzésére. (A biológiai határérték 36 μmol/mmol kreatinin vagy 30 mg/g kreatinin.) Alacsonyabb fokú benzolszennyezettség esetén (pl. 1–10 mg/m$^3$) a biológiai monitorozásra expozíciós mutatóként a t,t-mukonsavat kell használni; biológiai határértéke: 1,2 μmol/mmol kreatinin vagy 1,5 mg/g kreatinin.

Zsírban való jó oldhatósága miatt kis mennyiségben a bőrön keresztül is bejuthat a szervezetbe, ennek azonban a foglalkozási mérgezésben alig van kóroki jelentősége.

### *Mérgezés*

**Klinikai kép.** *Lokális toxikus hatás.* A levegő magas benzoltartalma is csak enyhén izgatja a légutakat. Folyadék formájában irritálja a bőrt, zsírtalanítja, kiszárítja, erythemát okozhat és elősegíti a másodlagos fertőzést.

*Akut mérgezés.* Heveny mérgezésben elsősorban a benzol narkotikus hatása érvényesül. Rövid




*31.8. ábra.* **A benzol metabolizációja emberben**

idő alatt *nagyobb mennyiségben belélegezve* kezdetben eufóriás izgalmi állapot, majd fáradtságérzés, szédülés, hányinger, fejfájás, aluszékonyság jelentkezik, később tónusos-klónusos görcsök, majd bénulás, eszméletvesztés és rövid időn belül az esetek kisebb részében légzésbénulás következhet be, általában azonban ventrikuláris fibrillatio vezet az exitus lethalishoz.

*A heveny mérgezés enyhébb formája* kellemes eufóriás állapottal kezdődik, majd szédülés, kisfokú zavartság, hányinger, a fejben nyomásérzés jelentkezik. Az eufóriás állapot miatt az érintettek általában nem ismerik fel a veszélyt, tovább dolgoznak, a veszélyes munkahelyről ritkán távoznak önként. Az eufóriás állapot gyorsan és észrevétlenül mehet át súlyos narcosisba, amikor a menekülés már lehetetlen. Olyan munkahelyen, ahol a heveny benzolmérgezés lehetősége fennáll, a dolgozókat fel kell világosítani a benzolhatás kezdeti tüneteiről és arról, hogy az eufóriás állapot vagy már a legenyhébb panasz jelentkezésekor munkahelyüket azonnal hagyják el.

*Idült mérgezés.* Az idült benzolhatás megítélésekor tudnunk kell, hogy az egyéni érzékenység eltérő, és a hatás következményei különböző hosszú, hónapokig, évekig tartó lappangási idő után jelentkezhetnek.

Az idült benzolexpozíció elsősorban a *vérképző rendszer*t károsítja. A benzol a csontvelő egyes részfunkcióit – vörösvérsejt-, fehérvérsejt-, thrombocytaképzés – külön vagy együtt, egy időben vagy különböző időpontokban károsítja. A csontvelő reakciója az egyéni diszpozíción kívül elsősorban az expozíció időtartamától és az expozíciós dózis nagyságától függ. Már rövid ideig tartó (néhány hetes) nagyfokú expozíció súlyos, egy-két évig is eltartó csontvelő-károsodást okozhat. A periférián a rövid életű thrombocyták és granulocyták száma már a rövid ideig tartó expozícióban is változhat, az anaemia (a vörösvérsejtek élettartama 120 nap) csak hetek vagy hónapok múlva jelentkezik. A csontvelőműködés zavara a legkülönbözőbb vérképelváltozásokban jelentkezhet (pl. az egyik részfunkció normális, a másik hipofunkciós, a harmadik hiperfunkciós), a teljes aplasiától a hyperplasiáig variálódhat. A kóros csontvelőműködés és a vérkép jellege váratlanul vagy fokozatosan változhat.

A szűrővizsgálatok tapasztalatai szerint a benzolhatás kezdeti szakában előfordulhat leukocytosis, a fehérvérsejtek száma 10–14 000/mm$^3$-re emelkedik. Az izgalmi állapotot a fehérvérsejtkép balra tolódása kísérheti. Később – a fehérvérsejtszám ingadozása után – a perifériás vérkép normalizálódhat. Máskor csökken a granulocyták száma, és ha a lymphocyták száma változatlan, relatív lymphocytosis észlelhető. Nem ritkán előfordul valódi lymphocytosis is, és ilyenkor a granulocyták száma akár az eredeti 20%-ára csökkenhet, az össz-fehérvérsejtszám csökkenése nélkül. (Ezért kell mindig a granulocyták abszolút számát meghatározni!) Súlyos mérgezésben agranulocytosis fejlődhet ki.

A vörösvérsejt-képzés izgalmi tünetei, amelyet állatkísérletben gyakran megfigyeltek, emberben nem olyan kifejezettek, de előfordulhatnak. A folyamat előrehaladásával a vörösvérsejtképzés regenerációs jelenségei háttérbe szorulnak és – gyakran hipokróm jellegű – anaemia fejlődik ki. Kivételesen a mérgezés egyetlen tünete az anaemia, vagy az anaemia tünetei állnak előtérben. Ha emellett a fehérvérsejt- és a thrombocytaszám is kóros eltérést mutat, az a csontvelő pánmielopátiás károsodására utal.

Az esetek jelentős részében a thrombocytaképződés is károsodást szenved. Gyakori a thrombocytopenia, sőt az is előfordul, hogy a thrombocytopenia megelőzi a többi vérképző rendszeri elváltozást. A thrombocytaszám csökkenése és a kapillárisok károsodása együtt okozzák – a néha korai tünetet – a vérzékenységet.

Miután a vérképző rendszer károsodása időben és lefolyásában különböző, a klinikai kép rendkívül sokféle lehet. Egymás mellett lehet jelen pl. a teljesen normális vörösvérsejtszám és a kifejezett leukopenia vagy az anaemia és a normális fehérvérsejtszám. A régebbi felfogással ellentétben a leukopenia *nem mindig* korai jele az idült benzolmérgezésnek.

A diagnózist segítheti és gyanús esetben mindig elvégzendő a *csontvelővizsgálat*. A megfigyelhető elváltozások: pszeudohiperpláziás csontvelő, de legtöbbször *balra eltolt csontvelőkép*, jelentős mennyiségű nagy és éretlen formájú sejt, macroblastok, több feltűnően nagy promyelocyta vakuolizációval, megaloblastokhoz hasonló sejtek. Máskor a normális csontvelőelemek száma jelentősen csökken, súlyos csontvelő-aplasia és jelentős reticulumsejt-szaporulat látható. A csontvelő-atrophia prognózisa kedvezőtlen.

A tünetek rendkívüli variabilitása miatt a benzollal dolgozóknál a vérképzőrendszer bármilyen elváltozása a benzolmérgezés lehetőségére figyelmeztető jel. Ezeket a dolgozókat rendszeres megfigyelés alatt kell tartani, és ha a rendellenesség nem múlik el, csak benzolexpozíciótól mentes munkahelyen foglalkoztathatók.

A benzolmérgezés tünetei néha csak a benzolexpozíció megszűnése után jelentkeznek, rövidebb vagy hosszabb idő múlva. Leírtak károsodást 5–10 év, sőt még hosszabb benzolmentes munka után is.

A benzol befolyásolja a vitaminháztartást. Fokozódik a C-vitamin-szükséglet, és adatok vannak arra vonatkozólag is, hogy a B-vitamin-csoport, mindenekelőtt a $B_{12}$- és a $B_6$-, esetleg a P-vitamin-anyagcsere is károsodást szenved. Egyéb elváltozások, pl. az egyes esetekben előforduló – a normálistól eltérő – májfunkciós jelek nem jellemző következményei a benzolhatásnak.

*Késői toxikus hatás*. A benzol *heveny,* igen ritkán *idült mieloid típusú leukaemiá*t okozhat, amely több évvel az expozíció megszűnése után is jelentkezhet. A leukaemia létrejöttében, az individuális adottságok mellett szerepet játszhat a benzolexpozíció mértéke és a 4–5 évnyi expozíciós idő, illetve az első expozíciós napot követő 4–5 éves periódus. A malignus lymphomák (lymphosarcoma, Hodgkin) gyakoribb előfordulását is leírták. A benzol embriotoxikus hatású, spontán abortuszt okozhat; teratogén hatása nincs.

**Gyógyítás, ellátás.** Fekvő- vagy járóbeteg-szakrendelés. A benzolexpozícióban dolgozóknál kerüljük azokat a gyógyszereket (amidazophen, arany, salvarsan stb.) és gyógyeljárásokat (rtg-kezelés, radioaktív besugárzás), amelyek a csontvelőt károsíthatják.

### *Megelőzés*

**Foglalkoztathatóság.** Tilos benzolexpozícióban foglalkoztatni a 18 éven aluliakat, a terhes, a nem régen szült, a szoptató vagy anyatejet adó nőket, a tüdő, a vese, a máj, a vérképző rendszer, az erek, a gyomor-bél traktus krónikus megbetegedéseiben szenvedőket és az alkoholistákat.

**A prevenció eszközei.** *Alkalmazás előtti vizsgálat*. A munkaköri alkalmassági vizsgálatok stratégiájánál szükséges a kockázatbecslés eredményének ismerete; az alkalmazás előtti vizsgálatnál a részletes anamnézis, a szokásos vizsgálatok mellett a légzésfunkció, a teljes vérkép, a részletes máj- és vesepanel.

*Időszakos orvosi vizsgálat*. Félévenként az előzetes orvosi munkaköri alkalmassági vizsgálat ismétlése, biológiai monitorozással kiegészítve. Fogamzóképes korban lévő nők esetében fontos tájékozódni az ovulációs-menstruációs ciklusról. Az időszakos orvosi vizsgálatok leleteit mindig az előző vizsgálatokkal összehasonlítva értékeljük. A fehérvérsejtszám csökkenése (kísérjük figyelemmel a granulocyták abszolút számának változását is!) vagy emelkedése, a thrombocyták vagy a vörösvérsejtek mennyiségi vagy morfológiai változása esetén, vagy ha a kapillárisrezisztencia csökkent, a dolgozót a benzolexpozícióból átmenetileg emeljük ki, és állapotát ismételten ellenőrizzük.

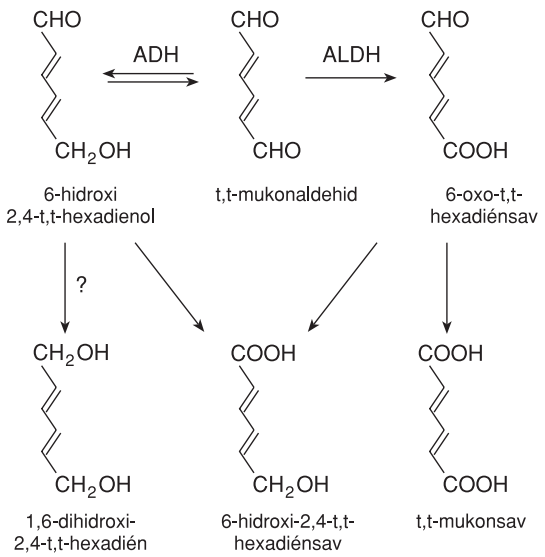
Lezajlott benzolmérgezés után, vagy ha a benzolmérgezés kezdeti tünetei kimutathatók, a dolgozót nem szabad benzolexpozícióban vagy bármely olyan munkakörben foglalkoztatni, vagy gyógyszeres kezelésben részesíteni, amely a vérképző rendszer fokozott terhelésével vagy károsodásával járhat. A záróvizsgálat kötelező!

*Munkahelyi intézkedések*. A benzol iránti egyéni érzékenység annyira különböző, hogy nem

minden mérgezés megelőzésére elegendő a munkahelyi benzolexpozíció csökkentése. Ezért fontos, hogy lehetőleg a benzolt olyan oldószerrel helyettesítsük, amelynek nincs káros hatása a vérképző rendszerre.

A megelőzés legeredményesebb módja, ha csak olyan munkafolyamatokban és akkor is csak a megfelelő megelőző intézkedések alkalmazásával használnak benzolt, ahol az nélkülözhetetlen.

A Nemzetközi Munkaügyi Hivatal/Szervezet (ILO) 1971. évi 36. sz. Egyezménye és 1971. évi 144. sz. ajánlása értelmében (ezeket Magyarország ratifikálta), amely anyagok benzoltartalma meghaladja az 1%-ot, az expozíciót korlátozni kell, a benzolt lehetőleg le kell cserélni más oldószerre (pl. toluol, xilol). Ha ez nem lehetséges, a technológiai rendszert zárttá kell tenni, műszaki intézkedéssel (pl. elszívás) minimalizálni kell a munkatér benzolszennyezettségét, vagy egyéni védőeszköz viselését kell kötelezővé tenni. A benzol alkalmazását hazánkban 2001. január 1-től magyar jogszabályok is korlátozzák.




*31.9. ábra.* **A benzolból metabolizálódó t,t-mukonaldehid lebomlása 6-hidroxi-2,4-t,t-hexadiénsavra és t,t-mukonsavra; az utóbbi alkalmas biológiai expozíciós mutató az alacsonyabb (1–5 mg/m³) benzolexpozíciót elszenvedő munkavállalók biológiai monitorozására**

**Munkakörnyezeti és biológiai monitorozás.** Magyarországon kötelező a benzolszennyezettség környezeti monitorozással való kontrollja, a dolgozók benzolterhelésének biológiai monitorozása (*31.9. ábra*). Egyéb prevenciós intézkedések és eszközök vonatkozásában utalunk a jelen fejezet bevezető részére, illetőleg munkaegészségtan és foglalkozás-orvostan szakkönyvekre.

# *Gázok*

## Nitrózus gázok

### *A kóroki tényező tulajdonságai*

A nitrogén oxidálása útján keletkező gáznemű termék a nitrózus gáz. Nitrózus gázoknak nevezzük a NO, $NO_2$, $N_2O_4$ és a telítetlen $N_2O_3$ különböző arányú keverékeit. A gázok erősen szúrós szagúak, kis koncentrációban alig különböztethetők meg az ózontól. Nagyobb koncentrációban feltűnő a gázok barnássárgától vörösig terjedő színe. A nyálkahártyán (vízzel) salétromossav, illetve salétromsav keletkezik belőlük (*31.10. ábra*).

### *Előfordulás, felhasználás. Nitrózusgáz-expozíció veszélyével járó munkakörök*

Nitrózus gáz képződik, ha a salétromsav vagy a salétromossav fémekkel vagy szerves anyagokkal érintkezik (pl. a fémek maratása, a robbanóanyagok elégése, a nitrocellulóz tökéletlen elégése), acetilén- és elektromos ívhegesztés közben (a hegesztés zárt, szellőzetlen, kis helyiségben vagy csatornákban, tartályokban súlyos mérgezést okozhat). Veszélyeztetettek lehetnek az olyan dolgozók is, akik a szuperfoszfát- vagy a robbanóanyag-gyártásban dolgoznak, vagy a vegyiparban nitrálási munkálatokat végeznek. A takarmánysilókban – a fermentáció következtében – nagyobb mennyiségű nitrózus gáz képződhet.

