

Trícium belső sugárterhelés meghatározása vizeletből

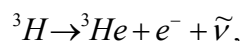
A gyakorlat célja: Vizelet trícium koncentrációjának mérése folyadék szcintillációs módszerrel. A lekötött effektív dózis kiszámítása egyszeri és ismételt trícium felvétel feltételezésével.

Tartalomjegyzék

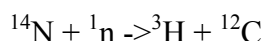
Tartalomjegyzék	2
Trícium a környezetünkben.....	3
HRTM modell	5
HATM modell	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
Tríciumtól származó lekötött effektív dózis meghatározásának folyamat	7
Transzport folyamatok	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
Vizelet trícium aktivitás koncentráció meghatározása	9
Laboratóriumi feltételek, műszerek, eszközök.....	10
Mintavétel	10
Minta előkészítés.....	10
Elválasztási technikák	10
Szín Quench csökkentés	11
Minta stabilitása	11
Minta mérése	12
Hatásfok meghatározások.....	12
STD addíciós módszere.....	12
Lekötött effektív dózis meghatározás	13
Egyszeri felvétel eset leírás	13
Retenciós hányados és a számításhoz szükséges adatok	14
Egyszeri felvételtől származó lekötött effektív dózis meghatározás	14
Ismételt felvétel eset leírása.....	15
Ismételt felvételtől származó lekötött effektív dózis meghatározás	16
Adatok közlése, értékelése.....	17
Gyakorlat elvégzése:.....	17
Felhasznált irodalom	17

Trícium a környezetünkben

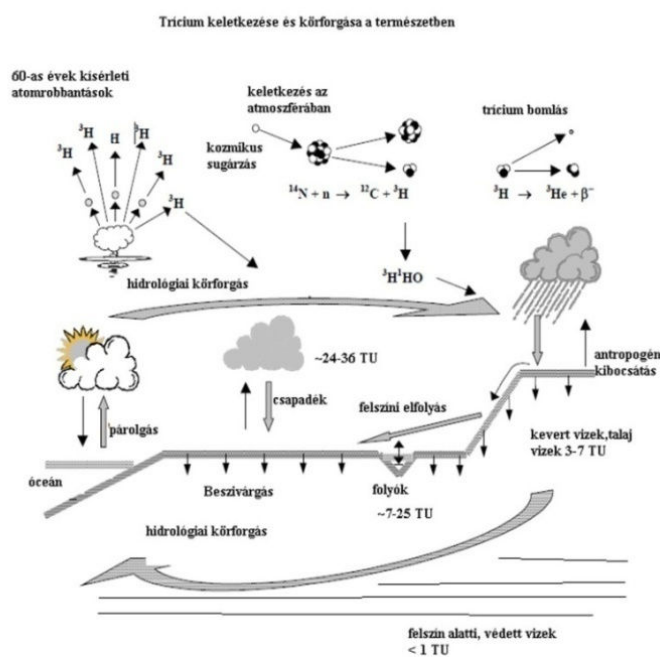
A trícium a hidrogén radioaktív izotópja. Atommagja egy protonból és két neutronból áll. Felezési ideje 12,32 év. A trícium tiszta bétabomló izotóp. Bomlási egyenlete:



Természetes körülmények között, kozmikus sugárzás hatására keletkezik a légkör nitrogénjéből az alábbi magreakció során:



Maximális béta energiája 18,6 keV. Mesterséges úton atomreaktorokban és légköri nukleáris kísérletek során keletkezik. A jelenlegi trícium aktivitás koncentráció a felszíni vizekben átlagosan (évszaktól függően) 1-3 Bq/l között változik. Ennek a trícium aktivitás koncentrációnak egy része kozmikus sugárzás eredetű, egy részét a nukleáris létesítmények bocsátják ki, egy része pedig a 1960-as évekig végzett nukleáris felszíni robbantások eredménye. A tríciumi fizikai és kémiai tulajdonságainak köszönhetően nagy ion-mozgékonyással rendelkezik. Ebből a tulajdonságából kifolyólag kiváló nyomjelző, felvétel esetén aránylag gyorsan-homogénean eloszlik a szervezetben.



Izotóp-hidrologiában származtatott mennyiségi egysége a TU (tritium unit, magyarul trícium egység). 1 TU víz esetében 0,118 Bq/l aktivitáskonzentrációnak felel meg.

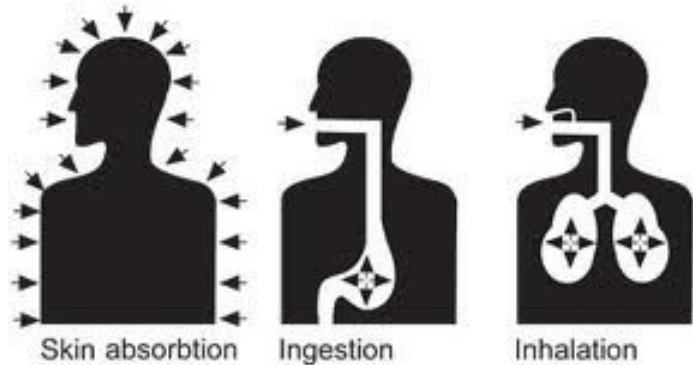
Tríciumtól származó belső sugárterhelés nukleáris létesítményekben dolgozóknál, tríciummal jelzett szerves vegyületek előállításánál, illetve gyógyszer kísérleteket végző személyeknél fordulhat elő. Belső terhelést, trícium kémiai formájától függően triciált víz HTO, trícium gáz T₂, vagy tríciummal jelzett szerves vegyületek OBT szervezetbe jutása okozhat. Orvosi diagnosztikában felhasználási formái a glutamin sav (in vitro farmakokinetika), szerotonin (in vitro enzim kinetika), tymidin oldat (in vitro, allergia vizsgálat) és triciált víz. A szintézist végző laboratóriumokon kívül, a legtöbb alkalmazási területeken felhasznált trícium tartalmú vegyület kémiai formája ismert. Ez nagyban megkönnyíti a vizeletvizsgálat minta előkészítését.

