

Az arzén tartalmú ivóvíz fogyasztásának egészségkockázata

Dr. Dura Gyula, Dr. Kádár Mihály, Dr. Rudnai Péter

Országos Környezetegészségügyi Intézet
Budapest, 1097 Gyáli ut 2-6.

Bevezetés

Az arzén a földkéregben gyakran megtalálható elem, talán az egyetlen olyan ivóvízben világszerte széles körben előforduló természetes eredetű anyag, amelynek mérgező hatása évezredek óta ismert. Gyakran úgy nevesítik, mint „a mérgek királya, a királyok mérge”. Rákkeltő hatásáról egyértelmű epidemiológiai bizonyítékokkal rendelkezünk.

A WHO Nemzetközi Ivóvíz Szabványa 1958-ban az arzén legnagyobb megengedhető koncentrációját 0,2 mg/literben (200 µg/liter) jelölte meg, majd 1963-ban ezt 50 µg/literre csökkentette, amelyet átmeneti felső határértékként az 1971. évi “Szabványban” is fenntartottak. Ugyanez az 50 µg/liter határérték jelent meg a WHO Ivóvízminőségi Irányelv 1984-ben kiadott 1. kötetében is. Az Irányelv 1993. évi 2. kiadása jelölte meg először a humán rákkeltésre vonatkozó aggályok alapján ideiglenes határértékként a 10 µg/litert. Ezt a határértéket a 2003. évi 3. és a 2011. évi 4. kiadás is fenntartja, azonban továbbra is ideiglenes határértékként. A határérték ideiglenes jellegét részben a kis koncentrációk tényleges kockázatával kapcsolatos jelentős bizonytalanság indokolja – beleértve a hatásmechanizmusra és a nagyobb koncentrációknál előforduló biológiai hatások kisebb koncentrációkra történő extrapolációjára vonatkozó bizonytalanságokat is –, másrészt viszont az ennél kisebb arzénkoncentrációk biztosításához szükséges vízkezelés gyakorlati nehézségei sem teszik egyelőre lehetővé ennél szigorúbb határérték ajánlását. Az Európai Unió az 1998-ban elfogadott 98/83/EK Irányelvben (az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről) átvette a WHO ajánlását, így az arzén 10 µg/literes határértéke 2003. december 25-ei hatállyal minden tagállamra kötelező.

Magyarországon az arzén jelenlétéről ivóvizeinkben sokáig alig rendelkezünk ismeretekkel, és az arzén nem is szerepelt az akkori ivóvíz-minőségi szabványban. A Duna-Tisza közén azonban előfordultak ivóvíz eredetű arzénnek tulajdonított bőrbetegségek, sőt halálos arzénmérgezések is, amiket elásott arzéntartalmú permetszereknek tulajdonítottak. A szennyezés forrásának keresésére végzett kutatások meglepő eredményei alapján 1981-ben a közüzemi vízművek körében országos felmérés kezdődött. Ekkor kiderült, hogy több mint 400.000 ember fogyaszt magas arzén tartalmú ivóvizet. 1983-ban kezdődött meg az első arzén-mentesítési program, amelynek eredményeképpen 1998-ra elérték, hogy a közüzemi vízellátásban részesülők szinte teljes mértékben az akkor hatályos 50 µg/literes határértéknek megfelelő arzéntartalmú ivóvizet kapjanak. Ugyanebben az évben jelent meg a fentebb említett Európai Irányelv, ami előrevetítette a további beavatkozások szükségességét. A határérték ötödére csökkenése az óriási erőfeszítések árán elért eredmények ellenére is a határérték feletti arzéntartalmú ivóvizet fogyasztó népesség jelentős növekedését eredményezte. Az Ivóvízminőség-javító Program előrehaladásának köszönhetően 10 µg/liter feletti arzén koncentrációjú ivóvízzel ellátott települések száma 490-ről 343-ra, az érintett lakosok szám a 1.680 ezerről 840 ezerre csökkent.