A nitrogén-dioxid osztályozása

| tapasztalati képlete | CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | R mondatok | S mondatok |
|---|---|---|---|---|
| $NO_2$ | 10102–44–0 | $T^+$ | 26–34 | (1/2–)9–26–28–<br>–36/37/39–45 |

nagyon mérgező

*31.10. ábra.* **A nitrogén-dioxid osztályozása**

### *Sorsuk a szervezetben, hatásuk a szervezetre*

A nitrózus gázok belégzéssel a tüdőbe jutnak. A nitrózus gázt a felső légutak nem kötik meg. Állatkísérletek szerint a belélegzett nitrózus gáz kb. 80%-a lejut a tüdőalveolusokba. A nitrózus gázok salétrom- és salétromossavá alakulnak át, illetve a gázok egy részéből nitrátok és nitritek is képződnek.

A méreghatás hasonló a foszgénmérgezéshez: bizonyos latenciaidő után kifejlődő savhatás, amely a légutak nyálkahártyáját és az alveolusokat károsítja, valamint súlyos tüdőoedema keletkezhet. A felszívódott nitrit methemoglobinképződést okoz.

### *Mérgezés*

**Klinikai kép.** Igen nagy koncentráció belégzése glottisoedemát és azonnali halált okozhat, vagy gyors tüdőoedema fejlődik ki.

*Heveny mérgezés.* Általában két szakaszban zajlik le. Az *első szakasz*ra jellemzőek a nyálkahártyák helyi izgalmi tünetei, a kaparó érzés a torokban, esetleg a hányás, a köhögésinger, a fejfájás és a szédülés. A nitrózus gázok csak nagyobb koncentrációban okoznak a nyálkahártyákon izgalmi tüneteket, kisebb koncentrációban alig, így a lappangási idő teljesen tünetmentes is lehet.

Az első stádium után – amely gyakran 1–2 órán belül lezajlik – 3–10 óráig, ritkán 24–30 óráig tartó *tünetmentes időszak* (lappangási idő) következik. Ha ezt a tünetmentes szakaszt nem ismerik fel, súlyos következményekkel járhat, mert a mérgezett ezalatt teljesen jól érzi magát, folytatja a munkáját, és ez a fizikai munka – még akkor is, ha jelentéktelen a megterhelés – jelentősen ronthatja a prognózist. Ha a tünetmentes időszak alatt nem lesz szaporább a légzés és a pulzus, a prognózis jó; a mérgezés elmúlhat tüdőoedema kifejlődése nélkül. A légzés- és a pulzusszaporulat viszont figyelmeztető jele a fenyegető tüdőoedemának. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy már a latens szakban minden intézkedést meg kell tenni a tüdőoedema megelőzésére vagy enyhítésére. Előfordul, hogy a latens szakban lévő mérgezett este nyugodtan elalszik, és éjjel a váratlanul kifejlődött súlyos tüdőoedema tüneteire ébred.

A *második szakasz* általában hirtelen, igen erős köhögési ingerrel kezdődik, amelyet félelem- és fulladásérzés kísér, a légszomj jelentősen fokozódik, és kifejlődik a tüdőoedema jellegzetes képe, amelyet másodlagosan bronchopneumonia követhet. A röntgenképben sok apró, finom árnyék látható, hasonló a miliáris típusú víruspneumoniához.

A *prognózis* nagymértékben attól függ, hogyan jártunk el a latens periódusban, és milyen korán kezdtük el a kezelést. A latens szakban a

prognózist minden testi igénybevétel - még a járás is - kedvezőtlenül befolyásolja. Minél korábban fejlődik ki a tüdőoedema, a prognózis annál rosszabb.

*Idült mérgezés.* Léte vitatott. A feltételezett idült hatás tünetei: fejfájás, álmatlanság, megerőltetésre légszomj, verejtékezés, köhögés, köpetürítés, étvágytalanság, testsúlycsökkenés, idült tracheitis, bronchitis, fekélyképződés az orr- és a garatnyálkahártyán.

**Gyógyítás.** *Teljes* nyugalom, enyhe mérgezésben is! Minden mozgás, járás tilos! A mérgezés korai szakában a tüdőoedema megelőzése végett adjunk lassan 20 ml 20%-os *calcium gluconium* injekciót iv. Súlyos mérgezésben ez 1–2 óránként megismételendő. A nyálkahártya-izgalom csökkentésére jó hatású a nátrium-hidrogénkarbonát oldat permetének belélegeztetése. Profilaktikusan ozmoterápia, az exsudatio csökkentésére prednison, illetve prednisolon adása, vérlebocsátás, szívtámogatás, antibiotikumprofilaxis javasolt.

Ha a tüdőoedema kezdeti tünetei észlelhetők, helyezzük a beteget félig ülő helyzetbe. Gondoskodjunk a légúti váladék leszívásáról. Az oxigénellátást ismételt, hosszan tartó (30–30 perc) oxigénbelélegeztetéssel támogassuk. Igen jó hatású a pozitív nyomással végzett oxigénbelélegeztetés. A mesterséges lélegeztetés tilos! A szív munkáját vérlebocsátással (200–300 ml) (esetleg gyógyszeres preloadcsökkentés) és 60 ml hipertóniás (40%-os) glükózoldat iv. beadásával, valamint digitalisszal támogassuk.

A már kifejlődött tüdővizenyő súlyos, sőt még reménytelennek látszó eseteiben is végezzünk vérlebocsátást! (Ügyeljünk a vérnyomásesésre!) Fontos a szív támogatása 40%-os glükóz adagolásával és a diuresis növelésével. Az analepticumokat lehetőleg kerüljük, mert fokozhatják a tüdővizenyőt; ezeket csak súlyos kollapszusos állapotban adjuk és óvatosan. (Ilyenkor is kerüljük azonban az erősen ható szimpatomimetikumokat, a tonogent, az adrenalint.) Súlyos tüdőoedema esetében is ajánlják a már említett prednisonkészítményeket. Ezzel a kezeléssel az idült tüdőfibrosis kifejlődése is megelőzhető. Minden súlyos esetben a bronchopneumonia megelőzése végett adjunk szélesspektrumú antibiotikumot.

A beteget nagyon lassan, fokozatosan szabad mobilizálni. (A tüdőoedema recidiválhat!) A javulás után még napok múlva is minden fizikai igénybevétel hirtelen halált okozhat.

### *Megelőzés*

**Foglalkoztathatóság.** Krónikus tüdő- és szívbetegeket ne alkalmazzunk nitrózusgáz-expozícióban. Egyebekben a konkrét munkahely és munkaköri alkalmassági vizsgálat, kockázatbecslés eredményének ismeretében döntsünk.

**A munkaköri alkalmasság vizsgálata.** Az előzetes vizsgálatot egészítsük ki légzésfunkciós, fül-orr-gégészeti és esetenként terheléses EKG-vizsgálattal. Az időszakos vizsgálat évente végzendő; ennek kapcsán az előzetes vizsgálat megismétlése indokolt.

**Megelőző intézkedések, prevenciós eszközök.** Utalunk a fejezet bevezető alfejezetére. Szükség esetén egyéni védőeszközzel légzésvédelem.

## Etilén-oxid

### *A kóroki tényező tulajdonságai*

Színtelen, enyhén éterszagú gáz; szobahőmérsékleten, légköri nyomáson is erősen reakcióképes, rendkívül gyúlékony (*31.11. ábra*).

### *Felhasználása. Etilén-oxid-expozíció veszélyével járó munkakörök*

Nagy tömegben előállított, széles körben használt anyag, különböző vegyi anyagok intermediere (nem ionos, felületaktív anyagok, glikoléterek, etanol-amin, kolin stb.), fertőtlenítő- és tisztítószer.

### *Sorsa a szervezetben, hatása a szervezetre*

Belélegezve gyorsan felszívódik, eloszlik (gyors disztribúció), és gyorsan metabolizálódik (1,2 etandiolra hidrolizál és konjugálódik) a szervezetben, majd – elsősorban a vizelettel – kiürül. Szagküszöbe magas: 900–1200 mg/m$^3$. Emlősben (emberben is) toxikus.

### *Mérgezés*

**Klinikai kép.** *Heveny mérgezés, lokális toxikus hatás.* Mind a bőrt, mind a szemet irritálja, de izgatja a légutak nyálkahártyáját is; ezek a hatások gyakran az expozícióhoz viszonyítva megkésve jelennek meg. Bőrirritáló hatása következményeként vezikuláris dermatitis figyelhető meg, de allergiás dermatitist okozó hatását is leírták.

*Szisztémás hatás.* Gyakran okoz szubjektív panaszokat, a száj, a torok és a szem irritációját vagy idegrendszeri tüneteket (fejfájás, hányinger, hányás, beszédzavarok, emlékezőképesség-károsodás, szédülés és inkoordináció). Nagy koncentrációban dyspnoét, cyanosist, narcosist okoz, kisebb koncentrációban a légzőrendszer megbetegedéseit, szenzoros és motoros idegrendszeri károsodást (perifériás típusú neuropathiákat) idézhet elő.

*Késői toxikus hatások.* Állatkísérletekben és in vitro vizsgálatokban károsítja a reprodukciót, mutagén és rákkeltő. Az Egészségügyi Világszervezet az 1. kategóriájú rákkeltők csoportjába sorolja. Az etilén-oxid-expozícióban dolgozók között a szokásosnál nagyobb gyakorisággal előforduló mieloid leukaemiát, non-Hodgkin-lymphomát egyaránt leírtak. A 90-es években az egyik megyei kórház újszülöttosztályának dolgozói (nővérek, orvosnők) között halmozottan fordult elő emlőtumor. Felmerült az etilén-oxid mint kóroki tényező. Az ÁNTSZ, valamint a fekvőbeteg-intézetek foglalkozás-egészségügyi szolgálatainak közreműködésével végrehajtott epidemiológiai vizsgálataink az etilén-oxid-expozícióban munkát végző kórházi dolgozók között a mellrák gyakoriságának szignifikáns megnövekedését bizonyította, amely hatást az egyidejű rtg-sugár-expozíció még tovább növelt. Egyéb hatásai közül kiemeljük még, hogy emberben az MK-értéket meghaladó koncentrációban „spontán" abortuszt okoz.

**Gyógyítás.** Tüneti-megfigyelő kezelés.

### *Megelőzés*

Utalunk a fejezet bevezető részében helyet kapott és a foglalkozási daganatos megbetegedések prevenciójával kapcsolatos leírásokra (munkaegészségtan, foglalkozás-orvostan szakkönyvek). A nem elfogadható szintű kórházi etilén-oxid-expozíció oka a sterilizálók szabálytalan működtetése és szellőztetése volt.

Az etilén-oxid osztályozása

| tapasztalati képlete | CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | | R mondatok | S mondatok |
|---|---|---|---|---|---|
| $C_2H_4O$ | 75–21–8 | $F^+$ | T | 45–46–12–<br>–23–36/37/38 | 53–45 |
| | | <br>rendkívül gyúlékony | <br>mérgező | | |

*31.11. ábra.* **Az etilén-oxid osztályozása**

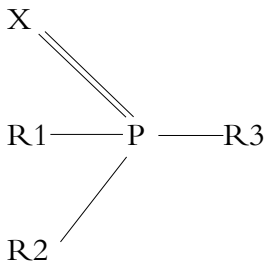
# *Növényvédő szerek*

## Szerves foszforsav-észterek

### *A kóroki tényező tulajdonságai*

**Hatóanyagok, készítmények.** Az ezredforduló idején a magyarországi növényvédelemben négy nagyobb csoportjuk használatos. Megkülönböztetünk *foszforsavszármazékok*at (diklórfosz, foszfamidon, heptenofosz, mevinfosz, monokrotofosz); *tiofoszforsavszármazékok*at (diazinon, etrimfosz, fenitrotion, fention, kinalfosz, klórpirifosz, metilparation, pirimifoszmetil, triazofosz), *ditiofoszforsavszármazékok*at (fentoát, formotion, foszalon, foszmet vagy prolate, foszmetilán, malation, metidation, metilazinfosz, szulfotep, terbufosz) és *merkaptoszámazékok*at (forát). A Magyarországon engedélyezett készítményeket illetően utalunk a földművelésügyi tárca évenként megjelentetett „Növényvédő szerek, termésnövelő anyagok" című kiadványára.

A szerves foszforsavak különböző alkoholokkal alkotott vegyületei jellegzetes, rothadó káposztára emlékeztető szagú, olajszerűen folyékony vagy alacsony olvadáspontú, szilárd halmazállapotú kristályos anyagok. A hatékony alkilfoszfátok szerkezete az alábbi általános képlettel írható le:




Az öt vegyértékű foszforhoz kettős kötéssel kapcsolódó gyök (X) rendszerint oxigén vagy kén. Az oxigént tartalmazó vegyületek kolinészterázbénító aktivitása és toxicitása emlős állatokon és embereken nagyobb, mint az egyébként azonos, de kénnel szubsztituált vegyületeké. Ha az X helyén szelén kapcsolódik, akkor a mérgező hatás tovább nő.

Az $R_1$ és $R_2$ helyre rendszerint alkoxi- vagy alkilamin-gyök kapcsolódik. Minél hosszabb az alkillánc, annál erősebb a vegyület mérgező hatása. Az $R_3$ helyére savas csoport kapcsolódik. Minél erősebb az ide kapcsolódó savgyök, a vegyület mérgező hatása annál erősebb (pl. a fluorszármazékok toxikusabbak, mint a gyenge szervessavmaradékot tartalmazó vegyületek) *(31.12. ábra)*.

A forát osztályozása

| kémiai elnevezése | CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | R mondatok | S mondatok |
|---|---|---|---|---|
| 0,0-dietil-S-etil--tiometil--ditiofoszfát<br>$C_7H_{17}O_2PS_3$ | 298–02–2 | $T^+$<br> <br>nagyon mérgező | 27/28 | (1/2–)28––36/37––45 |

*31.12. ábra.* **A forát osztályozása**

**Méregkategória.** Az inszekticidként, féreg-, vektorirtóként használt szerves foszforsav-észterek többsége *erős méreg* vagy *méreg*.

**Veszélyességi kategória.** Döntő többségük munkaegészségügyi szempontból *kifejezetten veszélyes anyag*. Veszélyességüket növeli, hogy

lenyelve, belélegezve vagy bőrön át egyaránt felszívódnak, és a szervezetbe jutva heveny mérgezést okozhatnak. Szervspecifikus és késői toxikus hatásuk is ismeretes. Az inhalációs expozíció a dermális expozíciónak a töredéke, de por vagy finomcsepp-aeroszol formájában való belégzés esetén az inhaláció veszélye is jelentős. A veszélyességükre jellemző, hogy a foglalkozási növényvédőszer-mérgezések többségét a szerves foszforsav-észterek idézik elő, illetve számos halálos kimenetelű véletlen és öngyilkossági mérgezés okozói.