Lekötött effektív dózis a napi gyűjtött vizelet minta folyadék szcintillációs mérésével határozható meg. Tríciummal való munka során a külső dózisterhelés elhanyagolhatóan kicsi mivel, a trícium bomlásából származó kis energiájú béta részecske a bőr felületén/gumikesztyűn azonnal elnyelődik.

Bevezetés

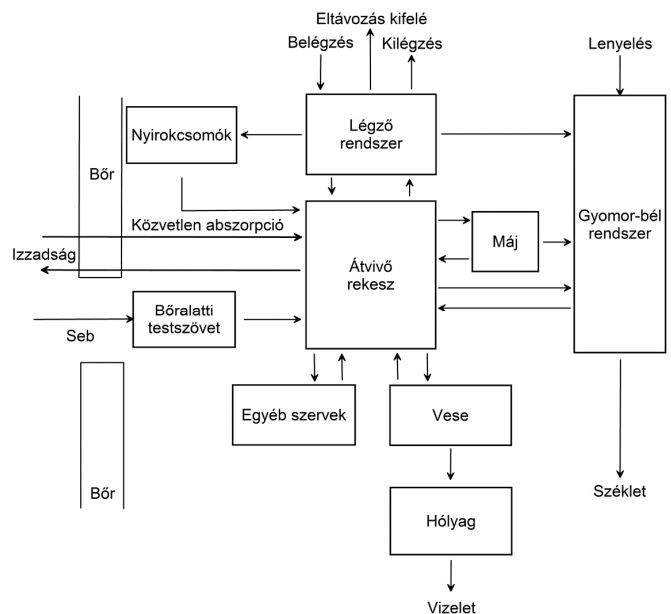
A személyeket érő sugárterhelésnek két fő típusa van: a külső és a belső sugárterhelés. Belső sugárterhelésről akkor beszélünk, ha radioaktív anyag kerül az emberi szervezetbe. A szervezetbe került radioaktív anyag fizikai és kémiai tulajdonságainak megfelelően részt vesz a szervezet anyagcsere-folyamataiban, és eközben a bekövetkező radioaktív bomlásból származó sugárzás az emberi szervezetben adja le energiáját, amivel sugárterhelést okoz.

A radioaktív anyag többféle módon kerülhet be a szervezetbe. Leggyakoribb módja a belégzés, amikor a levegőben található – általában aeroszolokhoz tapadt – radioaktív részecskék kerülnek a légzőszervekbe. Lenyelés útján az élelmiszerekben, ivóvízben található radioaktív anyag illetve izotópos munkahelyen a kezekre, tárgyakra került radioaktív anyag tud a szervezetbe jutni.



Ritkább felvételi utak a bőrön át történő felszívódás, mely testfelületi radioaktív szennyeződés esetén jellemző, illetve seben át történő bekerülés.

Az emberi testbe bejutott radioaktív anyag részt vesz a szervezetben végbemenő transzportfolyamatokban. A transzport folyamatok modellszerűen leírják a szervezetbe jutó és távozó radioaktív anyag útvonalát. A modellt úgy építik fel, hogy az emberi test egyes részeit egy-egy rekeszsel (kompartimentekkel) jellemzik. Gyakorlatban az emberi szervezet rekeszekből van felépítve, ahol az egyes rekeszekre definiálva van a radioaktív anyagnak a bejutási és kijutási hánnyada. (az ábrán a transzport folyamatokat összegző rekesz modell látható) A testben lévő radioaktív anyag mennyisége biológiai anyagcsere és radioaktív bomlás útján csökken. A fizikai bomlást a felezési idővel, az anyagcserét a biológiai felezési idővel jellemezzük.



A belső sugárterhelés meghatározása – szemben a külső sugárterheléssel – közvetlen méréssel nem lehetséges. Ehelyett azt közvetett úton, a szervezetben található radioaktív anyag mennyiségének mérése után számítással lehet meghatározni. A szervezetben található radioaktív anyag mennyiségének meghatározása a kibocsátott sugárzástól függően direkt vagy indirekt módszerrel történik. Áthatoló gamma sugárzást kibocsátó izotópok (^{60}Co , ^{131}I , ^{137}Cs) közvetlen módon mérhetők. Tisztán alfa- vagy béta-sugárzó izotópok (^3H , ^{14}C , ^{90}Sr , stb.), illetve amelyeknek csak kis intenzitású vagy alacsony energiájú gamma-vonalai vannak nem mérhetők közvetlen méréssel. Helyette az adott radionuklid meghatározására alkalmas analitikai eszközzel exkrétumokban (vizelet, széklet,