Az arzén ivóvizekben való előfordulása

Az ivóvízben a geokémiai eredetű arzén minden földrészen előfordul. Tipikus koncentrációja a felszíni vizekben általában 1-2 µg/liter vagy az alatt van. Ugyanakkor a felszín alatti vizek egyes területeken és bizonyos rétegekben ennél sokkal nagyobb, akár 5-10 mg/liter koncentrációban is tartalmazhatják. Az 1980-as évektől világszerte ugrásszerűen megnőtt a felismert arzénes hidrogeológiai területek száma. A világon 200 millió ember fogyaszt határérték feletti arzén tartalmú vizet. Európában is több ilyen terület van, kiemelkedő a Kárpát-medence keleti-délkeleti területei, ahol geológiailag fiatal üledékek laposan elhelyezkedő lassú talajvíz áramlású mélyedésekben gyűltek össze, vagy fokozottabb geotermikus tevékenységek érintették. Ezeken a területeken a XX. század első harmadától kezdődően az akkoriban sok áldozatot szedő fertőző betegségek kiküszöbölésére a felszíni eredetű szennyezéstől való védelem alapján egyre inkább a mély rétegekbe fúrt kutak váltak az ivóvíz forrásává. Ezek arzén tartalma a megfúrt rétegtől függően a néhány µg/liter és a 300 µg/liter között lehetett.

Az arzén expozíció

Arzén környezetben való általános elterjedtsége miatt igen kis mennyiségben mindenkinek a szervezetébe bekerül. Az arzén szájon át történő bevitelével kapcsolatos megfigyelések zöme nem véletlenül koncentrálnak az ivóvíz eredetű esetekre: az ivóvíz arzén tartalma gyakorlatilag teljes egészében szerves. Így pl. az 50 µg/liter arzéntartalmú ivóvíz fogyasztása napi 2 liter mennyiségben 100 µg/nap szerves – folyamatos és tartós – arzénbevitelt jelent szemben a tipikusan 20 µg/nap körüli élelmiszer eredetű bevitellel.

Az élelmiszerekkel és vízzel együttesen bejutó arzént az általános népességben a WHO 20-300 µg/nap közé teszi. Ez a nagy ingadozás a táplálkozás változatosságának tudható be. Az összes arzén bevitelnél sokkal nagyobb a szerves arzénbevitel jelentősége, mivel utóbbi a szerves arzénvegyületeknél sokszorta veszélyesebb. A WHO korlátozott adatok alapján az összes arzénbevitel átlagosan 25%-ára teszi a szerves arzén részarányát, azonban ettől szélsőségesen eltérő adatok is találhatók.

Az EFSA (Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság) 19 európai országra kiterjedő friss felmérése szerint egy átlagos fogyasztó élelmiszer és víz eredetű szerves arzén terhelése 0,13 -0,56 µg/kg testsúly/nap, az ezen belüli 2-3-szoros eltérések inkább a táplálkozási szokásokkal, mint az eltérő arzén előfordulásokkal látszottak összefüggeni. Az EFSA adatbázisa szerint a gabonatermékek, a kávé és a sör, a rizs és rizs-alapú termékek, valamint a halak és zöldségek teszik ki az európai fogyasztó szerves arzén bevitelének nagy részét. A (korábban nálunk is) sokszor hivatkozott tengeri hal és egyéb tengeri eredetű táplálék fogyasztása nagymértékben növeli az összes arzénbevitelt, de a szerves arzénét szinte alig. A szerves arzén részaránya (de nem a mennyisége) nagy elsősorban a húsokban és a tejtermékekben (75%), valamint a gabonaféleségekben és a baromfihúsban (65%) és kicsi a zöldség és gyümölcsfélékben és alig mutatható ki a tengeri eredetű élelmiszerekben. Újabb adatok arra utalnak, hogy egyes tápszerek nagyobb arzéntartalma miatt a táplálékkal történő arzénbevitel potenciális veszélyforrás a csecsemőkorban.