### *Felhasználás, előfordulás. Szervesfoszforsav-expozíció veszélyével járó munkakörök*

**Felhasználás.** Gyógyszerként (paraszimpatomimetikum), növényvédő szerként (pl. nagyobb vagy erősebb kitinburokkal bíró sáska, burgonyabogár, cserebogár, vagy kitinburokkal nem bíró atkák, levéltetvek stb. ellen hatékony), féregirtóként, harcigázként (az ún. trilonok: tabun, szarin, soman) alkalmazzák.

**Foglalkozási expozíció.** A veszélyeztetett területek a felhasználásnál felsorolt anyagok gyártása, az anyagok kiszerelése, csomagolása, raktározása, szállítása, árusítása. Az ember expozíciója azonban elsősorban növényvédelmi célú felhasználásuk során a legjelentősebb. A növényvédelemben az előkészítők, a hígítók, a permetezők, a szállítók, a tevékenységet irányítók és ellenőrzők; az egyéb, a felhasználáshoz kapcsolódó tevékenységet folytatók exponálódhatnak. Említést érdemelnek a féregirtást, a vektorirtást végzők is, akik a gyártásban részt vevőkhöz hasonlóan a munkájukat gyakran végzik zárt térben. Nem kívánatos foglalkozási expozíciót szenvedhetnek a munka-egészségügyi várakozási idő lejárta előtt a szerves foszforsav-észterrel permetezett területen tevékenységet folytatók is.

### *Sorsuk a szervezetben, hatásuk a szervezetre*

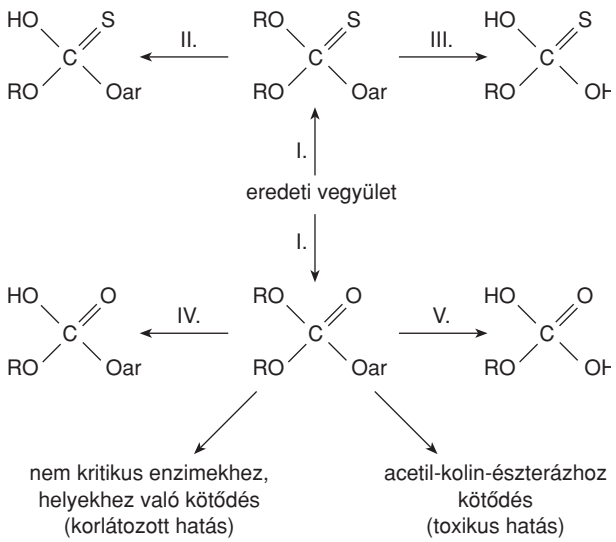
**Felszívódás, metabolizmus, kiválasztás.** A bőrön, a légutakon vagy az emésztőrendszerben felszívódott szerves foszforsav-észterek többsége a szervezetben alakul át hatásos vagy még hatásosabb vegyületekké. Ezeket indirekt kolinészteráz-bénítóknak nevezzük (pl. a parationból a májban oxidatív deszulfuráció útján paraoxon keletkezik). A direkt bénító szerek esetében az eredeti molekula a hatásos (pl. DDVP).

A szerves foszforsav-észterek (hatásukkal ellentétben) nem kumulálódnak, gyorsan bomlanak. A leggyakoribb dialkil-, illetve aril-foszfortioát inszekticidek metabolizmusát és hatását a *31.13. ábrán* mutatjuk be.

A szervezetbe jutó szerves foszforsav-észterek (I) előbb aktiválódnak; ez elsősorban a májban megy végbe, de kisebb mértékben más szövetek és szervek – a tüdő, az agy – ugyancsak képesek ilyen reakcióra. Ha ezek a szövetek a kritikus célszervek, az acetil-kolin-észteráz gátlásában nagyon fontos szerepük van (központi idegrendszer).

A keletkező II., III., IV. és V. típusú vegyületek enzimatikus detoxikációk termékei, az acetilkolin-észterázt nem gátolják (inaktiválódtak). A bomlástermékek a vizelettel ürülnek. A vizeletben megjelenő metabolitok mennyiségi meghatározása felhasználható az expozíció nagyságának megítélésére. Ilyen metabolitok pl. az alkil-foszfátok.

Valamennyi szerves foszforsav-észter közös támadáspontja az acetil-kolint bontó acetil-kolin-észteráz (ún. foszforilált enzim képződik).




*31.13. ábra.* **Szerves foszforsav-észterek metabolizációja, méregtelenítése**

Olyan erősen kötődnek az enzimhez, hogy sem dialízissel, sem átkristályosítással nem választhatók le. Az enzimek gátlása (bénítása) valamennyi ún. kolinerg interneuronális (központi idegrendszer, autonóm-szimpatikus és paraszimpatikus ganglionok), valamint neuromuszkuláris szomatomotoros ideg és harántcsíkolt izom, posztganglionáris idegrost, illetve szívizom, simaizom vagy mirigyhámsejt közötti ingerületátkapcsolási helyen (szinapszisok, neuromuszkuláris, neuroglanduláris junctiók) kialakul. Ezáltal ezeken a helyeken felszaporodik az acetil-kolin, és háromféle hatással jellemezhető heveny mérgezés alakul ki.

### *Mérgezés*

**Klinikai kép.** *Helyi hatások.* Az *indirekt* hatású anyagok észrevétlenül, helyi tünetek nélkül szívódnak fel. A *direkt* hatásúak az érintett szervekben már felszívódásuk előtt tüneteket okoznak, így a szemben pupillaszűkületet, homályos látást; az orrban orrfolyást; szorító érzést a mellkasban, ziháló légzést, köhögést, fokozott köpetürítést; a bőrön fokozott verejtékezést, körülírt izomfasciculatiót.

*Akut, szisztémás mérgezés.* Esetében az alább felsorolt hatások és tünetek gyakran egymással kombinálódva jelennek meg. Megjelenésük ideje, sorrendje és időtartama a szervezetbe jutás módjának és a szervezetbe jutott anyag dózisának toxikológiai tulajdonságaitól függ.

- *Muszkarinszerű hatások.* A sima izmok és a mirigyek fokozott működése miatt lépnek fel:
  - a hörgők által kiválasztott váladék mennyiségének megnövekedése, fokozott verejtékezés, nyálkaképződés és könnyezés;
  - pupillaszűkület (myosis), bronchusszűkület, hasi görcsök (hányás, hasmenés), akarattól független vizelet- és székletürítés;
  - szívfrekvencia-csökkenés.
- *Nikotinszerű hatások.* A harántcsíkolt izmok fokozott ingerlése: az izomkötegek rángása a kisizmokban, fasciculatio, izomgörcsök, súlyosabb esetben kontrakciók, fasciculatio a rekesz-, illetve valamennyi légzőizomban, általános izomgyengeség.
- *Központi idegrendszeri hatások*:
  - fejfájás, szédülés, nyugtalanság, szorongás, tremor, ataxia;
  - zavartság, mély kábultság;
  - a légzőközpont depressziója, súlyos esetben a légző- vagy a vazomotorközpont bénulása.

*Enyhébb mérgezés.* Tünetei a fejfájás, a szédülés, a gyengeség, a nyugtalanság, a félelemérzet, a verejtékezés, az enyhe szorító érzés a mellkasban, az émelygés, a hányás, a hasmenés.

*Súlyosabb mérgezés.* Tünetei az előzőek mellett a pupillaszűkület, a látásromlás, a könnyezés, a nyálzás, a sápadt bőr, a diffúz izzadás, az epigasztriális és a mellkasi fájdalom, az asthmaszerű nehézlégzés, a habos köpet ürítése, az akarattól független vizelet- és székletürítés, az izomgyengeség, a tántorgó járás, az izomrángás előbb a szemhéjakon, az arcon, a nyelven, majd testszerte, brady- majd tachycardia, végül az eszméletvesztés, a görcsrohamok, a légzés, a vérkeringés összeomlása, a tüdővizenyő, a légzés- és a vazomotorközpont bénulása.

*Diagnózis.* Felállítása viszonylag könnyű; a következő tényezőket kell figyelembe venni:

- a kórelőzmény és az expozíció körülményei;
- a felsorolt tünetek, amelyek közül különösen feltűnő a bronchusszűkület és a fényre nem reagáló szűk pupilla. A szívfrekvencia-változások (ellentétes irányúak lehetnek) nem segítik a diagnózis felállítását.

A diagnózis helyességéről a vörösvérsejt vagy a teljes vér acetil-kolin-észteráz- (AchE-) vagy a

plazma pszeudokolin-észteráz- (ChE-) aktivitásának meghatározásával győződjünk meg; ez utóbbi nem specifikus volta miatt csak kisegítő vagy előzetes vizsgálat lehet. A mérgező vegyület azonosítása végett kórházi osztályon célszerű elvégezni a testnedvek (vizelet, sav, gyomornedv) kémiai elemzését is. A túlélt heveny mérgezések általában maradéktünetek nélkül gyógyulnak.

*Szubakut, krónikus mérgezések.* Ismétlődő kismértékű expozíciók idézik elő. Ha az AChE-aktivitás 50% alá csökken, az akut mérgezésnél leírt tünetekkel járhat együtt. A krónikus szerves foszforsav-észter-mérgezéseket nem ismerjük eléggé, valószínűleg vegyületenként változnak.

*Késői neurotoxikus hatások.* Leggyakrabban a triaril-foszfátok (hidraulikus folyadékban használatos anyagok) idézik elő, amelyek azonban nem hatnak az AChE-ra. Az emberi szervezetben késői neurotoxikus hatásokat (polineuropátiás tünetek, súlyosabb bénulás) kiváltó szerves foszforsav-észtert tartalmazó peszticidek: mipafox, leptofosz, metamidofosz, triklórfon, triklórnat, EPN, klórpirifosz, esetleg a malation, ometoát, paration. A késői neurotoxikus károsodást szenvedő egyének állapotáról értékes információkat lehet szerezni a lymphocytákban lévő ún. neurotoxikus enzimek (NTE) meghatározásával.

*Magatartási, viselkedési, pszichés károsodások.* Általánosan elfogadott tény, hogy a szerves, foszfortartalmú inszekticidek által okozott mérgezések klinikai tünetei mellett magatartási, viselkedési, pszichés zavarok, károsodások lépnek fel vagy jelenhetnek meg. Ezek a változások csak hónapokkal később szűnnek meg. Ilyen hatások néha kisebb expozíciók esetén is előfordulnak (a ChE-aktivitásban esetleg nincs is gátlás, nincsenek fizikális tünetek), melyek tünetei a felfogóképesség (éberség, információfeldolgozó képesség, pszichomotoros aktivitás), a beszéd (teljesítmény, megértés), a pszichés állapot (depressio, nyugtalanság, ingerlékenység) károsodása, valamint EEG-változások is megfigyelhetők.

Súlyos antikolin-észteráz-hatás után az egészség különböző mértékű és jellegű károsodása jelentkezhet, amely lassan szűnik meg.

*Mutagén, karcinogén, teratogén hatások.* A szerves foszforsav-észterek egyes tagjai mutagének, és feltehetően karcinogének lehetnek (pl. dimetoát, monokrotofosz, diklórfosz), de a „terhelő" adatok ellentmondásosak. Felmerült bizonyos szerves foszforsav-észterek teratogén hatása is (pl. triklórfon). Bizonyításra várnak azok az adatok, miszerint a szerves foszforsav-észterek autoimmun reakciókat váltanak ki. Hasonlóképpen bizonyítást igényelnek az ACTH, illetve a mellékvesehormonok szekréciójára, perifériás szintjeire, a reprodukció szerveire kifejtett (feltételezett) hatások. Esetenként felmerült még, hogy az e csoportba tartozó egyes anyagok hatnak a retinára, a májra, a vesére és a lipidanyagcserére, a hőszabályozásra, valamint hogy porphyriát okoznak. Vigyázat: bizonyos szerves foszforsav-észterek (pl. paration) antikolin-észteráz-hatása fényre jelentősen megnő (a parationnál aktívabb, toxikusabb paraoxon és ismeretlen vegyületek keletkeznek).

**A mérgezés kórismézése, intézkedések.** Ha a dolgozó vörösvérsejtjei (vagy a teljes vére) AChE-aktivitásának gátlása 25%-nál nagyobb, de nem haladja meg az 50%-ot, fokozott expozíciót diagnosztizálunk. Teendő: a fokozott expozíció forrásának és okának a felderítése, intézkedés annak megszüntetésére. A dolgozót a munkaköréből a hatáskumuláció veszélye miatt célszerű kiemelni; a fokozott expozíciót jelenteni kell.

Ha a vörösvérsejt AChE-aktivitásának gátlása az 50%-ot meghaladja, vagy azt nem éri el, de mérgezési tünetek jelentkeznek, mérgezést kórismézünk. Teendő: a dolgozót azonnal kiemeljük az expozícióból, szükség esetén elsősegélyben részesítjük, majd a helyszínre hívott orvos az orvosi elsősegélyt követően dönt a beteg megfigyeléséről, illetve kezeléséről.

A szerves foszforvegyületekkel exponált dolgozók biológiai monitorozása végett a vörösvérsejt AChE-aktivitásának meghatározása mellett

újabban a szerves foszforvegyületek és metabolitjaik mérését is elvégzik biológiai mintákban. Így pl. parationexpozíció esetében p-nitro-fenolt, a fenitrotionexpozíciót követően a vizeletben p-nitro-m-krezolt, kinalfoszexpozícióban alkil-foszfátot határoznak meg. Ez utóbbiak előnye az AChE-aktivitás mérésével szemben, hogy egy adott műszak során a szervezetbe jutott szerves foszfátészter mennyiségéről adnak tájékoztatást. Ismeretes, hogy az AChE-aktivitás csökkenése az expozíciót követően napokig, illetve hetekig megmarad, akkor is, ha a dolgozó nem szenved újabb expozíciót. A metabolitok monitorozásának hátránya az idő- és a költségigényesség. Hazánkban egyelőre a kötelező előírások szerint csak az AChE-aktivitás mérését végzik rutinszerűen.