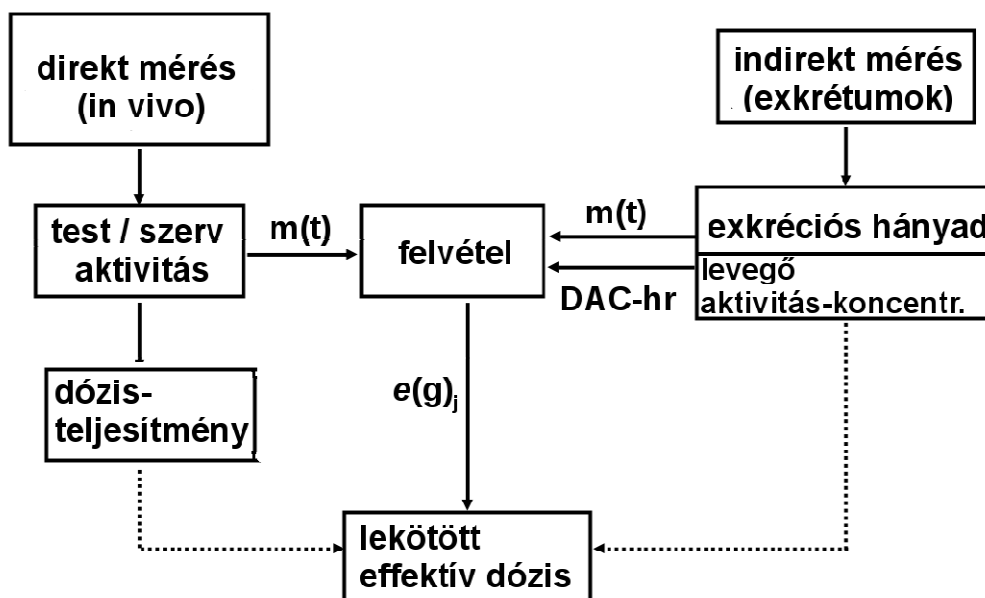
orrváladék) mérjük az aktivitást, és ebből számításos úton következtetünk a szervezetben található aktivitásra. A közvetett módszerek közé sorolható levegő-mintavevővel mért aktivitás-koncentráció alapján számított felvétel is.

A szervezetben található aktivitásból a dózis meghatározása számítással történik, amelyek során a biokinetikai folyamatokat kvantitatív modellekkel írják le. A modell (gyakorlatban differenciálegyenlet-rendszer) megoldása megadja az egyes szervek aktivitásának időbeli változását. A dózisszámítás azon alapul, hogy a forrásszervben bekövetkező bomlások mekkora energiát adnak le a különböző célszervekben, melynek során a testen belüli abszorpciós és szóródási viszonyokat kell figyelembe venni.

A lehetséges felvételi utak alapján a leggyakrabban használt biokinetikai modellek:

- az emberi légzőrendszer modellje (HRTM – human Respiratory Tract Model)
- az emberi emésztőrendszer modellje (HATM – Human Alimentary Tract Model)
- sértetlen bőrön keresztül történő abszorpció
- seben keresztül történő felvétel

A dózisszámítás során első lépésben a mért aktivitásból a felvétel mértékét határozzuk meg, majd ebből számítjuk ki, hogy a szervezetbe került radioaktív anyag mekkora dózist fog leadni. A belső sugárterhelés dozimetriája egy új dóziszfogalmat vezetett be: a *lekötött effektív dózis* azt jelenti, hogy a szervezetbe bekerült és onnan az élettani folyamatok és a fizikai bomlás révén kiürülő radioaktív anyag a teljes hátralevő élethosszra számolva mekkora effektív dózist fog leadni. Ezt az összetett számítást erre a célra fejlesztett számítógépprogramok segítik. A mérhető mennyiségek és a lekötött effektív dózis közötti kapcsolatrendszer illusztrálja a következő ábra



A mérhető mennyiségek és a lekötött effektív dózis közötti kapcsolatrendszer

Az emberi szervezetbe került radioizotópok részt vesznek a test biokinetikai folyamataiban, melyeket matematikai modellekkel lehet leírni.

Az emberi légzőrendszer modellje (HRTM modell)

HRTM modellt akkor használjuk, ha a radioaktív anyag belégzéssel kerül az emberi szervezetbe. Ez az eset gőzök-gázok légtérbe jutásakor, vagy aeroszólók képződésekor fordul elő. Az inkorporáció fegyelmezett munkavégzés védőfelszerelés mellett is előfordulhat.

A HRTM a légzőrendszer 5 különböző részét különbözteti meg:

1. ET a mellkason kívüli tartomány: ET1 elülső orrjárat
2. ET2 hátsó szájüreg: orr, garat, gége együtt
3. BB mellkasi rész: légcső és a hörgők + bb hörgőcskék
4. Al tüdőhólyagocskák
5. Nyirorendszer: LN_{TH} mellkasi nyirok rendszer+ LN_{ET} mellkason kívüli nyirok rendszer

A HRTM rendszerben különböző anyagmozgással járó transzport folyamatok a következők:

1. Lerakódás, vagy depozíció, mely mindenekelőtt a részecske mérettől (AMAD - Activity Median Aerodynamic Diameter), valamint a légzési paramétereiktől (munkavégzés jellege) függ. Referencia munkásra általában 5µm-es AMAD-dal és 31 l/perc légzési sebességgel számolunk.

Régió	Lerakódás %-ban, 5µm AMAD esetén
ET1	34
ET2	40
BB	1,8
bb	1,1
Al	5,3
Összesen	82,0

2. Tisztulás: több útvonalon keresztül történő folyamatok pl. orrfújáson keresztüli távozás, a gyomor-bél és a nyirorendszer felé történő ürülés, valamint részecskék abszorpciója a vérbe.