Humán biológiai monitorozás

Az arzén expozíció biomarkerekkel történő igazolásának, sőt mennyiségi jellemzésének is jelentős irodalma van, azonban ez az eszköz csak korlátozottan használható epidemiológiai célokra. A vizelet arzéntartalma az aktuális arzén expozíció legmegbízhatóbb jelzője, azonban

nagy arzén szinteknél figyelembe kell venni a táplálékkal bejutott nem toxikus arzén vegyületek (pl. hal-arzén, azaz arseno-betain) lehetőségét is. A vér arzéntartalmának mérése akut arzén mérgezettség esetében gyakori, de nem megfelelő kis arzén koncentráció krónikus bejutásának igazolására. Az 1-10 hónapos időtávlatban bekövetkezett krónikus expozíció értékes indikátora a haj és köröm arzéntartalma, azonban ez csak korlátozottan alkalmas kvantitatív következtetések levonására. A kvantitatív biomonitöring jól alkalmazható eszköze a vizelet kreatininre standardizált arzén mennyiségének vizsgálata. A tartós arzénexpozíció és a vizelettel ürülő arzén formák (monometil-, dimetil arzenit és arzenát) arányváltozása között kimutatott összefüggés is ígéretes eszköz lehet az expozíció és a genetikai polimorfizmus által meghatározott metabolizáció (nevezetesen a detoxifikáló képesség) jellemzésében.

A hatás monitorozása/diagnosztizálása fokozott expozíció esetén a jellegzetes tünetek (hiperpigmentáció, hiperkeratinizáció, anémia, hasmenés, perifériás neuropátia, stb.) együttes észlelésével lehetséges. A krónikus hatás diagnosztizálására mindenekelőtt a bőrelváltozások jönnek szóba.

Toxikokinetika és metabolizmus

Mind az öt vegyértékű arzenátok illetve a háromértékű arzenitek, mind a szerves arzén vegyületek könnyen felszívódnak az orális vagy légúti expozíciót követően, és eljutnak szinte minden szövetbe. Az eloszlás, a bevitel módjától és mennyiségétől függő arányban keletkező, eltérő toxicitású és felezési idejű metabolitok képződése valamint a megmaradó szerves arzénrel együtt a szervezetből való távozása viszonylag gyors: a felszívódott arzén 60 - 95%-a öt napon belül eltávozik a vizelettel. A bejutott arzén kis része kumulálódik a magas keratintartalmú szövetekben, ahonnan kiürülése lényegesen lassabban, 6-12 hónap alatt következik csak be.

Az arzén metabolikus transzformációja 2 lépésben történik. Először az As^V három vegyértékű arzenitté redukálódik, amely az S-adenozil-l-metionin révén mono-, di- és trimetil arzenné metilálódik. Az egyes emberek között jelentős különbség figyelhető meg a metilezés mértékében, kapacitásában, amely nem magyarázható kizárólag csak a felvett dózissal, életkor és nembeli különbségekkel, dohányzási szokással. Az arzén metilezéséről korábban úgy vélekedtek, hogy az detoxikációhoz vezet. A mono- és dimetil arzenit (MMA^{III} ill. DMA^{III}) in vitro genotoxikológiai vizsgálatai azt mutatták, hogy 1 μM alatti koncentrációban humán urotheliális sejt kultúrán malignus transzformációt és oxidatív stresszt váltanak ki. A szerves arzén hatásmechanizmusában meghatározó szerepet kap az oxidatív stressz (ROS képződés); a sejt proliferáció és transzformáció; a genotoxicitás (kromoszóma mutáció); a DNS repair gátlása; a szignál transzdukció és gén expresszió változás.

Az újabb kutatások egyre inkább hangsúlyozzák az arzén metabolizmusban fennálló genetikai különbségek jelentőségét, mivel ennek alapvető szerepe van a káros hatások jellemzésében.

Daganatkeltő anyagok esetében küszöbdózis csak akkor állapítható meg, ha azonosítják a releváns hatásmechanizmus(ok)at és igazolják lehetőleg in vivo teszt rendszerben a hatástalan dózist/koncentrációt. Az arzénről rendelkezésre álló adatok viszont nem teszik ezt lehetővé.