**Gyógyítás.** Kolinészteráz-bénítóval (szerves foszforsav-észter, karbamát) történt mérgezés esetén 4% nátrium-hidrogénkarbonát-oldattal és bő folyóvízzel távolítjuk el a mérget a bőrről, a hajzatról és a szemrésből. Szerves foszforsav-észter által okozott szisztémás mérgezés kialakulásakor rendszerint nagy adag atropinum sulphuricum adása szükséges. A kezdő adag felnőtteknek 3–10 mg iv., szükség esetén 5–10–15 percenként ismételve a szájszárazság, a tachycardia, a mydriasis jelentkezéséig. Az atropin elsősorban a muszkarinszerű hatások tüneteit befolyásolja, nagyobb adagban gátolja a központi idegrendszeri (légzőközpont-bénulás) hatásokat is. A központi idegrendszeri mérgező hatások kivédésére súlyosabb esetekben Diazepam adagolását javasolják; a váz- és légzőizmokon kifejlődő neuromuszkuláris gátlást (nikotinszerű hatás) nem befolyásolja. A nikotinszerű hatások gátlására az Obidoxim (Toxogonin) és a PAM (Pralidoxim) adagolását javasolták. A Toxogonim csak a mérgezés első 24 órájában adható, és kedvező hatása általában csak paration- és metil-paration-mérgezésben várható. Tilos Toxogonint adni 24 órával a mérgezés kezdete után, továbbá nem javasolt dimetoát, malation, diazinon, triklórfon, formotion, mevinfosz okozta mérgezésekben. Az atropin- és az oximterápia megkezdése előtt, illetve mellett fontos a méreg eltávolítása (gyomormosás) pl. híg Na-hidrogén-karbonáttal vagy aktív szénszuszpenzióval.

A *toxikus tüdőoedema* kezelése eltér a kardiális tüdőoedemáétól. A légzésbénulás veszélye miatt szigorúan tilos ópiumot, morfinoidot adni! Tennivalók:

- félig ülő helyzetben a lábak lelógatása;
- a tracheobronchiális váladék leszívása (ha lehet a nagy légutakból);
- oxigénbelélegeztetés, 6 l/min-nál nem nagyobb áramlási sebességgel;
- nitroglicerin adásával csökkenthető a megnövekedett pulmonális nyomás; a vérnyomás nem eshet 100 Hgmm alá;
- Furosemid (1–2 ampulla iv.) adása;
- 6–15 percig tartó végtagleszorítással 600–700 ml vér kiiktatása a keringésből – kék cianózis esetén (szürke cianozisban a vérlebocsátás vagy -kiiktatás tilos);
- a szív támogatása; előzetes digitalizálás esetén isolanid adása intravénásan;
- a beteg intenzív betegellátó egységbe történő beszállítása.

Óvakodni kell az aeroszolos terápiától, mivel ez könnyen felesleges folyadékfelvételhez, a keringés megterheléséhez vezethet. Toxikus tüdőoedema esetén nem szabad mesterséges lélegeztetést végezni.

### *Megelőzés*

**Foglalkoztathatóság.** Az orvosi prevenció legfontosabb feladata dönteni a foglalkoztathatóságról, illetve elvégezni a munkaköri alkalmassági vizsgálatot. A már említettek mellett kontraindikált a foglalkoztatása az idegrendszeri megbetegedésben, az izmok rendszerbetegségeiben, az iszkémiás szívbetegségben, valamint az alkoholizmusban szenvedőknek.

**Előzetes vizsgálatok.** Az előzetes vizsgálatok során a szokásos vizsgálatokat a következőkkel

egészítjük ki: meghatározzuk az AChE- (teljes vér vagy vörösvérsejt) alapszintet; ez 2–3 nap különbséggel végzett két mérés átlaga expozíciómentes időszakban. A szerves foszforsav-észter expozícióban mért AChE-aktivitást mindig az alapszint százalékában adjuk meg. Fontos a teljes vérkép vizsgálata, a teljes vizeletvizsgálat, a májpanel, de legalább a GOT, a GPT, a GGT, továbbá az EKG, illetve szükség esetén a neurológiai és/vagy a pszichiátriai vizsgálat. Az időszakos vizsgálatok programja megegyezik az előzetesével. A késői neurotoxikus és egyéb késői hatások fellépésének veszélye miatt célszerű záró vizsgálatot végezni.

**A prevenció eszközei.** A foszforsav-észterekkel végzett tevékenységre kidolgozott (és közreadott) óvó rendszabályokat szigorúan be kell tartani. Néhány anyag esetében, pl. a gyártási, a kiszerelési tevékenységek biztonságos végzése céljából ÁK-, illetve CK- vagy MK-értéket dolgoztak ki. A növényvédelemben, illetve a vektorirtáshoz egyéni védőeszközök (védőkalap, laboratóriumi álarc vagy sav elleni, illetve por elleni védőszemüveg, légzésvédő, növényvédelmi védőruha, védőkesztyű és védőlábbeli) viselése kötelező. Hasonlóan más növényvédő szer alkalmazásához, a szerves foszforsav-észterrel kezelt (permetezett) területen, illetve kultúrákban egyéni védőeszköz nélkül tartózkodni, és ott tevékenységet folytatni csak az ún. *munka-egészségügyi várakozási idő* lejárta után szabad.

# *Marószerek*

## Savak

### *A kóroki tényező tulajdonságai*

Színtelen, halványsárga, szúrós szagú, gőzölgő folyadékok (*31.14. ábra*).

### *Sorsuk a szervezetben, hatásuk a szervezetre*

A savak okozta munkahelyi mérgezések csak súlyos munkavédelmi szabálytalanságok esetén következhetnek be. A munkahelyeken elsősorban a balesetet követő, a bőrt, a szemet, a nyálkahártyát érő maró hatásukkal számolunk. Ritkábban a savgőzök belégzése jelenthet munkahelyi eredetű egészségkárosodást.

### *Mérgezés*

A savak mérgező (maró) hatását elsősorban a hidrogénion-koncentráció, vagyis a sav disszociációs állandója és koncentrációja szabja meg, de a roncsoló hatás mértéke az anionrész minőségétől is függ. Letalitásuk a különböző statisztikák szerint 5 és 70% között ingadozik. A mérgezés súlyossága a lenyelt sav minőségén és mennyiségén kívül attól is függ, hogy üres vagy tele gyomorba jutott-e, és a mérgezés után mennyi idővel került sor adekvát terápiára.

A sósav osztályozása (≥ 5%)

| tapasztalati képlete | CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | | R mondatok | S mondatok |
|---|---|---|---|---|---|
| HCl | 7647–01–0 | C | T | 23–35 | (1/2–)9–26–<br>–36/37/39–45 |

maró

mérgező

*31.14. ábra.* **A sósav osztályozása**

**Klinikai kép.** A savak a bőrön és a nyálkahártyákon koagulációs necrosist okoznak. A mérgezett szájában és a szája körül pörkök keletkeznek. A kénsav fekete, a salétromsav sárga, a sósav és az ecetsav fehér pörköket okoz. Félrenyelés következtében glottisgörcs, glottisoedema alakulhat ki, ami percek alatt fulladásos halálhoz vezethet. A sav lenyelése felmaródásokat okoz a nyelőcsőben és a gyomorban. Ez igen nagy fájdalommal jár: a fájdalom okozta sokk újabb halálos szövődményt jelenthet.

A gyomor izgalma kínzó, ismétlődő hányást vált ki; a hányadék kávéaljszerű (savhematin). A mérgezett a hányadékot aspirálhatja, ez a glottisoedema újabb veszélyével jár. A sav perforálhatja a gyomrot, életveszélyes sokk és peritonitis alakulhat ki. A gyomorból a bélbe jutó vér a székletet feketére színezi.

Ha a mérgezett a közvetlen veszélyeket túlélte, a felszívódó sav okozta acidosis veszélyei fenyegetik (légzési zavarok, collapsus, coma). Súlyos, anuriáig fokozódó vesekárosodás alakulhat ki. Az akut fázis elmúltával a nyelőcsőben és a gyomorban keletkezett pörkök leválása okozhat életveszélyes vérzést, még később pedig a pörkök heges gyógyulása következtében szűkületek fejlődhetnek ki.

**Gyógyítás, ellátás.** A savmérgezettet nem szabad hánytatni, és a gyomormosás is kontraindikált. Bőséges folyadékitatás hatására a sav felhígul, és maró hatása is csökken. A sav közömbösítésére alkáliákat orálisan nem szabad adni, mert a közömbösítéskor keletkező hő a helyi korróziós hatást súlyosbítja. A felszívódott sav 5%-os $NaHCO_3$-oldat vagy nátrium-laktát iv. cseppinfúziójával közömbösíthető. A sokk megelőzésére ismételten morfint kell adni a mérgezettnek, kezelésére pedig transzfúziót vagy vérpótló szereket és glükokortikoidokat. A fájdalom csillapítására orálisan helyi érzéstelenítő oldatot szoktak adni, a perisztaltika és a szekréció gátlására pedig atropint. A mérgezett táplálása az első napokban nyers tojással, később tejjel, pépes ételekkel történhet. A gyomorsavtermelés gátlására antacidokat kell adni. A szűkületek megelőzését a korai szondakezelés szolgálja, a kialakult szűkületek terápiája sebészi.

**Savgőzök (HCl, $H_2SO_4$) belégzése.** Laryngospasmust okoz, ha a belégzés krónikus, a fogakat károsítja. A *bőrön* harmadfokú égéshez hasonló elváltozást okoznak, a nagy fájdalom és a felszívódó necrosistermékek ilyenkor is sokkot válthatnak ki. A bőrről a savakat bő vízzel távolítjuk el, helyes azonban előbb (különösen kénsav esetén) a maró anyagot száraz ruhával gyorsan leitatni a vízzel való egyesülés okozta hőhatás elkerülésére. A saveltávolítás végett a szemet tartósan (20–30 perc) folyó vízzel kell mosni, majd steril paraffinum liquidumot becseppenteni. A szem másodlagos fertőzését általános és lokális antibiotikumprofilaxissal gátoljuk meg.

### *Megelőzés*

A savak lokális toxikus – főként a baleseteket követő súlyos korrozív – hatása ellen megfelelően választott, a savnak ellenálló védőeszközzel védekezünk. A savgőzök jelenléte esetén légzésvédelmet biztosítunk.

## Lúgok

### *A kóroki tényező tulajdonságai*

Víztiszta, szagtalan folyadékok (*31.15. ábra*).

### *Sorsuk a szervezetben, hatásuk a szervezetre*

A lúgmérgezések tüneteikben és lefolyásukban hasonlítanak a savmérgezéshez. A mérgező hatás erőssége – a savakhoz hasonlóan – itt is elsősorban a pH függvénye. Ennek megfelelően az erősen lúgos mosószerek (pl. a nátrium-karbonát [mosószóda vagy trinátrium-foszfát <trisó>]) is súlyos mérgezés forrásai lehetnek. 100 ml koncentrált $Na_2CO_3$-oldat megivása gyereknél halálos mérgezést okozott.

A nátrium-hidroxid osztályozása

| tapsztalati képlete | CAS-szám | szimbólum, veszélyjel | R mondatok | S mondatok |
|---|---|---|---|---|
| NaOH | 1310–73–2 | C | 35 | (1/2–)26–37/39––45 |

maró

*31.15. ábra.* **A nátrium-hidroxid osztályozása**

Lúgmérgezések az iparban, a laboratóriumokban, a háztartásban egyaránt gyakran előfordulnak. A lúgkő (NaOH) Magyarországon egy időben divatos öngyilkossági méreg volt. Az oltott mész [$Ca(OH)_2$] szintén az erős lúgok közé tartozik.

A lúgok hatása a bőrre és a nyálkahártyákra abban különbözik a savakétól, hogy nem koagulációs, hanem kollikvációs necrosist okoznak. A bőrön és a nyálkahártyákon kocsonyás pörkök keletkeznek, a felmaródás okozta fájdalom sokkot, collapsust idézhet elő. A gyomorba jutó lúg hányást, a félrenyelés vagy a hányadék aspirációja glottisoedemát, glottisgörcsöt okozhat. A nyelőcső és a gyomor perforációjának veszélye (mediastinitis, peritonitis) nagyobb, mint savmérgezés esetén.

### *Mérgezés*

**Klinikai kép.** A felszívódó lúg alkalosist okoz. A lúgmérgezés az oxálsavmérgezéshez hasonló kalciumhiányos tetaniát, görcsöket idézhet elő. A súlyos alkalosis károsítja a parenchimás szerveket, a vesekárosodás következtében oliguria alakulhat ki, a központi idegrendszer (vazomotorközpont) károsodása halálos kimenetelű lehet.

A savmérgezéshez hasonlóan a szubakut szakban a pörkleválás és az életveszélyes oesophagus-, illetve gyormorvérzés, a krónikus szakban pedig a nekrotizált területeken kialakuló kiterjedt hegesedés okozta szűkületek járnak súlyos következményekkel. A nyelőcsőszűkületek olyan mértékűek lehetnek, hogy mellüregi plasztikai eljárások alkalmazása nélkül a mérgezettek a progrediáló hegesedés miatt éhezés következtében meghalhatnak.

**Gyógyítás.** Megegyezik a savmérgezésével. A heges szűkületek megelőzésére korán meg kell kezdeni a puha szondával való tágítást.

### *Megelőzés*

Hasonlóan a savakhoz, a lúgok lokális toxikus (korrozív) hatása ellen is védőeszközzel védekezünk. A védőeszköz anyaga értelemszerűen a lúgnak ellenálló legyen. A lúgok kigőzölgése a savakhoz képest elhanyagolható. Hatásuk megelőzésekor az inhalációs expozíció által támasztott követelmények szerint járunk el.

## Sugárártalom okozta foglalkozási betegségek

*Köteles György*

Az ionizáló sugárzások biztonságos alkalmazásának feltételeit a sugárvédelem és a sugáregészségügy ismeretanyaga szabja meg. E szakterületeket a sugárbiológia és a sugáregészségtan alapozza meg, melyek az ionizáló sugárzások biológiai hatásainak, a sugárzás dózisának és a szervezet válaszának össze-

függéseit vizsgálják. Az alábbiakban azok a folyamatok és jelenségek kerülnek bemutatásra, amelyek valamely egészségkárosodáshoz vezethetnek. Bár e fejezet tárgya a foglalkozásszerűen ionizáló sugárforrásokkal dolgozók tartós expozíciójával járó foglalkozási betegségek kockázata, célszerűnek látszik összefoglalni a foglalkozási expozíciós csoportban előforduló, a dóziskorlátokat jelentősen meghaladó túlexpozíciók hatásainak jellegét és következményeit, azaz a foglalkozás során bekövetkezett balesetek egészségkárosító hatásait is.