3. Oldódás: időtől függő folyamat, amelynek leírásánál megkülönböztetünk gyorsan és lassan feloldódó hányadokat

4. Abszorpció: A feloldott anyag a testnedvekbe való bekerülése gyakorlatilag azonnali folyamat. Az abszorpció sebessége az anyagi minőségtől, így a kémiai formától függ. gyorsaságától függően az anyagokat megkülönböztetjük:

- F gyors 100% abszorpció 10 perces felezési idővel (pl. alkálifémek, alkáliföldfémek halogénjei és nitrit vegyületei)
- M mérsékelt, 10 % abszorpció 10 perces, 90 % abszorpció 140 napos felezési idővel (pl. kalcium, magnézium, vas, szilícium oxidjai és hidroxid vegyületei)
- S lassú 0,1 % abszorpció 10 perces, 99,9 % abszorpció 7000 napos felezési idővel), (pl. króm, kobalt, réz, cérium, tórium,)
- V típusú anyag, 100 % azonnali abszorpció (pl. trícium)

Gázokat, gőzöket külön osztályozzuk:

1. SR-0 oldhatatlan gázok (pl. nemes gázok)
2. SR-1 ha nincs egyéb információ, 100% lerakódást kell feltételezni, (pl. hidrogén gáz, jód, szénmonoxid, higanygőz)
3. SR-2 jól oldható vegyületek, (pl. trícíált víz, trícium vegyületek, széndioxid, kénhidrogén, szerves szénvegyületek)

Az emberi gyomor-bél rendszer modellje (HATM modell)

A radioaktív anyag elsősorban lenyelés útján kerül az emberi szervezetbe, vagy közvetlenül, vagy a légzőrendszer tisztulása révén. Régiók:

1. Szájüreg
2. Nyelőcső
3. Gyomor
4. Vékonybél
5. Jobboldali felszálló vastagbél szakasz
6. Baloldali leszálló vastagbél szakasz
7. Végbél

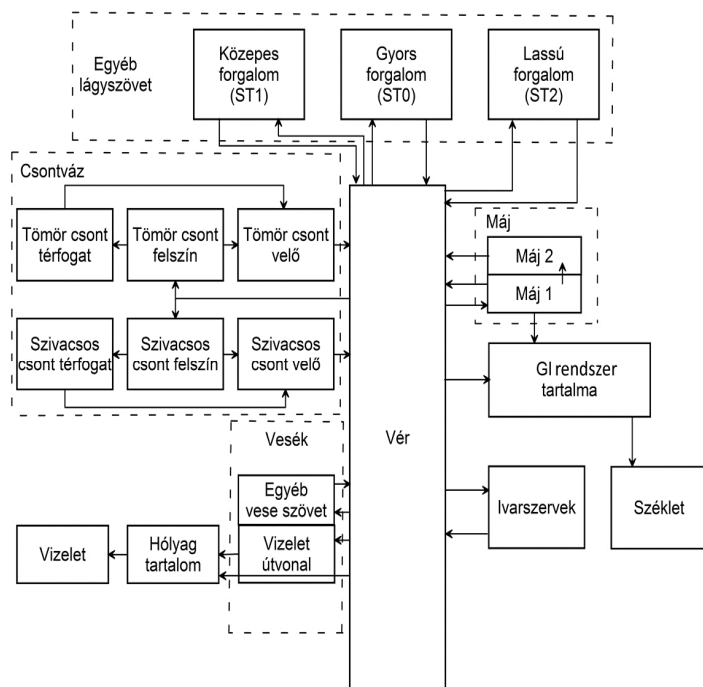
A HRTM és HATM továbbá egyéb biokinetikai rendszereket összesítve készült el a szisztémás biokinetikai rendszer, amely magába foglalja az HRTM és a HATM rendszerek közötti összefüggéseket.

A használt modellek azért fontosak, mert a lekötött effektív dózis számításánál a modellek tulajdonságaiból határozzuk meg a számításnál használt paramétereket.

A dózisszámítás során első lépésben a mért aktivitásból a felvétel mértékét határozzuk meg, majd ebből számítjuk ki, hogy a szervezetbe került radioaktív anyag mekkora dózist fog leadni. A belső sugárterhelés dozimetriája egy új dóziszfogalmat vezetett be: a *lekötött effektív dózis* azt jelenti, hogy a szervezetbe bekerült és onnan az élettani folyamatok és a fizikai bomlás révén kiürülő radioaktív anyag a teljes hátralevő élethosszra számolva (ált. 50 év), mekkora effektív dózist fog leadni.

Tríciumtól származó lekötött effektív dózis meghatározásának folyamata

A lekötött effektív dózist úgy határozzuk meg, hogy a mérési adatokból és felvételtől eltelt napok számából megpróbáljuk meghatározni a felvétel mennyiségét (Bq). Ha pontosan nem tudjuk a felvétel idejét, akkor a vizsgált személy munkavégzésének jellege alapján becsüljük meg. Erre az időpontra vonatkozóan a



biokinetikai modellek alapján kiszámítjuk az összes testbe jutott aktivitást és ezt a dózistényező segítségével számoljuk át lekötött effektív dózissra.

A felvétel meghatározásához használjuk az exkréciós hányadot, amely a felvételtől eltelt napok függvényében adja meg, hogy az ún. Referencia embert feltételezve a 24 órás mintavétellel nyert vizelet aktivitáskoncentrációja hogyan változik egységnyi felvétel esetén. Ez az arányszám azt mutatja, hogy pl. belélegzés esetén (V típus), 1 Bq HTO formában felvett trícium aktivitás hányad része jelenik meg az felvételtől eltelt t-ik napon a vizelet térfogategységében.

Felvételtől számított eltelt napok száma t	1Bq trícium felvételtől származó aktivitás hányad vizeletben f_t (Bq/l per Bq)
1	2,3E-02
2	2,1E-02
3	2,0E-02
4	1,9E-02
5	1,7E-02
6	1,6E-02
7	1,5E-02
8	1,4E-02
9	1,3E-02
10	1,2E-02
14	9,5E-03
15	8,9E-03
20	6,4E-03
30	3,4E-03
40	1,8E-03
45	1,4E-03
50	1,0E-03
60	6,2E-04
70	3,9E-04
80	3,0E-04
90	2,0E-04
100	1,5E-04
120	9,4E-05
180	3,1E-05
200	2,1E-05
300	3,8E-06
360	1,3E-06

Ha arányszámokat ábrázoljuk felvételtől eltelt napok függvényében látható a kezdetben közel 10 napos effektív felezési idő. Ezekből az arányszámokból azt is meg lehet becsülni, hogy a felvétel után eltelt t napon mennyi aktivitás koncentrációnak kell lennie a vizeletben.