Az arzén egészségkárosító hatásai

Az ismert mérgező anyagok között talán az arzénrel kapcsolatban rendelkezünk a legtöbb ismerettel a különböző úton, dózisban és tartóssággal történt expozíció és annak káros hatásai tekintetében, mind embereken történt megfigyelések, mind állatkísérletek alapján. A szerves arzén vegyületeket a Nemzetközi Rákkutatási Ügynökség (IARC) 1. csoportú

human karcinogénként sorolta be. Az ivóvízben előforduló arzén jelentősége miatt csak a szájon át történő krónikus környezeti expozíció emberi egészségre gyakorolt hatásaival foglalkozunk.

A szervetlen arzén bizonyítottan bőr-, hólyag-, vese- és tüdődagadatot idéz elő. Kis koncentrációban történő tartós bevitel esetén ezenkívül többféle krónikus, nem-daganatos betegség előidézésében is szerepet játszik. Ilyenek pl. a bőr elszarusodásával és pigmentáltságának megváltozásával járó elváltozások, szív-és keringési megbetegedések, a perifériás és a központi idegrendszer rendellenességei, máj- és vesebetegségek és a cukorbetegség.

Az ivóvízzel kapcsolatban az arzén káros hatásaira vonatkozó emberen végzett megfigyelések többsége viszonylag magas arzénkoncentrációt tartalmazó ivóvizek fogyasztóira vonatkozott. A járványügyileg jól jellemzett tajvani, chilei, argentinai, bangladeshi, stb. esetekben az ivóvíz átlagos arzéntartalma általában jóval meghaladta a 0,1 mg/litert. Újabb megfigyelések kisebb arzén koncentrációk egyes hatásait is bizonyították pl. az Egyesült Államokban és Finnországban.

A legkisebb már káros hatással járó, ill. a legnagyobb még káros hatással nem járó koncentrációkkal kapcsolatos megfigyelésekről az irodalom sok adatot tartalmaz. Emberen a legalacsonyabb küszöbvel a bőrtünetek, köztük a bőrrák kockázata jellemezhető, de nem sokkal tér el az egyéb szervi rákok előidézésében szignifikánsan emelkedett kockázatúnak talált koncentrációk tartománya. A krónikus (esetenként élettartam) bevittel kapcsolatban megfigyelt káros hatásokhoz vezető legkisebb szint (LOAEL), ill. a rákos megbetegedések előidézésében CEL (Cancer Effect Level) 3 - 50 µg/testtömeg kg/nap közötti. Több tanulmány állapít meg olyan expozíciós szinteket, amelyek biztosan nem vezetnek a megfigyelés tárgyát képező káros hatásra (NOAEL); ezek legalacsonyabb értékei a 0,8 – 4,3 µg/testtömeg kg/nap közötti tartományban vannak. Noha ezek az adatok a megfigyelések helyének, a vonatkoztatási időtartamnak és az érintett populációk általános tápláltsági, genetikai és egyéb, az egyéni érzékenységet befolyásoló tényezőre vonatkozó sokfélesége miatt meglehetősen nagy bizonytalanságot tartalmaznak, néhány következtetés levonható belőlük.

Az arzén karcinogén hatására vonatkozó epidemiológiai adatokból – az alább ismertetett értékelés szerint – olyan következtetés is adódhat, hogy a természetes eredetű arzénnek átlagos bevitel esetén is van bizonyos, kismértékű egészségkockázata, azaz gyakorlatilag nem fordul elő olyan alacsony arzénkoncentrációval jellemezhető („arzén-mentes”) környezet, ahol a WHO által referencia karcinogenitási kockázatként megjelölt, élettartamra vetített 10^{-5} többlet daganat kockázat, mint célkitűzés reálisan teljesülhetne. Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala (USEPA) által alkalmazott ún. multistage modell alkalmazásával a bőrrákra számított referencia kockázathoz 0,17 µg/liter ivóvízi arzénkoncentráció tartozik. A fentebb említett tajvani epidemiológiai adatokból extrapolációval számított élettartamra vetített bőrrák kockázat a jelenlegi határérték figyelembevételével 6×10^{-4} (azaz 1:1666) és 50 µg/liternél 1-2:1000 közötti, míg az USA Nemzeti Kutatási Tanácsa (National Research Council) megállapítása szerint 50 µg/liter ivóvíz fogyasztása esetén a 70 éves élettartamra vetített összesített rák kockázat elérheti az 1:100 arányt. Az elemzés azt is megállapítja, hogy az arzén hatásmechanizmusáról nem áll rendelkezésre elegendő ismeret az alkalmazott lineáris vagy egyéb modell biológiai megalapozásához, és az így megállapított kockázatok túlbecsültek lehetnek. A bizonytalanságot növeli az élelmiszerek arzéntartalmának, azon belül is a szervetlen arzén részarányának nem kielégítő ismerete és az arzénnal szembeni érzékenységet alapvetően befolyásoló metabolizmus genetikai variabilitása, ill. annak nem kellően ismert és értékelt hatása.