## *Az ionizáló sugárzás dózisa és biológiai hatásai közötti összefüggések*

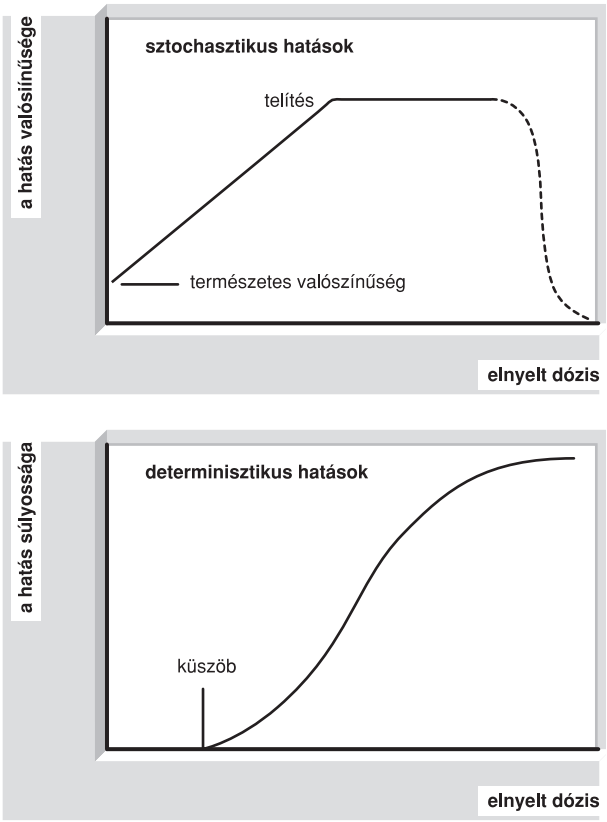
Sugárvédelmi szempontból az ionizáló sugárzás biológiai hatásait a dózishatás összefüggései alapján két csoportba soroljuk, a *sztochasztikus* és a *determinisztikus* jellegűekre. A sztochasztikus – statisztikai valószínűség szerint megjelenő – hatások jellemzői: az elnyelt dózis növekedésével egyenesen arányban nő a hatás valószínűsége, nincs „küszöbdózisa", azaz minden dózis mellé rendelhető egy bizonyos – bármilyen kicsi – valószínűség. Ezért kell érvényesíteni azt a sugáregészségügyi alapelvet, hogy a sugárterhelés mértékét az ésszerűen elfogadható legalacsonyabb szintre kell szorítani. Ilyen hatások a rosszindulatúdaganat-képződés és az örökletes (genetikai) károsodások. A rosszindulatúdaganat-képződés néhány éven, évtizeden át tarthat. A genetikai hatások az utódokban jelenhetnek meg, de az emberi népességben sugárexpozíciónak tulajdonítható genetikai hatást még nem mutattak ki. A sztochasztikus hatások előfordulásának valószínűségi értékeit az *31.4. táblázat* mutatja be.

A determinisztikus sugárhatások egy „küszöbdózis" felett jelennek meg, súlyosságuk függ az elnyelt dózis mértékétől. A determinisztikus sugárhatás körébe tartoznak az akut sugárbetegség különböző tünetegyüttesei, azaz a csontvelő, a gyomor-bél rendszer és a központi idegrendszer, illetve a vérerek károsodásából származó kórformák. A küszöbdózisértékek jóval meghaladják a sugárvédelmi dóziskorlátok értékeit és 0,5-től néhány Gy-ig terjedő nagyságúak.

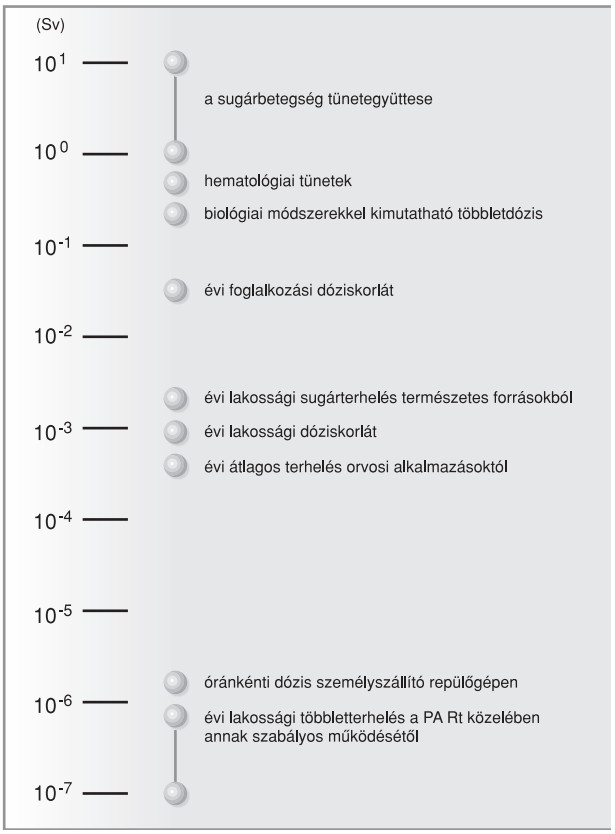
A különböző sugárdózis-tartományok által kiváltott hatások dózis-hatás összefüggéseit az *31.16. ábra* mutatja be. A kis és nagy dózisok hatásainak egymáshoz viszonyítását a *31.17. ábra* szemlélteti.

*31.4. táblázat.* **Sztochasztikus hatások előfordulásának valószínűségi tényezői**

| Biológiai hatás | Exponált népességcsoport | Valószínűségi tényező ($10^{-2}Sv^{-1}$) |
|---|---|---|
| *Rosszindulatú daganat (halálos kimenetelű)* | felnőtt dolgozók | 4,0 |
| | egész lakosság | 5,0 |
| *Súlyos örökletes hatások* | felnőtt dolgozók | 0,8 |
| | egész lakosság | 1,3 |




*31.16. ábra.* **Az ionizáló sugárzások okozta sztochasztikus és determinisztikus biológiai hatások dózis–hatás összefüggéseinek fő jellemzői**




*31.17. ábra.* **Egyes kis és nagy dózisok, tartományok és a már biológiailag-orvosilag értékelhető hatások összehasonlítása**

## *Sztochasztikus hatások*

Az ionizáló sugárzások változatos biológiai hatásai, bármilyen rövid ideig, másodpercekig tartson is az expozíció, időben elnyújtva fejlődnek ki. Ennek az az oka, hogy az elnyelt sugárenergia és a sejtek, a szövetek anyagai között kezdetben fizikai (az atomok ionizációja, excitációja), majd kémiai (gyökreakciók, molekulaátalakulások) kölcsönhatások jönnek létre, ezeket követik a biokémiai és a sejtbiológiai folyamatok változásai (pl. anyagcserezavarok, permeabilitásnövekedés, a sejtosztódás gátlása), végül – a különböző sugárérzékenységű sejtek károsítása miatt – a szövetek, a szervek működési zavarai. E folyamatok korai biológiai hatása – meglehetősen nagy sugárdózisokat követően – legfeljebb néhány órán belül bekövetkezik, és napokig, hetekig tarthat. Az akut szakasz elmúltával igen hosszú idő, hónapok és évek múlva jelenhetnek meg az ún. *késői hatások*. A sztochasztikus hatások is késői sugárhatások.

## Rosszindulatú daganatok képződése

Néhány évvel *Röntgen* felfedezése után, már a 20. század elején nyilvánvalóvá vált, hogy az ionizáló sugárzás rákot okozhat a sugárforrással dolgozók nagyfokú expozíciója után. Az epidemiológiai elemzések évtizedek múlva ezt valóban bizonyították. A radiológusoknál, az ankilotikus spondylitis miatt sugárterápiában részesített betegeken, más jóindulatú betegségek miatt besugárzott személyek csoportján, az atombombázás túlélőin és az anyjuk radiológiai vizsgálata miatt in utero besugárzott egyének csoportján elvégzett elemzések azt is valószínűsítették, hogy a sugárzás karcinogén hatásának nincs küszöbdózisa. A legtöbb tumorfajtára vonatkozóan nem határozható meg egyértelműen a dózis–előfordulási gyakoriság viszony, ezért a sugárvédelmi gyakorlatban előforduló kis dózisokhoz rendelhető rákkeltés kockázatát a szakértői bizottságok a nagy dózisok hatásából lineárisan extrapolálva becsülik. Feltételezik tehát, hogy bármilyen kis dózis okozhat rákot, arányosan kis valószínűséggel. A halálos kimenetelű rákképződés kockázata a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP) szerint $5 \cdot 10^{-2}$ Sv-enként (31.4. táblázat).

Ehhez a közelítőleges, sok bizonytalanságot is tartalmazó becsléshez az alábbi tényezőket is figyelembe kell venni:

- A különböző típusú rákok keletkezésének és letalitásának kockázata az említett átlagtól eltérő. A leukaemia, a tüdő- és az emlőrák kockázata pl. 3-5-ször nagyobb, mint a garat- vagy pajzsmirigyráké. Ebben szerepet játszik az is, hogy egyes rákfélességek, pl. a pajzsmirigyé, a bőré radioizotópos vagy sebészi kezeléssel jól gyógyíthatók. Így ezek letális kockázata kisebb. Az

embrió sugárérzékenysége miatt a mintegy 50 mSv dózisú in utero besugárzás a terhesség első harmadában kétszeresére fokozza a leukaemia kockázatát a születendő gyermek 10 éves koráig.

- Az egyes rosszindulatú folyamatok megjelenési ideje, latenciaperiódusa különböző; pl. a leukaemiának átlagosan 5 év, míg a faringeális ráké 27 év. A Japán elleni atombombázást túlélők között a leukaemia 5–20 év múlva jelent meg halmozottan, 14 éves átlaggal. Egyéb rákok átlagos latenciaideje mintegy 25 évnek bizonyult. A sugárzás különböző fajtájú tumorokat okozhat. Ezek hisztológiailag nem különíthetők el a más etiológiájú daganatoktól. Gyakoriságuk függ a genetikai tényezőktől, az exponált személy életkorától, továbbá a besugárzás fajtájától és dózisteljesítményétől. A sugárzás karcinogén hatásának megnyilvánulását fizikai, kémiai és biológiai tényezők módosíthatják, elősegíthetik vagy gátolhatják.

## Genetikai ártalmak

Az ionizáló sugárzások a genetikai ártalmak terén sem okoznak specifikus hatásokat, hanem az egyéb etiológiájú tényezők okozta ártalmak, mutációk, kromoszómaaberrációk, anyagcsererendellenességek előfordulási gyakoriságát növelik. Ez idő szerint nincs bizonyíték arra vonatkozóan, hogy az ionizáló sugárzás emberben is okoz örökletes ártalmakat, így a genetikai ártalmak kockázatát kísérleti állatokon kapott eredmények alapján szokták becsülni. Ehhez figyelembe kell venni, hogy az emberi népességben a mutációk, a genetikai hibák elég gyakoriak: az egyéneknek mintegy 5–10%-a hordoz valamely genetikai hibát, pl. egy-egy enzim vagy más fehérje aminosav-összetételének csekély változását vagy hiányát.

## A rosszindulatú megbetegedés foglalkozási eredetének megítélése

A sztochasztikus hatások vonatkozásában a sugárterhelés csökkentésével lehet a kockázatot csökkenteni.

A foglalkozásszerűen sugárforrásokkal dolgozóknál hatóságilag kötelező a rendszeres személyi dozimetriai ellenőrzés. Hazánkban évente mintegy 1500 munkahelyen, 15 100 alkalmazott dolgozik különböző sugárforrásokkal, akik hatósági személyi dozimetriai ellenőrzésre vannak bejelentve. Az OKK-OSSKI-ban működő Országos Személyi Dozimetriai Szolgálat adatai szerint a különböző foglalkozási körökben az utóbbi években előfordult átlagdózisértékek mellé igen kis kockázati valószínűségek rendelhetők: $0{,}6–3{,}0\times10^{-5}$. Ilyen dózisszintek mellett tehát nem valószínűsíthető, hogy az esetlegesen kialakult rosszindulatú folyamat oka a sugárexpozíció volt. Mindazonáltal konkrét esetekben – különösen, ha többször vagy tartósan túlexpozíció is előfordult – a körülmények részletes figyelembevételével lehet a szakvéleményt kialakítani egy rosszindulatú daganatos megbetegedés foglalkozási betegségként való elismeréséhez.

Uránbányászokra vonatkozó epidemiológiai elemzések az Egyesült Államokból, Kanadából és Csehszlovákiából már mintegy három évtizede ismertek. Mégis a meglevő adatbázist újra és újra feldolgozzák, amit részben az indokol, hogy újabb adatokkal bővül, másrészt pedig nő a megfigyelési idő. Ennek megfelelően a tüdőrákgyakoriság és az expozíció nagyságának összevetése egyre pontosabb lesz.

Legutóbb, 1988-ban, az Egyesült Államok tudományos akadémiájának az Ionizáló Sugárzások Biológiai Hatását Vizsgáló Bizottsága (Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, BEIR) IV. jelentésében dolgozta fel a rendelkezésre álló USA-beli és kanadai uránbányák és svéd fémbányák személyi állományának adatait. Azt találták, hogy ahogy nő a bányászok radonexpozíciója, úgy – szinte egyenes arányban – nő a tüdőrák többletgyakorisága. Az adatokból egyértelmű az is, hogy ezeknek a rosszindulatú

daganatoknak is van lappangási ideje, tehát az első expozíciótól számítva 10–15 év múlva jelennek meg. A rosszindulatú daganatok keletkezésének valószínűségét a bányászok adataiból lehetett meghatározni. A nemzetközi bizottságok által 1988-ban megállapított kockázati tényező $360/10^6$ személy-MSZH (munkaszinthónap), azaz ha 1 millió személyt 1 MSZH expozíció ér, akkor 360 halálos kimenetelű tüdőrák fordulhat elő. Ehhez hozzá kell tenni, hogy a dohányzás kockázata sokkal nagyobb. Azt lehet mondani, hogy ha radon is jelen van, a dohányzással az együttes hatás súlyosabb, mint ha csak az egyik tényező van jelen. Néhány évtizede ismert, hogy földalatti ércbányákban a radon és bomlástermékeinek belégzése növeli a bányászok hörgőrák-gyakoriságát.

## *Determinisztikus hatások*

A sugársérülések jellege és súlyossága a sugárdózistól függ. A dóziskorlátok túllépése a túlexpozíció. Ez származhat a szervezetet kívülről érő sugárzásból (külső expozíció) vagy radionuklidok szervezetbe jutásából (belső expozíció, inkorporáció). Mindkettőhöz társulhat a testfelület radioaktív anyagokkal történő külső szennyeződése is (kontamináció), amely részint külső, másrészt belső expozíció forrása lehet.

A sugársérülés mértéke a sugárzás dózisától függ. Az évi effektív egyenérték-dóziskorlátot akár tízszeresen meghaladó túlexpozíciót is csak igen érzékeny citogenetikai módszerekkel lehet kimutatni. A dóziskorlátot mintegy 20–40-szeresen meghaladó túlexpozíció már orvosi laboratóriumi és klinikai vizsgálattal is észlelhető tüneteket okozhat. Így tehát nyilvánvaló, hogy nem minden túlexpozíció okoz sugárbetegséget!