Az I_0 felvételt az alábbi képlet alapján tudjuk kiszámítani:

$$I_0 [\text{Bq}] = \frac{a_t \left[\frac{\text{Bq}}{\text{l}} \right]}{f_t}$$

A H_t lekötött effektív dózist az alábbi képlettel tudjuk meghatározni:

$$H_t [Sv] = I_0 [Bq] \cdot e_{ff} \left[\frac{Sv}{Bq} \right]$$

a_t vizelet aktivitás koncentrációja t-napon

f_t t naphoz tartozó exkréciós hányad

e_{ff} effektív dózistényező

A felvételt szorozzuk az effektív dózis tényezővel így kapjuk meg a lekötött effektív dózist. Effektív dózis tényezőt HTO formára belégzés esetén (V) minden szervre $1,8 \cdot 10^{-11} [Sv/Bq]$.

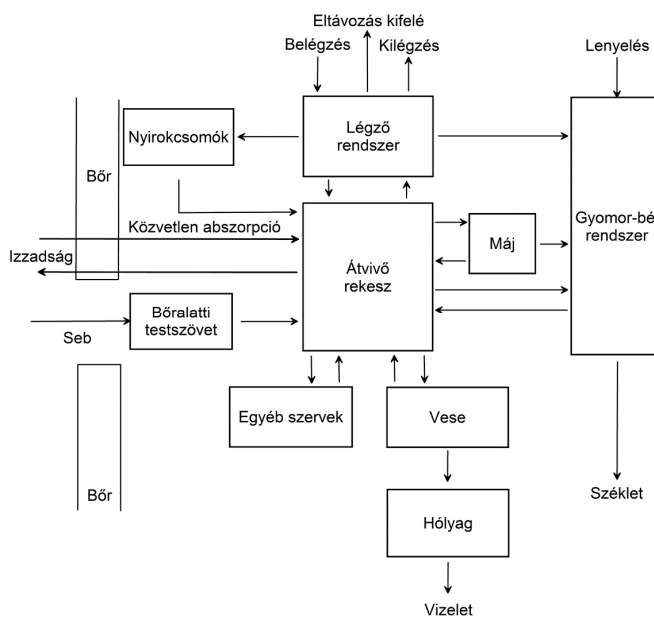
Effektív dózis tényezőnek trícium különböző kémiai formáira:

Trícium kémiai formája	Effektív dózistényező belégzés esetén [Sv/Bq]
H-3 (OTH)	$1,8 \cdot 10^{-11}$
H-3 o (OBT)	$4,1 \cdot 10^{-11}$
H-3 m	$1,8 \cdot 10^{-13}$
H-3 V	$1,8 \cdot 10^{-13}$

Pl. mérünk trícium vizelet aktivitás koncentrációt hetente, az érték $100 [Bq/l]$, ha feltételezzük, hogy egyszeri eseményből származik a felvétel, ami 7 nappal a mérés előtt történt. A mért értéket elosztva az 7 naphoz tartozó retenciós hányadossal $100 [Bq/l] / 0,015 [1/l] = 6666 [Bq]$ egész testre vonatkozó összes aktivitást kapunk (I_0 felvétel). Ezt az értéket be kell szorozni az effektív dózis tényezővel, így $6666 [Bq] \times 1,8 \cdot 10^{-11} [Sv/Bq] = 1,8 \cdot 10^{-7} [Sv]$ lekötött effektív dózist kapunk.

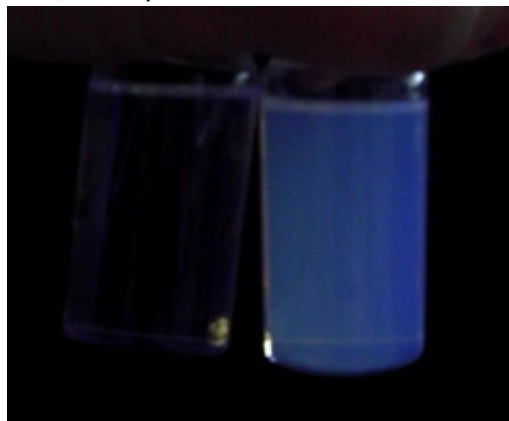
Természetesen egy adott szervezetben az effektív felezési idő eltérő lehet. Ez a trícium esetében jelentősen függ az elfogyasztott és kiválasztott folyadék mennyiségétől. A trícium a testszövetben lévő folyadékokban diffúziós folyamatok következtében gyorsan és homogéne oszlik el.

A szervezetbe HTO formában jutó Itrícium 97% megkötődik. Ebből az anyagmennyiségből 3,5%-9,9% szerves trícium tartalmú vegyület formába (OBT) alakul át. A HTO formában lévő trícium körülbelül 10 napos T_{eff} (effektív felezési idővel) ürül a szervezetből. Krónikus felvétel esetekben az OBT arány magasabb és a T_{eff} vegyület kémiai forma szerint változik.