Mindazonáltal nagyszámú, arzénnal különböző okok miatt exponált embereken végzett megfigyelés nagy valószínűséggel látszik azt bizonyítani, hogy a korábbi 50 µg/liter határérték tartós bevitel esetén nem jelent elegendő védelmet az arzén egyes káros hatásai

ellen. Bár ez a határérték nagyjából összhangban van a FAO és a WHO közös szakértő bizottsága (JEFCA) által megjelölt 2 µg/kg testsúly/nap legmagasabb megengedhető napi bevittel (PMTDI), újabb ezt az 1988-ban megállapított határértéket kritikák érik, miszerint túl engedékeny, különös tekintettel a kisgyermekkorú expozíció arzén kockázatainak tükrében. Ehhez a mennyiséghez pl. egy 70 kg testsúlyú ember és 10 µg/liter arzéntartalom esetén napi 2 liter ivóvíz elfogyasztása kb. 14%-ban járul hozzá. Az ATSDR és az US EPA minimális kockázati szint (MRL) meghatározása pl. Tseng et al. (1968) and Tseng (1977) ismert tajvani tanulmányaiban észlelt jellemző bőrléziókra vonatkozó dózis-hatás összefüggés alapján megállapított 0,85 µg/kg/nap NOAEL-ből indul ki, és a humán variabilitás miatti 3-szoros biztonsági faktorról számolva a 0,3 µg/kg/nap MRL-hez jut el.

Fel kell hívni a figyelmet az arzén hatás-kumulatív jellegére, azaz a viszonylag kis koncentrációban elszenvedett arzén expozíció káros hatásai, különösen a daganatok mindig csak hosszú látenciát követően, sokszor több évtized után jelentkeznek. Ilyen előfordulások még akkor is várhatók, ha maga az expozíció már régebben megszűnt.

Különös figyelmet érdemel az élet korai szakaszaiban (a magzati életben és gyermekkorban) elszenvedett arzén expozíció, mivel újabb adatok arra utalnak, hogy ezekben az időszakokban az arzén hatásaira nagyobb érzékenység áll fenn. Az arzén akadály nélkül átjut a méhlepényen és kedvezőtlen terhességi kimeneteleket idéz elő (abortusz, halvaszülés, koraszülés). Bár az anyatejjel táplált csecsemő védett az arzén bevittől, mivel az nem jut át az anyatejjel, az újszülött halálozás a terhesség alatti, ill. az anyatejes táplálást követő időszakban bevitt arzénnel bizonyítottan összefügg, sőt a legújabb adatok szerint éppen az elválasztott kisgyermek részére forgalmazott tápszerek – különösen a rizs-alapúak – jelentik az arzén bevétel egyik lehetséges veszélyforrását. Gyermekkorban a testtömeghez viszonyított táplálék- és vízfelvétel is nagyobb, mint felnőttkorban, ami az arzén-expozíció kockázatát is növeli.