A sugársérülések gyakran egyéb, nem sugárzás okozta baleseti ártalmakkal együtt is előfordulhatnak. Ezek lehetnek mechanikai traumák, pl. sérülések, vérzések, csonttörések, továbbá termikus égések, mérgezések. Az ilyen kombinált sugársérüléseknél a kórkép megjelenését, kialakulását és lefolyását a sugaras és a nem sugaras tényezők együttesen befolyásolják.

A *sugárbetegség* különböző tünetegyüttesei az egyes szövetek, szervek, szervrendszerek sugárérzékenységétől függően alakulnak ki. Így a tünetek jellege, súlyossága és időbeli megjelenése részben az elszenvedett sugárdózistól, másrészt az érintett szervek, szövetek biológiai jellegzetességeitől függ. A legérzékenyebb szövet a csontvelő. Sérülése mintegy 1 és 6 Gy között a csontvelői szindrómát váltja ki. Nagyobb dózisok, 6–10 Gy között a gyomor-bél rendszer nyálkahártyáját is károsítják, a 10 Gy felettiek pedig már a kardiovaszkuláris és a központi idegrendszert is. Ennek megfelelően alakulnak ki a gasztrointesztinális, illetve a központi idegrendszeri szindrómák.

### Késői determinisztikus hatások

**Krónikus sugárdermatitis.** Rendszerint a bőr nagyobb fokú sugárégése után jelenik meg, azonban kiválthatja a bőr hosszan tartó, „erythemát okozó dózis" alatti expozíciója is. Ilyen volt az ún. „röntgenkéz", olyan idős röntgenológusok kezének és körmének idült elváltozása, akik korábban megfelelő sugárvédelmi felszerelés nélkül dolgoztak sugárforrásokkal.

Klinikailag száraz, atrófiás, szőrtelen bőr képében jelenik meg, amelyen teleangiectasiák és atípusos pigmentáció jelenik meg. Ez utóbbi területeken fejlődhetnek ki a hámsejtrákok. A bőr alatti kötőszövetben, az erek alatti kötőszövetben az erek károsodtak, elpusztultak. Mintegy 10 Gy feletti kumulált dózis után következhet be. Ha a sugárterhelés igen hosszú időre, hetekre, hónapokra elnyújtva éri a bőrt, akkor a kép mintegy 20 Gy után fejlődhet ki.

Az elvékonyodott bőrt különösen óvni kell a mechanikai és a hősérülésektől, mert gyógyulása lassú, vagy nem is megy végbe, így krónikus fekélyek maradhatnak vissza. A lassú vagy rossz gyógyhajlamot az ulcus vagy a tumor miatt esetleg szükségessé váló sebészi beavatkozásnál is figyelembe kell venni. Kezelése, miként bármely más krónikus, száraz dermatitis esetén, tüneti.

**Lencsehályog (sugárcataracta).** A szemlencse átlátszóságát a hámsejtekből differenciálódó, szabályosan elrendezett lencserostok és ezek sajátos fehérjéi, a krisztallinok biztosítják. A hámsejtek vagy a differenciálódásban lévő rostok károsodása esetén homály alakulhat ki. Ezt a kóros folyamatot, a lencsehámot elérő ionizáló sugárzások, a röntgen-, a gamma-, a neutron- és a nagy energiájú béta-sugárzások elindíthatják. Krónikus expozíciónál mintegy 15 Gy kumulált dózis okozhat cataractát. A besugárzás és a lencsehomály megjelenése közötti latenciaidő is dózisfüggő: 2–7 Gy után kb. 8 év, 7–12 Gy között pedig kb. 4 év. A dózis további növekedése a latens szakaszt rövidíti.

Klinikailag a kezdeti lézió oftalmoszkóppal észlelhető, és a lencse hátsó felszínén, a lencsetok alatt szubkapszulárisan jelenik meg fehéres folt formájában. E körül kis szemcsék és vakuolumok gyűlnek fel. Ahogy az elváltozás nő, viszonylag tiszta központtal, szabálytalan gyűrű alakú, „fánkszerű" képlet alakul ki. A folyamat előrehaladtával az első felszíni lencsekéreg is opálossá válhat. Ekkor már az elváltozás nem különíthető el a más eredetű cataractáktól. Mértéke nem fejlődik szükségszerűen a látás elvesztéséig. Kezelése, mint az egyéb szürke hályogoké.

## *A sugárzás okozta egészségkárosodások értékelése*

A sugárzás okozta egészségkárosodások értékelése az adott szervnek, szervrendszernek megfelelően az általános szabályok szerint történik. A foglalkozási eredet bizonyítottsága esetén a károsodás a baleseti ellátások szabályai szerint jogosít a kompenzációs ellátásokra.

## *A sugárvédelem feladata*

Az ionizáló sugárzás és a radioaktív anyagok a környezet természetes és állandó részét képezik, következésképpen a sugárterheléssel együtt járó kockázatot csak korlátozni lehet, teljesen megszüntetni nem.

A mesterséges sugárforrások alkalmazásával kapcsolatos kockázat társadalmi elfogadása a sugárzás használata révén nyert haszon mértékének függvénye. Ettől függetlenül a kockázatot korlátozni kell, és óvó rendszabályok segítségével védekezni kell a sugárzás káros hatásai ellen.

A hazai jogszabályok, az 1996. évi CXVI. törvény, valamint az ennek végrehajtásáról rendelkező tárcarendeletek (16/2000 EüM sz. rendelet) már a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (ICRP) 1991-ben megjelent közleményén és a fent említett nemzetközi biztonsági szabályzaton alapulnak. Ezek a rendelkezések megfelelnek az EU-előírásoknak.

Ennek megfelelően ionizáló sugárzásokat csak abban az esetben szabad alkalmazni, ha azok eredménye más módszerrel nem érhető el. Ez az indokoltság elve. Továbbá a sugárvédelmet optimálni kell, és biztosítani, hogy sugárterhelés csak az ésszerűség szerinti legalacsonyabb mértékben érje a foglalkozásszerűen sugárforrásokkal dolgozókat, valamint a lakosságot. Végül megállapították azokat a dóziskorlátokat, amelyek fölötti mértékben semmilyen körülmények között sem szabad kitenni a megjelölt csoportokat sugárzásnak.

A fenti alapelvek tehát azt a feladatot tűzik a sugárvédelem elé, hogy a sztochasztikus hatások valószínűségét csökkentse, a determinisztikus hatások kialakulását pedig előzze meg.

**Dóziskorlátok.** Bármely munkavállaló foglalkozási sugárterhelését úgy kell szabályozni, hogy azok a következő korlátokat ne lépjék túl:

- 20 mSv effektív dózis évente, öt egymást követő évre átlagolva;
- 50 mSv effektív dózis bármely egyetlen évben;
- 150 mSv egyenértékdózis egy évben a szemlencsére, valamint
- 500 mSv egyenértékdózis egy évben a végtagokra (kéz és láb) vagy bőrre.

**Radon-sugárterhelés.** Munkavállalók radontól származó sugárterhelése esetén a beavatkozást igénylő cselekvési szint 1000 $Bq \cdot m^{-3}$ radonkoncentráció a munkahelyi levegőben, éves átlagban. Ez megfelel 4,4 munkaszinthónap-értéknek.

**A sugárzás dózisa és mértékegységei.** A sugárbiológiai hatások kiváltásánál, illetve a kockázat becslésénél rendszerint a makroszkópos dozimetriai mennyiségeket használjuk, bár tudjuk, hogy a mikrodozimetriai megközelítés, amely egy kis térfogatban, pl. a sejten belül bekövetkező eseményeket veszi figyelembe, helyesebb lenne. A fő dozimetriai mennyiségek az átlagos elnyelt dózis, az egyenértékdózis és az effektív dózis.

A radon expozíciójának kitett személyek terhelésének kifejezésére használatosak a *munkaszint* (levegő koncentráció) és a *munkaszinthónap* (expozíció) fogalmak, illetve egységek.

*Elnyelt vagy abszorbeált dózis.* Dozimetriai alapmennyiség (D), amelyet a

$$D = de/dm$$

kifejezés határoz meg, ahol *de* az ionizáló sugárzás által az anyag térfogatelemében leadott energia, *dm* pedig az anyag térfogatelemének tömege. Az elnyelt dózis SI egysége a joule/kilogramm (J/kg), amelyet gray-nek (Gy) neveznek.

*Egyenértékdózis.* Az egyenértékdózis számításánál az elnyelt dózist a sugárzásra jellemző súlytényezővel $(w_R)$ szorozzuk, amelyek a sugárvédelem céljainak megfelelően figyelembe veszik a különböző típusú sugárzások relatív hatékonyságát az egészségi hatások tekintetében. A $H_{T,R}$ mennyiséget a

$$H_{T,R} = D_{T,R} \cdot w_R$$

kifejezés határozza meg, ahol $D_{T,R}$ az *R* típusú sugárzástól származó, a *T* testszövetre, illetve szervre átlagolt elnyelt dózis, $w_R$ pedig az *R* típusú sugárzás súlytényezője. Az egyenértékdózis egysége a joule/kilogramm (J/kg), amelyet sievert-nek (Sv) neveznek.

*Effektív dózis.* Az effektív dózis számításánál az egyes szervek vagy testszövetek egyenértékdózisának szorzótényezői $(w_T)$ a sugárvédelem céljainak megfelelően figyelembe veszik a különböző szervek vagy testszövetek eltérő érzékenységét a sztochasztikus sugárhatások kiváltásában. Az *E* mennyiség a vonatkozó testszöveti súlytényezővel szorzott egyes testszöveti egyenértékdózisok összege, amelyet az

$$E = \Sigma w_T \cdot H_T$$

kifejezés határoz meg, ahol $H_T$ a *T* testszöveti egyenértékdózis és $w_T$ a *T* testszövetre vonatkozó súlytényező. Az effektív dózis egysége a joule/kilogramm (J/kg), amelyet sievert-nek (Sv) neveznek.

*Munkaszint (Working level: WL).* A potenciális alfa-energia koncentrációegysége (azaz az egységnyi levegőtérfogatban lévő összes atom, továbbá a leányelemek teljes elbomlásakor kibocsátott alfa-részecskék összenergiája) a radon vagy a toron rövid felezési idejű bomlástermékeinek jelenléte esetén, amely egyenlő 1 liter levegőben kibocsátott, $1{,}3 \cdot 10^5$ MeV összes alfa-energiával. SI egységben 1 WL=$2{,}1 \cdot 10^{-5}$ $J \cdot m^{-3}$.

*Munkaszinthónap (working level month: WLM).* A radon vagy toron rövid felezésű bomlástermékeitől származó sugárterhelés egysége – 1 munkaszintű koncentrációtól származó 170 órán át tartó expozíció:

$$1\ WLM = 170\ WLh$$

Egy munkaszinthónap egyenlő 3,54 $mJ \cdot h \cdot m^{-3}$-rel.

# Vibráció okozta ártalmak

*Kákosy Tibor*

A vibráció (rezgés, rázkódás) a gépek működése következtében keletkezik, és – közvetlenül vagy közvetve (pl. a munkadarab útján) – átterjedve az emberi szervezetre abban kóros elváltozásokat okozhat. Ezen elváltozások összességét nevezzük *vibrációs ártalmak*nak.

## *A vibrációs expozíció formái*

**Kéz–kar vibráció.** A rezgések behatolási kapuja a felső végtag, a kóros eltérések is itt keletkeznek.

**Egésztest-vibráció.** Az érintettek rázkódó felületen dolgoznak, a behatolási kapu a gluteális régió vagy az alsó végtagok. A fő támadáspont a gerincoszlop.

**Kombinált vibráció.** Az előző két forma együttes előfordulása. Tipikus példája a traktorvezetés és a nehézgépek kezelése. Mindkét előző forma által okozott tünetek felléphetnek.

## *A vibrációs expozíció forrásai*

**Kéz–kar vibráció.** Forrása a vibrációs hatást keltő kézi eszközök (préslégszerszámok, motoros láncfűrészek, kézi köszörűk és csiszológépek, csavarbehajtók, fúrógépek, szegecselőgépek, cipőipari kalapáló gépek stb.) kezelése. Az érintett a rezgő géppel közvetlenül vagy a munkadarab közvetítésével érintkezik.

**Egésztest-vibráció.** Forrása az olyan gépek kezelése, melyek működésük közben az egész padozatot rezgésbe hozzák.

**Kombinált vibráció.** Forrása traktor és egyéb nehézjárművek vezetése (különösen egyenetlen terepen), az önjáró munkagépek vezetése és kezelése.

## *Patogenezis, patomechanizmus*

A vibráció patogenezise és patomechanizmusa számos részletében ma is tisztázatlan. Szerepet játszik a vibráció mechanikus (mikro-) traumatizáló és a vegetatív idegrendszert befolyásoló hatása, valamint a munkafolyamat egyéb kísérőjelenségei (klimatikus tényezők, kényszertartás, egyoldalú és/vagy túlzott fizikai terhelés). Az egyes kóroki tényezők részarányát az eltérések keletkezésében az orvostudomány mai eszközeivel nem lehet meghatározni, mindenesetre izolált "steril" vibrációs expozíció gyakorlatilag nincs.

A *keringési zavarok* keletkezésében ma is vitatott, hogy a vazomotorbeidegzés vagy az érfalak károsodása-e a primus movens. Az érelváltozások kezdetben tisztán funkcionálisak, de tartós fennállás esetén organikus eltérések (a muszkuláris réteg hypertrophiája, szubintimális fibrosis) alakulnak ki, ennek következtében az érfal megvastagodik, a lumen beszűkül, esetleg el is záródik. A *felső végtagi neuropathiák*at jórészt iszkémiás eredetűnek tartják, de állatkísérletekben kimutatták a vibráció közvetlen idegkárosító hatását is. Az *alagútszindrómák* keletkezésében a munka említett kísérőjelenségei lényeges szerepet játszhatnak. A *csonteltérések* genezisében a (mikro)traumatizáción kívül neurotrofikus és iszkémiás tényezőknek, valamint a munka egyéb körülményeinek tulajdonítható oki vagy hozzájáruló szerep.

## *Klinikai kép, diagnosztika*

### *Kéz–kar vibrációs szindróma*

A kéz–kar vibrációs expozíció a felső végtagok vaszkuláris, neurológiai és oszteoartikuláris eltéréseit okozhatja izolált vagy kombinált formában.

## Érrendszer

**Panaszok.** Kezdetben a kezek fázékonnyá válása, hidegparaesthesiák jelentkeznek, majd megjelenik a szindróma legjellegzetesebb tünete, a *Raynaud-jelenség*. Utóbbi lokalizációja – a rezgésterhelés különbözőségéből adódóan – foglalkozásonként eltérő lehet. Szimmetrikus expozíció (pl. köszörülés) esetén a Raynaud-jelenség lokalizációja is szimmetrikus, a túlnyomóan féloldali terhelés (pl. motoros fűrész kezelése, öntvénytisztítás vagy kőfaragás légkalapáccsal) viszont túlnyomóan féloldali tüneteket eredményez. Az egyes foglalkozásokra jellemző lokalizációs sajátosságok ismerete már az anamnézis felvételekor segítséget nyújthat a diagnosztikában is.