Vizelet trícium aktivitás koncentráció meghatározása

Vizelet trícium aktivitás koncentrációjárt folyadék szcintillációs technikával mérjük. Ennek a technikának előnye az alacsonyabb alsó mérés határ, több sorozat minta mérése együtt, kis minta térfogatok, aránylag olcsó üzemeltetés, környezetbarát folyadék szcintillációs koktélok. A folyadék szcintillációs (LSC) technika egy indirekt mérési módszer, amelynél a mintában lévő izotóp bomlásából származó részecske és a mintához hozzáadott szcintillátor anyag kölcsönhatását, fény emisszió kíséri. (Isd. fénykép) Mivel a szcintillátor anyagot közvetlenül adjuk hozzá a mintához, ezért nagyon jó hatásfokkal mérhetőek az -alfa és a -béta részecskék is. Az folyadék szcintillációs spektrum folytonos, ezért izotóp specifikus mérést csak mintában lévő izotópok elválasztása után lehet végezni, illetve ha az vizsgálandó izotóp nagy részarányban van jelen a mintában. (pl.H-3/C-14 esetében 7:1) Tríciumot minta szeparáció nélkül csak nagyobb, nem természetes eredetű aktivitások esetén tudunk mérni. A tríciumot legjobban zavaró izotópok: C-14, I-125, Am-241, Co-60, S-35. Megfelelő aktivitás koncentráció arányoknál, amennyiben ismerjük a mintában lévő izotópokat, Duall-label módszerrel a mintából meghatározható egyszerre mind a két izotóp. A minta kémiai hatását a kibocsátott fény minőségére Quench hatásnak hívjuk. A Quench hatás a kibocsátott fény veszteségét, vagy a spektrum eltolódását okozza.



Laboratóriumi feltételek, műszerek, eszközök

1. Biztonságos üzemeltetés: elszívó fülke,
2. Kereszt szennyeződések kiküszöbölése: szeparált minta előkészítés és műszerszoba, mintatárolás külön, dekontaminálható felületek, szellőztetés biztosítása,
3. Stabil üzemeltetési paraméterek: hőmérséklet, szellőzés/nyomás, műszer szoba lesötétítése,
4. Trícium meghatározására alkalmas mérő berendezés: TRICARB (Packard), Quantulus (wallac).

Mintavétel

Minta vételből két típust használunk:

1. 24-órás gyűjtött vizelet minta: össze kell gyűjteni a napi összes vizeletet.
2. Munkakezdés előtti, vagy ellenőrző mintavétel: vizelet középsugárból kell mintát venni, legalább 100ml és ebből kell kivenni a méréshez megfelelő mennyiséget.

Mintavételi edények HTO trícium forma esetén szárított savazott PE edényzet. Egyéb OBT formáknál savazott és 120°C (30 min) szárított üveg edényzetbe kell venni a mintát. A mintavétel után, ha lehetséges pihentessük a mintákat (ülepedés), tárolás hűtőszekrényben.

Minta előkészítés

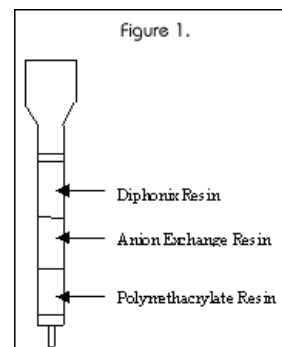
A vizelet az ürülő bilirubin és egyéb salakanyagok miatt sárga színű. Ez a sárga szín nem csak jelvestést okoz, hanem spektrum eltolódást is az alacsonyabb energia tartomány felé. Minta előkészítés célja:

1. Elválasztani a tríciumot a többi zavaró radioaktív izotóptól (Pl. C-14, K-40).
2. Csökkenteni a szín quench hatását.
3. Oldott anyag és pH stabilizálása (ne csapódjon ki az folyadék szcintillációs koktéllal).

Elválasztási technikák

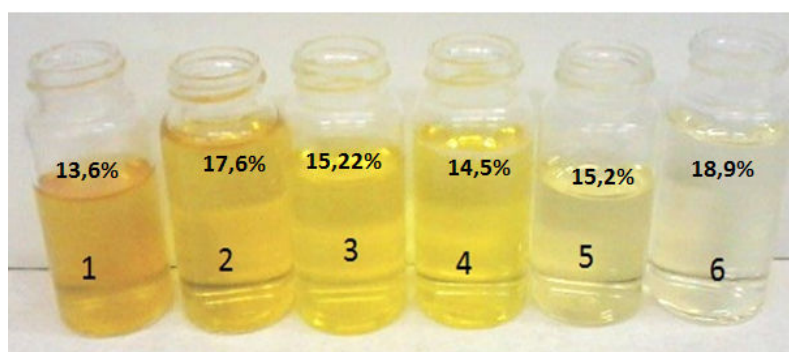
Minta elválasztás desztillációval: ha a minta nem tartalmaz C-14 illékony vegyületeket, vagy I-125 vegyületeket, akkor a trícium desztillációval szeparálható. A desztillációhoz használt üveg edényzetet használat előtt savazni kell és szárító szekrényben 120°C-on 30 percig szárítani. A desztilláció sebesség kb: 20ml/óra.

Minta elválasztás ioncserélő oszlopon: 25ml vizeletet tisztítására szolgáló minta előkészítés, amely helyettesíti a desztillációt. (anyag veszteség 8,9%)



Szín Quench csökkentés

Az erős sárga szín csökkenti a detektálási hatásfokot. A lenti képeken látható, hogy különböző színű vizelet minták között akár 5% hatásfok különbség is lehet. Az erős színhatás is még 10 szeres hígításban is szemmel látható a koktéllal összekevert mintákon. A desztillált vízből készített háttér minta detektálási hatásfoka 22%.



Szín Quench csökkentés egyik lehetősége a minta hígítás. Trícium hatásfok százalékban láthatóak különböző színű vizelet esetén.