A fejlődő szervezetben főleg az agy és az idegrendszer érzékeny az arzénre, bár ezzel kapcsolatban elsősorban állatkísérletes adatokkal, viszont kevés értékelhető epidemiológiai vizsgálati eredménnyel rendelkezünk. Különböző indiai, mexikói, tajvani és bangladeshi vizsgálatok alapján mégis egyértelműen bizonyított a korai gyermekkorban elszenvedett tartós arzénbevétel negatív hatása az idegrendszeri, intelligencia- és magatartásbeli fejlődésre. Az arzén tartalmú ivóvíz azért is kiemelten veszélyezteti a gyermekek egészségét, mert testsúlyukhoz képest ismertén több vizet isznak. Ezekon túlmenően frissen végzett felmérés bizonyítja, hogy a magzati élet során vagy a korai gyermekkorban elszenvedett arzén expozíció nagymértékben növeli a serdülő- és fiatal felnőttkorban előforduló daganatos és nem daganatos tüdőbetegségek kockázatát. Az arzén már kis koncentrációban mélyrehatóan befolyásolja a szervezet számos enzimrendszerét, és a magzati vagy korai életkorban elszenvedett expozíció tartós egészségkárosodásokat idézhet elő, köztük olyanokat is, amelyek csak jóval később, esetleg a felnőttkorban nyilvánulnak meg. Az is bizonyított, hogy ezeket a hatásokat a rossz tápláltsági állapot tovább súlyosbítja, ezért az arzén ivóvízzel történő expozíció különösen veszélyes lehet a rossz szociális állapotban levő családok gyermekeire nézve.

Előzetes hazai adatok

Az előzőekből látható, hogy az igen nagyszámú tanulmány ellenére van még bizonytalanság az arzén expozíció, metabolizmus, hatásmechanizmus és az arzén eredetű egészségkárosodás megítélésében. Ezért különös jelentőséggel bírnak a helyi vizsgálatok eredményei az ivóvízzel történő arzénexpozíció kockázatának megítélésében.

Európai Unió konzorciumi támogatással végzett felmérés (Arzén Egészségkockázat Becslés és Molekuláris Epidemiológia, angol rövidítéssel ASHRAM, 2002-2004) eredményei

szerint a nagy arzéntartalmú ivóvízzel leginkább érintett 4 magyarországi megyében a napsugár expozíció mértékét is figyelembe vevő becsült bőrrák kockázat a 10 µg/liter feletti arzénkoncentrációnál már szignifikánsan növekszik. Az élettartam alatti összes arzénbevitel illetve az élettartamhoz igazított napi átlagos arzén bevitel az egészségkockázat lényeges meghatározói.

Az ASHRAM vizsgálatokban (R. L. Hough, P. Rudnai, 2010) az élettartamhoz igazított ivóvíz átlagos arzén koncentrációit 1989-ben és 2002-2004 években 36,9 illetve 27,8 ug/L - nek találták. Az élettartamhoz igazított napi átlagos bevitel 42,8 illetve 35,98 ug/nap értéknek adódott.

Az élettartamhoz igazított napi átlagos arzén bevitel értékéből a többlet daganat kockázat - az orális karcinogenitási meredekségi tényező ismeretében – egyszerűen, az alábbi képlet szerint kiszámítható.

többlet daganat kockázat = LADD * CSF

ahol

LADD élettartamhoz igazított napi átlagos bevitel [mg/ttkg nap]

CSF karcinogenitási meredekségi tényező arzénre 0,0015 [1/(ug/ttkg nap)]

1. táblázat Élettartamhoz igazított napi átlagos bevitel* (ug/nap)

	n	átlag	n	Átlag
Bács megye	159	29,9	100	17,5
Békés megye	31	76,5	23	66,8
Csongrád megye	41	27,8	61	37,2
Jász-Nagykun- Szolnok megye	45	36,9	64	22,4
Összesen	276	42,8	248	35,98
LADD µg / ttkg nap:		0,61107		0,51393
CSF 0,0015 [1/(ug/ttkg nap)]				
Többletkockázat:		9,17E-04		7,71E-04

Az ASHRAM vizsgálat átlagértékeiből számolt többlet-daganatkockázat az 1989-es expozíciós szint alapján tízezerből 9-nek, a 2003-2004 évek expozíciós szintjén pedig tízezerből 7,7-nek adódott.