A vibrációs kézi eszközök korszerűsödése, veszélyességük csökkenése, valamint a rendszeres időszakos orvosi vizsgálatok bevezetése, így az elváltozások korai felfedezése révén a „klasszikus" súlyos Raynaud-szindrómák ma már lényegesen ritkábban fordulnak elő. Jelenleg a panaszokat inkább a kezek fokozott hidegérzékenysége, hidegre jelentkező zsibbadása, fájdalmassága okozza. Ezeket az atípusos kórképeket *angiopathia* megnevezéssel illetjük.

*Spasztikus formá*ját az ujjak szisztolés nyomásának – hidegprovokáció előtti vagy utáni – csökkenése és/vagy az ujjak pletizmográfiás görbéjének – nyugalmi vagy hidegprovokáció után jelentkező – jellegzetes morfológiai eltérése vagy kifejezett amplitudócsökkenése, *organikus formá*ját pedig a Doppler-eszközzel végzett Allen-próba pozitivitása és/vagy az ujjak szisztolés nyomásának – hidegprovokáció előtt és után egyaránt – csökkent értéke útján kórismézzük.

**Fizikális lelet.** Kezdetben teljesen negatív lehet, később az ujjak (majd a kezek) hűvössége, lividitása, alacsony hőmérsékleten esetleg spontán Raynaud-jelenség, elhanyagolt esetekben elvétve trofikus zavar figyelhető meg. Utóbbi annyira ritka, hogy jelenléte esetén mindig gondosan kell kutatni más kóroki tényező, elsősorban generalizált obliteratív érbetegség fennállását.

Az egyszerűen végrehajtható *angiológiai műfogások* közül a kéz ereinek anatómiai viszonyairól felvilágosítást adó *Allen-teszt*, a felső végtag reaktív hyperaemiáját vizsgáló *ökölzárási* és *körömnyomási próba* és az esetleges vállövi artériás kompressziót kimutató pozicionális *Doppler-vizsgálat* (*TOS-próba*) elvégzése nyújthat hasznos információkat.

*Allen-teszt*. A kéz ereinek anatómiai állapotáról tájékoztat. Elevált helyzetben (mintegy a következőkben leírt TOS-próba folytatásaként) komprimáljuk a beteg arteria radialisát, és öt ökölszorítást hajtatunk végre. A szorítás iszkemizáló hatására a tenyér és az ujjak elhalványodnak. Ha az arteria ulnaris rendszere ép, átjárható, akkor gyors visszaszíneződés következik be, a radiális kompresszió fenntartása ellenére. Ha az elhalványodás perzisztál a leszorítás fenntartásáig, occlusio tételezhető fel az arteria ulnaris rendszerében. Ugyanígy vizsgálhatjuk az arteria radialis rendszerét az arteria ulnaris kompressziója útján.

A próba fiziológiai alapjának megértéséhez elengedhetetlenül szükséges a kéz artériás vérellátásának anatómiai ismerete. A kéz vérellátása az arteria radialis és ulnaris útján történik. Előbbi alkotja a mély, utóbbi a felületes tenyéri ívet. Az ívek területén a két rendszer anasztomizál egymással. Belőlük erednek a metakarpális, ezekből a digitális artériák. A hüvelyket – az arteria princeps pollicis útján – az arteria radialis látja el. A II–V. ujjak viszont – tankönyvi normálanatómia esetén – mindkét fő artériából kapnak vért. Ebből következően ezen ujjak keringését egyik alkari artéria kompressziója sem függeszti fel. A próba pozitivitása occlusio vagy vérellátási variáció gyanúját veti fel.

*TOS-próba*. A TOS (Thoracic Outlet Syndroma) – jelenleg ezen a néven foglalják össze a régebben *scalenus anticus*, *kosztoklavikuláris*, *hiperabdukciós* és *nyakiborda-szindróma* néven összefoglalt tünetcsoportokat – artériás kompresszióval jellemzett formáját képes kimutatni.

Megtapintjuk a beteg arteria radialisát, majd a felső végtagot 90°-ban elevált, kifelé rotált és kö-

nyökben flektált helyzetbe hozzuk, esetleg hiperextendáljuk. Pozitív esetben az arteria radialis tapinthatatlanná válik, vállövi artériás kompressziót, más szóval a TOS (neurovaszkuláris vállövi kompressziós [mellkas kimeneti] szindróma) artériás formáját jelezve. A próba panaszmentes egyéneken is adhat pozitív eredményt, ezért egymagában nem jelenti betegség fennállását, de – szubklinikus lézióként értékelve – profilaktikus gymnastoterápiát indokolttá tehet.

A fenti két próbát a fizikális vizsgálat keretében akkor javasolt elvégezni, ha a vizsgálóhely nem rendelkezik Doppler-eszközzel, mivel utóbbi segítségével pontosabb és szélesebb körű információk nyerhetők e vonatkozásban.

*Ökölzárási próba.* A felső végtagok reaktív hyperaemiájának vizsgálatára szolgál. A beteg mindkét felső végtagját – nyújtott könyökkel – a feje fölé emeli, és kezeit tízszer egymás után ökölbe szorítja, majd ujjait kinyújtja. Fiziológiás keringés (jó reaktív hyperaemia) esetén az ökölzárások hatására elhalványodott kéz gyorsan kipirul. A próba „melléktermékként" a TOS artériás formáját is kimutathatja. Ilyenkor a végtag felemelésére – ökölzárások végzése nélkül is – egyik vagy mindkét kéz elfehéredik, jelezve a vállövi artériás kompresszió hatására a keringés átmeneti megszűnését.

*Körömnyomási próba.* Az ujjak mikrocirkulációjáról ad durva tájékoztatást. A vizsgáló a beteg ujjának végpercét III. és I. ujjának végperce közé helyezi, majd a beteg körmét hüvelykujjával megnyomja. A nyomás hatására elhalványodó köröm a mikrocirkuláció épsége esetén másodpercek alatt visszanyeri eredeti színét, ledált keringés esetén a folyamat elhúzódó.

E próbák tájékozódó jellegűek, elsősorban az angiológiai műszerekkel nem rendelkező vizsgálót segítik, pozitivitásukra egymagában diagnózis nem alapozható.

A Raynaud-jelenség diagnózisának feltétele a jelenség észlelése az orvos által. Ez megvalósítható spontán Raynaud-jelenség bemutatása vagy a jelenség – hideginger segítségével történő – provokálása útján.

Utóbbi legegyszerűbb módja a *lehűtési próba*: a beteg 10 percig 14+2 °C hőmérsékletű vízben tartja a kezét csuklóig, közben esetleg – a szorítás iszkemizáló hatását kihasználandó, így a próba találati arányát fokozandó – a kezével fémcsövet szorít. Pozitív a próba Raynaud-jelenség fellépése esetén. Ez az egyszerű módszer pozitív esetben egyértelmű diagnózist ad. Hátránya az alacsony szenzitivitás (a Raynaud-jelenségről panaszkodók kb. felében eredményes csak). Hipertóniásokon – a coldpressor mechanizmus alapján fellépő veszélyes mérvű tensioemelkedés kockázata miatt – csak a vérnyomás normalizálása után végezhető el. Iszkémiás szívbetegség, anamnesztikus ritmuszavar, pcp, trofikus zavar és hidegurticaria is ellenjavallja a próbát.

Az egész test lehűtése (általános lehűtés) eredményesebb a lokális hűtésnél. Utóbbi negativitása esetén eredményt – Raynaud-jelenség – hozhat a beteg kesztyű nélküli sétája hűvös, hideg, nedves időben.

A Raynaud-jelenség provokálhatósága – de a később ismertetésre kerülő noninvazív angiológiai vizsgálómódszerek eredményessége is – nagyban függ az általános vazomotortónustól, amelyet döntően a külső hőmérséklet határoz meg. A vibrációs eredetű érbetegség felderítésére irányuló vizsgálatokat ezért a hűvös, hideg évszakokra kell időzíteni. A spontán vagy provokált Raynaud-jelenség pontos lokalizációját (oldalra, ujjakra, sőt ujjpercekre lebontva) és az elszíneződés jellegét (halványodás, fehéredés, cyanosis) gondosan fel kell jegyezni, mert ezen adatok ismeretének az adott eset súlyosságának elbírálásában, a kontrollvizsgálatok kapcsán pedig a dinamika (regresszió, sztationer állapot, esetleg progresszió) megítélésében nagy jelentősége van. A provokált Raynaud-jelenség sokszor csak rövid ideig áll fenn, ezért a provokáció befejeztekor azonnal meg kell tekintenünk a beteg kezét. Előfordulhat az is, hogy a provokáció befejezésekor kóros elszíneződés nem látható, de 10–20 perc elteltével spontán Raynaud-jelenség lép fel. Ennyi ideig a beteget

ajánlatos megfigyelés alatt tartani a váróhelységben. A cianotikus reakció organikus érelváltozás gyanúját veti fel.

A hipertóniás egyének tensiojának normalizálásakor – a vibrációs ártalom diagnózisának felállítása előtt – kerüljük az értágító hatással rendelkező antihipertenzív szereket (kalciumcsatorna-blokkolók), utána viszont ezeket részesítsük előnyben és a – perifériás keringésre negatív hatású – béta-blokkolókat lehetőség szerint mellőzzük.

Azokban az esetekben, amelyekben a hidegprovokáció kontraindikált, valamint azokban, amelyekben – objektívnek imponáló panaszok ellenére – a provokáció negatív, *noninvazív angiológiai vizsgálómódszerek* segítségével verifikálhatjuk a diagnózist. Ha a hidegprovokáció után nem hallunk érhangot az ujjbegyen, a Raynaud-jelenség diagnózisát – a látható elszíneződés hiánya ellenére – igazoltnak tekinthetjük. Angiopathiáról beszélünk, ha nem típusos panaszok (kezek fázékonysága, hidegparaesthesiák) vagy hidegprovokációval nem igazolható Raynaud-s panasz esetén észlelünk patológiás tartományba eső eredményeket a műszeres angiológiai vizsgálatok során.

Reális eredmények nyerése érdekében a vizsgálatkor bizonyos feltételeket be kell tartani. A beteg a vizsgálat előtt legalább fél óráig tartózkodjon komforthőmérsékleten, egy órával előtte ne dohányozzon, alkoholt már előző este se fogyasszon. Az akut alkoholhatás alatt állókat nem célszerű vizsgálni az eredményt meghamisító értágító hatás miatt.

A Doppler-elv alapján működő *ultrahangos áramlásmérő* az Allen-teszt elvégzése útján lehetőséget ad a tenyéri ívek és az arteria digitalisok occlusiojának kimutatására, valamint a vállövi artériás kompresszió (a TOS vaszkuláris formája) detektálására. Megfelelő méretű (kb. az újszülöttek vérnyomásának mérésére szolgáló nagyságú) mandzsetta birtokában az ujjakban uralkodó szisztolés nyomás mérésére is mód nyílik. Biztosan kórosak tekintjük az értéket, ha legalább 40 Hgmm-rel alacsonyabb a szisztémás (a homolaterális arteria brachialisban mért) nyomásnál. Csökkent, de 30 Hgmm abszolút érték feletti digitális szisztolés nyomás esetén – főként ha kóros érték csak hidegprovokáció előtt vagy után mérhető – elsősorban spazmust tételezünk fel. Organikus érelváltozás szupponálható, ha az Allen-próba pozitív, vagy az ujjak szisztolés nyomása 30 Hgmm alatti, vagy hidegprovokáció előtt és után egyaránt hasonló nagyságú kóros nyomásértéket mérünk az ujjakban. A Doppler-áramlásmérő segítségével – a mandzsettát az alkarra helyezve – módunk van megmérni az arteria radiálisban és ulnarisban uralkodó nyomást is, de ezt a lehetőséget csak akkor vesszük igénybe, ha generalizált obliteratív érbetegségre van gyanúnk, mivel a vibrációs angiopathia az alkari ereket már nem érinti.

Az *Allen-teszt Doppler-áramlásmérővel végzett formája* a fizikális módszerhez képest annyiban ad többletinformációt, hogy az esetleges occlusio (vagy anatómiai variáció) lokalizációjára is utal. Oly módon hajtjuk végre, hogy az ujjbegyen megkeressük az érhangot (ujjbegypulzus), majd felváltva komprimáljuk az arteria radialist és ulnarist. Tankönyvi normálanatómiai szituáció esetén az ujjbegypulzust egyik artéria kompressziója sem tünteti el, mivel a II–V. ujjak mindegyike mindkét alkari verőérből kap vérellátást. Ha az arteria radialis kompressziójának hatására mind a négy ujjban eltűnik az érhang, a felületes, ha az ulnaris nyomására, akkor a mély tenyéri ív záródási defektusáról lehet szó. Ha valamelyik artéria kompressziója 1–3 ujjban eredményezi az érhang eltűnését, az elzáródás (vagy variáció) a tenyéri ívektől disztálisan (legtöbbször az arteria digitalisok szintjén) van. Az „elzáródás vagy variáció?" dilemma egy keresztmetszeti vizsgálat alkalmával nehezen dönthető el. A szimmetrikus elhelyezkedés inkább variációra, az aszimmetrikus inkább occlusiora utalhat. A dilemma megelőzhető, ha a tesztet már a felvételi munkaalkalmassági vizsgálat kapcsán elvégezzük, így stabil összehasonlítási alap áll rendelkezésünkre.

Az ujjakról *pletizmográf* segítségével felvett *pulzusgörbé*re elsősorban a spasmus (a dikróthullám közeledése a csúcshoz) jellemző, főleg hi-

degprovokáció után. Egymagában erre a módszerre – extrém eltérésektől (pl. „0”-görbe) eltekintve – jelenleg nem alapozunk diagnózist, inkább adjuváns metodikaként alkalmazzuk, mivel a kórképre jellemző spasztikus görbét más behatások (pl. pszichés stressz) is képesek generálni.

Panaszmentes egyénen észlelt kóros angiológiai eredmények esetén esetleges traumát kell keresnünk az anamnézisben, ennek hiányában disszimuláció vagy szubklinikus károsodás állhat fenn.

Az *oszcillometria* vibrációs ártalomban ritkán ad használható információt, mivel a folyamat az alkari ereket rendszerint már nem érinti. Az *angiográfia* végzése csak érsebészeti beavatkozás szükségessége vagy lehetősége esetén indikált. A *kapillármikroszkópos vizsgálat* diszpláziás (vazoneurotikus) képet, spasmust, esetleg atóniát mutat, értékelése nagy gyakorlatot igényel.