Alkalmazott hígítási arányok: 1-3 ml natív vizelet minta + 10-15ml folyadék szcintillációs koktél.

Használható folyadék szcintillációs koktélok: Ultima gold LLT, Quanta Gold LLT, Toluol alapú POPOP, Insta-gél, Aquasol, Biofluor, Redy Solv HP, Toluol alapú PPO+POPOP koktélok

Minta stabilitása

A minta stabilitása alatt a minta és az folyadék szcintillációs koktél emúzió stabilitását értjük. (befolyásolhatja a mérési geometriát) A minta stabilitás azért fontos, mert a hosszú mérési idő alatt esetleg képződő gázok vagy egyéb vegyi anyagok miatt túlnyomás keletkezhet a küvetében, és így a minta elszennyezheti a műszert. A képződő vegyi anyagok befolyásolják a minta és a LSC koktél emúzió stabilitását, így a detektálási hatásfokunk a mérés alatt változhat. (Pl. kicsapódik a koktél)

Ezért a mintát pihentessük mérés előtt, ezzel a környezetből származó fénymemóriája is csökken (ez főleg kis aktivitásoknál fontos).

Minta mérése

Az előkészített és sötétben pihentetett minta egyedüli méréssel nem kiértékelhető. Minden méréshez kiegészítő mintákat kell mérni, amelyekből meghatározzuk a háttérrel, detektálási hatásfokot, és a mérési folyamat minőségét (QC minta). Minták mérési sorrendjét aktivitás alapján választjuk meg:

- Feltételezett legaktívabb minta vagy a hiteles anyagminta (STD)
- STD: azonos izotóp hiteles anyagmintája, amely a detektálási hatásfok meghatározásához kell.
- QC minta: (ha a STD mintánk egyben a QC mintánk, akkor nem szükséges)
- Háttér minta (desztillált boconádi): Nagyszámú minta sorozat esetén 10 mintánként egy ellenőrző háttér mintát mérünk. Ha a háttér minta közvetlen közelében nagyobb aktivitású minta van, akkor az háttér növekedést fog okozni.

Rutin méréseknél (1ml minta+ 10ml folyadék szcintillációs koktél, PE küvetta, Ht=13 cpm, 0,5-12 keV, TRICARB 2200CA) a mérési idő 15 perc (gyors ellenőrzésnél, nagy aktivitásnál), vagy 60 perc alacsony aktivitásoknál, környezeti aktivitásoknál 300 perc (3 ciklus x 100 perc) Ezek a beállítások készülék, labor környezet függőek.

Hatásfok meghatározások

A detektálási hatásfok függ a minta geometriai tulajdonságaitól (szín, minta arány, küvetta). A spektrumot befolyásolja a geometria, ezt a hatást quench paraméterrel jellemezzük. (tSiE, SIS, SQP) Minden mérésnél törekszünk az azonos quench paraméter hatásra, mivel így mindegyik mintánál azonos detektálási hatásfokkal számolhatunk. A quench paramétert a mérő műszer határozza meg. **A detektálási hatásfokot mindig az adott csatorna beállításra és az adott mérés geometriára vonatkoztatjuk.**

Detektálási hatásfok számítása:

$$\eta = \frac{I_{STD}}{A_{STD}}$$

I_{STD} = STD nettó mért impulzus száma [CPM]

A_{STD} = STD aktivitása [DPM]

STD addíciós módszere

Ha a vizelet minta trícium csúcsa nem megszokott tartományban mérhető, vagy nagyobb bemért minta esetén nem tudjuk korrigálni a színhatást, vagy pontosabb mérési eredményre van szükségünk. Ezekben az esetekben STD addíciós módszerrel határozzuk meg az adott mintára vonatkozó detektálási hatásfokot. Ehhez a mérésnél felsorolt mintákon kívül szükség van egy plusz mintára, amihez hiteles anyagminta formájában ismert mennyiségű trícium aktivitást adunk. (ügyelünk a mérési geometria megmaradására pl. 10 ml mintához legfeljebb 100µl STD oldatott adjunk)

STD addíciós módszernél a detektálási hatásfok meghatározása

$$\eta = \frac{I_{minta+STD} - I_{minta}}{A_{STD}}$$

$I_{minta+STD}$ = Minta + STD oldat nettó mért impulzus száma [CPM]

I_{minta} = Minta nettó mért impulzus száma [CPM]

A_{STD} = STD aktivitása [DPM]

Vizelet aktivitás koncentráció számítása

Aktivitás koncentrációt a mérési adatokból az alábbi képlettel határozzuk meg:

$$a = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{1}{60} \cdot \frac{1}{m} (I_{minta} - I_{háttér}) \left[\frac{\text{Bq}}{\text{ml}} \right]$$

a minta aktivitás koncentrációja [Bq/ml]

m bemért minta térfogata [ml]

η detektálási hatásfok [cpm/dpm]

I_{minta} mintából mért impulzus szám az adott tartományban [cpm]

$I_{háttér}$ háttér mintából mért impulzus szám az adott tartományban [cpm]

Mérési bizonytalanságot a mintavétel, minta előkészítés, mérés, kalibráció, háttér értékek mérési bizonytalanságából számoljuk ki pl. kombinált mérési bizonytalansággal. (ISO/IEC Guide 98:1993 Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM))