A 2003 évre a vizsgált megyék ivóvizére megállapított 28 ug/L átlagos arzén koncentráció 771×10^{-6} többlet-daganatkockázatot eredményezhet, amely a populációs szinten elfogadhatónak tekintett „egy eset az egymillióból” valószínűséget jelentősen meghaladja. Ha viszont a közlekedési balesetek valószínűségi értékéhez viszonyítunk, ami tízezerből néhány esetet jelent, akkor a számolt kockázat a közlekedési eredetű halálozási valószínűséghez hasonló mértékű. Igaz, a közlekedési kockázatot önkéntesen vállalja mindenki. Továbbá a nagyvárosokban a levegőszennyezettség, a PM10 határérték hosszúidejű túllépése évi hasonló nagyságrendű többlethalálozáshoz vezet. Úgy véljük, hogy a különböző eredetű kockázatok összehasonlítása a kockázatok érzékelését segíthetik elő.

Az ivóvízzel történő arzénbevitel kockázatainak kezelése

Az arzén határérték feletti koncentrációja az ivóvízben a nemzetközi szervezetek (WHO, EU Bizottság, US EPA) és a hazai jogi szabályozás egybehangzó és egyértelmű tudományos bizonyítékokon alapuló előírásai alapján kockázatkezelési intézkedéseket tesz szükségessé.

Elengedhetetlen a lakosság (ivóvíz-eredetű) arzén-terhelésének folyamatos nyomon követése és visszaszorítását célzó intézkedések (fokozott surveillance, üzemeltetés fokozott felügyelete, átmeneti ivóvízellátás előírása) elrendelése illetve végrehajtása. Különös figyelmet kell fordítani a lakosság, az önkormányzatok, egészségügyi és vízellátási szakmai szervezetek tájékoztatására, hiszen a víz arzén tartalma nem befolyásolja annak egyéb háztartási célra (fürdés, mosás, mosogatás, tisztítás, stb.) használhatóságát. Szoros együttműködésre van szükség az érdekelt kormányzati és területi közigazgatási, valamint nem kormányzati szervezetek és az érintett üzemeltetők között.

Felhasznált irodalom

Guidelines for Drinking Water Quality, 3rd ed. incorporating the first and second addenda Vol. 1. World Health Organization, 2008., Geneva
(http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3rev/en/index.html)

Toxicological Profile For Arsenic; U.S. Department of Health And Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (<http://www.atsdr.cdc.gov>)

Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document; Arsenic. Health Canada, Ottawa, Ontario (<http://www.healthcanada.gc.ca/waterquality>)

International Agency for Research on Cancer (IARC) - Summaries & Evaluations; ARSENIC IN DRINKING-WATER (<http://www.inchem.org/documents/iarc/vol84/84-01-arsenic.html>)

Environmental Health Criteria 224; ARSENIC AND ARSENIC COMPOUNDS; second edition, 2004. (<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc224.htm#11.1>)

Arsenic (WHO Food Additives Series24) -
<http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v024je08.htm>

Codex General Standard For Contaminants And Toxins In Food And Feed (Codex Stan 193-1995) p. 31. (<http://www.codexalimentarius.net>)

Tseng, WP, Chu HM, How SW, et al. 1968. Prevalence of skin cancer in an endemic area of chronic arsenicism in Taiwan. J Natl Cancer Inst 40:453-463.

Tseng, WP. 1977. Effects and dose-response relationships of cancer and Blackfoot disease with arsenic. Environ Health Perspect 19:109-119.

Fowler, B.A. (editor) (1983). Biological and environmental effects of Arsenic, Topics in Environmental Health, Elsevier Science Publisher, Amsterdam, New York, Oxford, Vol. 6.

Friberg, L., Nordberg, G.F. & Vook, V.B. (1986). Handbook on the toxicology of metals, 2nd edition, Elsevier Science Publisher, Amsterdam, New York, Vol. II, pp. 43-83.