A vaszkuláris státus értékelése pontrendszer alapján történik. Ennek alapja a folyamat kiterjedése és az eltérések súlyossága. A Raynaud-jelenség provokálhatósága esetén a II–V. ujj végperce egy, második perce két, alapperce három, a hüvelykujj végperce négy, alapperce 5 pontot reprezentál. A Doppler-eszközzel a kézen kimutatható kóros eltérések pontértékét a *31.5. táblázat* mutatja be.

Minden ujj vagy csak mint Raynaud-jelenség, vagy mint angiopathia kerülhet beszámításra, a magasabb pontértékű kategóriában.

*31.5. táblázat.* **A Doppler-készülékkel kimutatható kóros eltérések pontértéke**

| Kóros eltérés az ujjak területén | Pontérték |
|---|---|
| 40 Hgmm-t eltérő nyomás-grádiens hűtés előtt vagy után | 1 |
| 40 Hgmm-t eltérő nyomás-grádiens hűtés előtt és után | 2 |
| Max. 30 Hgmm abszolút nyomásérték | 2 |
| Hűtés után érhang nem hallható az ujjbegyen | 2 |
| Artéria digitális occlusio ujjanként | 2 |
| Tenyéri ív elzáródás kezenként | 8 |

Izolált vaszkuláris lézió esetében a foglalkozási betegség kórisme felállításához minimálisan 6 pont szükséges, egyidejű neurológiai, illetve oszteoartikuláris érintettség ezt a szintet 1–1 ponttal csökkenti. Jellegzetes és súlyos oszteoartikuláris eltérések (aszeptikus necrosis, osteochondrosis dissecans) kimutatása negatív vaszkuláris státus esetében is elegendő a diagnózis felállításához.

A kéz–kar vibrációs szindróma során jelentkező Raynaud-jelenség súlyosságának klinikai tünetek alapján történő osztályozását mutatja a *31.6. táblázat*.

*31.6. táblázat.* **A hideg indukálta Raynaud-phenomen súlyossági osztályozása** (Stockholm Workshop 86 skála)

| Stádium | Fokozat | Tünet |
|---|---|---|
| 0 | – | nincs |
| 1 | enyhe | az ujjbegyek időnkénti elfehéredése |
| 2 | mérsékelt | egy vagy több ujj disztális és középső ujjpercének időnkénti elfehéredése |
| 3 | súlyos | több ujj minden percének gyakori elfehéredése |
| 4 | nagyon súlyos | az előbbiek, és az ujjak trofikus elváltozásai |

## Környéki idegrendszer

**Panaszok.** Zsibbadás, paraesthesiák elsősorban pihenéskor, főleg éjszaka, utóbbi az alvást is súlyosan zavarhatja. Később az izomerő csökkenése is felléphet, amelyre elsősorban az jellemző, hogy a beteg nem tud tartósan erőt kifejteni, a munkadarab vagy a szerszám bizonyos idő elteltével kiesik a kezéből, ami fokozott balesetveszélyt teremt.

**Fizikális vizsgálat.** Elvégzése során érzéscsökkenés, reflexeltérések, a szorítóerő csökkenése, esetleg izomatrophia tapasztalható.

A vibrációs érzés csökkenése paleszteziométer segítségével mennyiségileg is mérhető; ez a módszer azonban hazánkban nem terjedt el.

A neurológiai eltérések diagnosztikájában ma már rutinszerűen alkalmazzuk a *szegmentális elektroneurográfiás (ENG)* vizsgálatot, amely – a klinikai neurológiai vizsgálatot kiegészítve – lehetőséget ad mind a perifériás neuropathiák, mind az alagútszindrómák objektív kórismézésére. Az alsó végtagok vizsgálata differenciáldiagnosztikai szempontból lehet fontos. A nemzetközi szakirodalom a felső végtagi polyneuropathiákat és a *karpális alagútszindrómát* (CTS) ismeri el egyértelműen vibrációs eredetűnek, a hazai gyakorlat – tapasztalatai alapján – más, vibrációs eredetűnek elfogadott elváltozás jelenléte esetén a *thoracic outlet szindrómát* (TOS) és a *kubitális alagútszindrómát* is elfogadja.

## Oszteoartikuláris eltérések

A vibrációs neuropathiák egy lehetséges osztályozási rendszerét mutatja be a *31.7. táblázat*.

**Panaszok.** Az érintett régióra lokalizálódó fájdalom, ebből adódó gyengeség, fizikálisan duzzanat, mozgáskorlátozottság, krepitáció jelentkezhet.

A pontos diagnózishoz elengedhetetlen a *radiológiai vizsgálat*. Rutinszerűen a csuklóról és – elsősorban differenciáldiagnosztikai célzattal – a nyaki gerincről készül felvétel, a könyökről és a vállról csak lokális panasz és/vagy fizikális eltérés esetén.

*31.7.táblázat.* **A kéz-kar vibráció által okozott szenzoros károsodások stádiumbeosztása**
(Stockholm Workshop 86 skála)

| Stádium | Tünet |
|---|---|
| 0 | vibrációs expozíció, tünet nélkül |
| 1 | intermittáló zsibbadás, bizsergéssel vagy anélkül |
| 2 | intermittáló vagy állandó zsibbadás az érzékelés csökkenésével |
| 3 | intermittáló vagy állandó zsibbadás, a tapintási érzékelés csökkenésével és/vagy a képesség csökkenésével |

Az oszteoartikuláris elváltozások közül a kéztőcsontok *aszeptikus necrosis*a 25 éven felül, továbbá a – főleg a könyökízületben fellépő – *osteochondrosis dissecans* szinte specifikusnak tekinthető a vibrációs ártalomra. A degeneratív eltérések (*arthrosisok*) keletkezésében az – ezen munkák többségével együtt járó – egyoldalú és/vagy túlzott terhelés, illetve a kényszertartás is lényeges szerepet játszhat a vibráció mellett. A két noxa részaránya – a tudomány mai állása mellett – nem különíthető el, de mindkettő foglalkozási eredetű. A hagyományos radiológiai vizsgálattal biztosan el nem dönthető esetek diagnosztikájában ma már segítséget nyújthat a HRCT- és/vagy az MR-vizsgálat is.

A nyaki gerinc eltérései közül a jelen felfogás szerint csak a CV–DI csigolyák processus spinosusának fáradásos törése hozható összefüggésbe a vibrációs expozícióval, a gyakori degeneratív eltérések inkább a munkával járó kényszertartás és/vagy fizikai terhelés következményei.

Az újabb irodalmi adatok szerint a kéz–kar vibrációs expozícióban dolgozók kockázata *Dupuytren-kontraktúra* kifejlődésére az átlagnépesség kockázatának 2–2,5-szerese.

# *Egésztest-vibráció okozta ártalom*

Gyakorlatilag degeneratív jellegű gerincelváltozások (spondylosis, spondylarthrosis, discopathia, discushernia) jelentkeznek, rendszerint korai életkorban és súlyosabb formában, mint az átlagpopulációban. Leggyakrabban a lumbális szakaszon lépnek fel, specifikus klinikai és/vagy radiológiai tünetük nincs.

A vibrációs ártalom diagnózist az OMFI-ban – többnyire az Intézet Vibrációs Szakrendelésének vagy Foglalkozási Fekvőbeteg Osztályának vizsgálati leletei, valamint a munkahely, a foglalkozás-egészségügyi orvos vagy az ÁNTSZ által

szolgáltatott munkaanamnézis alapján – ma az erre a célra létesített Vibrációs Bizottság állítja fel, és dönt a betegség bejelentéséről. Ez akkor történik meg, ha az elváltozások – a leírt kritériumok szerint – elérik a betegség mértékét, így értelemszerűen a munkavégző-képességet, a munkaalkalmasságot is befolyásolják. A kezdeti, enyhe, a munkavégző-képességet még nem befolyásoló szubklinikus formák bejelentésre sem kerülnek.

## Differenciáldiagnosztika

**Érrendszeri eltérések**. Az elkülönítés szükségessége főként a – lényegesen csekélyebb létszámú – női alkalmazottak (pl. üvegcsiszolók) esetén merül fel, mivel a Raynaud-jelenséget okozó egyéb kórképek (primer Raynaud-szindróma, autoimmun betegségek) a körükben gyakoribbak. Eszközei az egyéb régiók ereinek a vizsgálata, pl. termográfia vagy Doppler-áramlásmérő segítségével, a kapillármikroszkópia, a nyaki borda kizárása, szükség esetén az intézeti kivizsgálás.

**Környéki idegrendszeri eltérések.** A felső végtagok – kéz–kar vibráció okozta – neuropathiáját elsősorban a diabéteszes és alkoholos eredetű polyneuropathiától kell elkülöníteni. Ennek fontos eszköze az alsó végtagok vizsgálata, mivel ezeket a kéz–kar vibráció nem károsítja.

A felső végtagi alagútszindrómák esetében segítséget nyújthat az egyéb eredetű analóg kórképek elkülönítésében a tünetek megjelenési idejének összevetése az expozíció kezdetének időpontjával.

**Oszteoartikuláris eltérések.** Az oszteonekrotikus folyamatok (kéztőcsont-necrosisok, osteochondrosis dissecans) leggyakoribb differenciáldiagnosztikai alternatívája az idiopátiás kórforma (főleg 24 éves kor alatt) és a szteroidkezelés. Az utóbbi felderítésében az anamnézis ad útbaigazítást.

Degeneratív jelenségek észlelésekor – a polyarthrosis kizárása – a nem exponált ízületek (legalább egy) radiológiai vizsgálata indokolt.

## Prognózis

A vibrációs ártalmak prognózisa *quo ad vitam et gangraenam* abszolút jó, *quo ad sanationem* viszont kedvezőtlen. A kórkép idült jellegű, a tünetek az esetek többségében – az expozíció megszűnte esetén is – makacsul perzisztálnak, és – ha az évek múltával enyhült formában is – rendszerint életük végéig elkísérik a betegeket.

## Terápia

Az egyetlen *oki* terápiás lehetőség az expozíció megszüntetése, melynek realizálását sokszor egzisztenciális problémák nehezítik. A *tüneti* kezelés eredményei szerények.

Raynaud-jelenség és angiopathia esetében a hidegexpozíció kerülésén kívül a kezek hiperemizáló értornája és fizioterápiája, a nikotinabsztinencia, organikus érelváltozások hiányában vazodilatátorok adása jön szóba.

A perifériás neuropathia fennállása alkoholabsztinenciát és B-vitamin-komplex-terápiát indokol. Megjegyzésre érdemes, hogy a vibrációs ártalom keretében jelentkező felső végtagi alagútszindrómák (CTS, TOS) műtéti megoldásának (ligamentum carpi transversum transsectio, az I. borda resectiója) eredményei messze elmaradnak az egyéb kórokú analóg kórképek műtéti eredményeitől, ezért konzervatív kezelésük részesítendő előnyben. Ez a CTS esetében a csukló kíméletét, éjszakai középállású sínezését, esetleg lokálisan szteroid adását, vállövi kompressziós szindróma fennállásakor TOS-torna alkalmazását jelenti.

Az oszteoartikuláris eltérések mozgásszervi kezelést és gondozást indokolnak. Az aszeptikus kéztőcsont-necrosisok esetében műtéti kezelés (az elhalt csont eltávolítása, szilikonprotézis beültetése, további fizikai terhelés szándéka esetén artrodézis) lehetősége is fennáll.

# *A munkavégző-képesség és a munkaalkalmasság megváltozása*

## *Kéz–kar vibrációs szindróma*

- A munkavégző-képesség és a munkaalkalmasság megváltozása szempontjából különösen lényeges hangsúlyozni, hogy a kéz–kar vibrációs szindróma okozta eltérések a fizikai munkavégzés legfontosabb eszközét, a felső végtagot érintik. A munkaképesség és a munkaalkalmasság megváltozásának mértékét az érintett szervrendszerek száma, az eltérések jellege és kiterjedése határozza meg.

### Érrendszer

Leglényegesebb vonása a kezek hidegérzékenységének fokozódása, az ujjak zsibbadása, fájdalma, esetleg elszíneződése, érzéketlenné válása hideg hatására, amely a balesetveszély lényeges fokozódásához vezet, és a munka abbahagyására kényszerítheti a beteget.

- Az érintettek tehát alkalmatlanná válnak a hideg környezetben végzett munkára.

### Környéki idegrendszer

Izolált károsodása ritka, ezt rendszerint nem is véleményezzük vibrációs eredetűek. Az esetek többségében az érrendszer, ritkábban az oszteoartikuláris rendszer eltéréseihez csatlakozik, az azok által okozott munkaképesség-csökkenést súlyosbítja.

- Jelentősége: szenzoros formája alkalmatlanná tesz az ujjak finom tapintóérzését igénylő munkák, motoros vagy szenzomotoros formája (erre legjellemzőbb a tartós erőkifejtésre való képtelenség, bizonyos idő elteltével a tárgy vagy munkadarab kiesik a kézből) pedig a közepes vagy a nehéz fizikai munka végzésére.

### Oszteoartikuláris rendszer

- Az aszeptikus kéztőcsont-necrosisok és az osteochondrosis dissecans – a szekunder arthrosisok megelőzése érdekében – véglegesen alkalmatlanná teszi a beteget a kéz–kar vibrációs expozíciót és a felső végtagok egyoldalú és/vagy túlzott fizikai igénybevételét jelentő munkakörök ellátására, hacsak nem történik meg – aszeptikus kézcsontnecrosis esetében – a csukló arthrodesise. A progresszió megelőzése vagy legalábbis késleltetése céljából ugyanez érvényes a tünetes és a funkcionális következményekkel járó arthrosisok esetében is. Az izolált csontszerkezeti eltérések (pl. a hipertrófiás osteoatrophia) nem csökkentik a munkavégző-képességet. A több szervrendszert érintő eltérések természetesen súlyosabban ítélendők meg, mint az egyes szervrendszerek izolált eltérései.

## *Egésztest-vibráció okozta gerinceltérések*

- A munkaképesség megváltozásának foka az eltérés súlyosságától függ. Súlyosabb formái (melyek nemegyszer műtétet is igényelnek) – mivel gerinckíméletet tesznek szükségessé – végleges alkalmatlanságot jelentenek a gerinc igénybevételét jelentő foglalkozásra.

## *A vibrációs ártalmak jogi megítélése*

A vibrációs ártalmak a 27/1996. (VIII.28.) NM rendelet 2. sz. melléklete értelmében a bejelentendő foglalkozási betegségek közé tartoznak. A kéz–kar vibrációs szindróma a 217/1997. (XII.1.)korm. rendelet 1. sz. melléklete 19. pontja alapján baleseti ellátásra (kártalanításra) is alapot nyújt.

## *A vibráció okozta károsodások értékelése*

A vibráció okozta érrendszeri, környéki idegrendszeri, mozgásszervi stb. károsodások értékelése az egyes fejezetekben leírt szabályok szerint történik.