Knashawn H. Morales et al.. Risk of Internal Cancers from Arsenic in Drinking Water (2000) Environmental Health Perspectives,108:655

- Marie Vahter (2008) Health Effects of Early Life Exposure to Arsenic (Mini Review). *Basic & Clinical Pharm. & Toxicol.*, 102:204-211
- RIVM report 734301022/2003 Quantifying Public Health Risk in the WHO Guidelines for Drinking Water Quality, A burden of disease approach; A.H. Havelaar, J.M. Melse.
- Anna-Lena Lindberg et al. Arsenic Exposure in Hungary, Romania and Slovakia (2006) *J. Environ. Monit.* 8:203-208.
- Rupert Lloyd Hough, P. Rudnai et al. *Int. Arch Occup Environ Health* (2010) 83:471–481
- Rudnai P. et al. Az ivóvíz arzéntartalmának kockázati szerepe 4 alföldi megye daganatos megbetegedéseiben. *Magyar Onkológia* 51:390
- Börzsönyi M., Bereczky A., Rudnai P., Csanády M., Horváth A: Epidemiological studies on human subjects exposed to arsenic in drinking water in southeast Hungary. *Arch. Toxicol* 66, 77-78, 1992
- Gulyás Emese, Rudnai Péter: A terhességi kimenetel összehasonlító elemzése két Jász-Nagykun-Szolnok megyei városban az ivóvíz eredetű arzén expozíció egészségkárosító hatásának vizsgálatára. *Egészségtudomány* 41, 137-144, 1997
- Vahter M, Fletcher T, Rudnai P, Goessler W, Leonardi G, Gurzau E, Koppova K, Lindberg AL: Urinary arsenic metabolites in relation to exposure via food and water. *Epidemiology* 2004; 15: S77-78
- Fletcher T, Hough R, Gurzau E, Koppova K, Rudnai P: Estimating past exposure to arsenic from drinking water from both residential and occupational sources. *Epidemiology* 2004; 15: S108-109
- Rudnai Péter, Varró Mihály János, Borsányi Mátyás, Páldy Anna, Szép Hajnalka: Az ivóvíz arzéntartalma és a spontán abortuszok gyakorisága közötti összefüggések Békés megyében. *Népegészségügyi Tudományos Társaság XIII. Nagygyűlése, Szekszárd, 2004. május 6-8. Előadás összefoglalók p. 109*
- Fletcher T, Leonardi G, Clemens F, Gurzau E, Koppova K, Rudnai P, Goessler W, Kumar R, Vahter M: Arsenic and cancer in Central Europe. *Epidemiology* 2005;16:S138
- Rudnai P., Varró M.J., Borsányi M, Páldy A, von Hoff K, Sárkány E. and Szép H: Arsenic in drinking water and pregnancy outcomes: an ecological study. *Epidemiology* 2006; 17(6 Suppl):S329-330
- Fletcher T, Leonardi G, Hough R, Goessler W, Gurzau E, Koppova K, Rudnai P, Clemens F, Kumar R, Vahter M: Long-term arsenic exposure and cancer risk – sensitivity to choice of indicators based on recent and lifetime arsenic intake. *Epidemiology* 2006; 17(6 Suppl):S307
- Anna-Lena Lindberg, Rajiv Kumar, Walter Goessler, Ranjit Thirumaran, Eugen Gurzau, Kvetoslava Koppova, Peter Rudnai, Giovanni Leonardi, Tony Fletcher, Marie Vahter: Metabolism of low dose inorganic arsenic in a Central European population – influence of gender and genetic polymorphisms. *Environmental Health Perspectives* 115:1081-1086 (2007); doi:10.1289/ehp.10026 (available at <http://dx.doi.org/>). Online 27 March 2007

Tony Fletcher T, Leonardi G, Goessler W, Gurzau E, Koppova K, Kumar R, Rudnai P, Vahter M: Arsenic in residential drinking water and cancer in Central Europe – the ASHRAM study. *Centr Europ J Occup Environ Med.* 14(1):37-38, 2008

Fletcher T, Leonardi G, Hough R, Goessler W, Gurzau E, Koppova K, Kumar R, Rudnai P, Vahter M: Lifetime exposure to arsenic in residential drinking water in Central Europe. *Epidemiology* 19(6), Suppl., S24, 2008