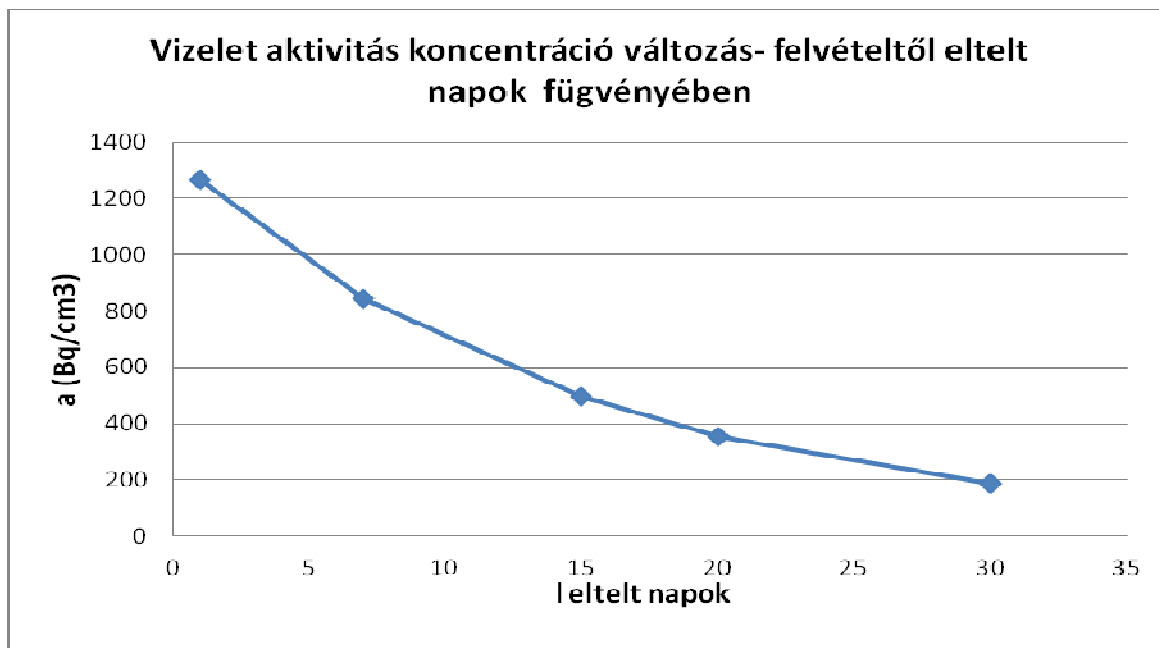
Lekötött effektív dózis meghatározás

Lekötött effektív dózisszámításnál több lehetőséget szemléltetünk. A számítást végezhetjük kézzel retenciós hányadosok segítségével vagy dózisszámoló szoftver segítségével. Mivel feltételezzük, hogy 1mSv effektív dózist meghaladó felvétel, olyan izotóp laboratóriumban/munkahelyen történt, ahol belső sugárterhelésre vonatkozó rutin ellenőrző rendszer működik, ezért ebből származó adatokkal fogunk számolni. **A rutin ellenőrző mérések általános problémája, hogy nem tudjuk pontosan a felvétel idejét.** Látni fogjuk, hogy ez a bizonytalanság, milyen eltérő lekötött effektív dózist eredményez. Ha pontosan tudjuk a felvétel idejét, akkor a számítás is sokkal pontosabb. Ez az eset gyakorlatban ritkán fordul elő.

Esetleírás egyszeri felvételnél

Munka közben HTO formában lévő trícium gázt lélegzett be egy 70 [kg] 35 éves férfimunkás. Figyelő rendszer alapján 14 naponként natív vizelet vizsgálat történt. Számoljuk ki különböző mintavételi lehetőségekre a lekötött effektív dózis. A számításnál feltételezzük, hogy a felvétel 55,5 [MBq] trícium, ami 1 [mSv] lekötött effektív dózissal felel meg.

55,5 MBq trícium felvétel esetében a vizelet aktivitás koncentrációnak az alábbi diagram alapján kellene változnia:



A számításához szükséges adatok

Lekötött effektív dózis tényező az adott felvételi eset paramétereinek alapján: $e_{ff} = 1,8 \cdot 10^{-11}$ [Sv/Bq]

Vizelet aktivitás koncentrációk változása időben táblázat:

felvételtől számított eltelt napok száma	1Bq trícium felvételtől származó aktivitás hányad vizeletben exkréciós hányad [Bq/l/Bq]	55,55MBq trícium felvétel esetén vizelet aktivitás koncentrációja a_1 [Bq/l]
1 mintavétel	2,28E-02	1,27E+06
2	2,13E-02	1,18E+06
3	1,99E-02	1,11E+06
4	1,86E-02	1,03E+06
5	1,74E-02	9,67E+05
6	1,63E-02	9,06E+05
7 mintavétel	1,52E-02	8,44E+05
8	1,42E-02	7,89E+05
9	1,33E-02	7,39E+05
10	1,24E-02	6,89E+05
14	9,52E-03	5,29E+05
15 mintavétel	8,91E-03	4,95E+05

Egyszeri felvételtől származó lekötött effektív dózis meghatározás

Felvételt követően 1 nappal és 15 nappal később történt a mintavétel.

Ha tudjuk, hogy $t=1$ nap a hozzá tartozó retenciós hányados 0,0228, akkor az egyszeri felvételt feltételezve a felvétel értéke (ICPR 1998 $I=M/m(t)$):

$$I_{t=0} = a_{1 \ t=1} + 0,0228 = 55,5 \text{ MBq}$$

Az felvételtől számított lekötött effektív dózis:

$$H_{t=1} = a_1 \div 0,0228 \cdot 1,8 \cdot 10^{-11} \cdot 1000 = 1 \text{ mSv}$$

$$a_{1 \text{ t}=1} = 1,27 \cdot 10^6 \text{ (Bq/l)}$$

$$e_{ff} = 1,8 \cdot 10^{-11} \text{ (Sv/Bq)}$$

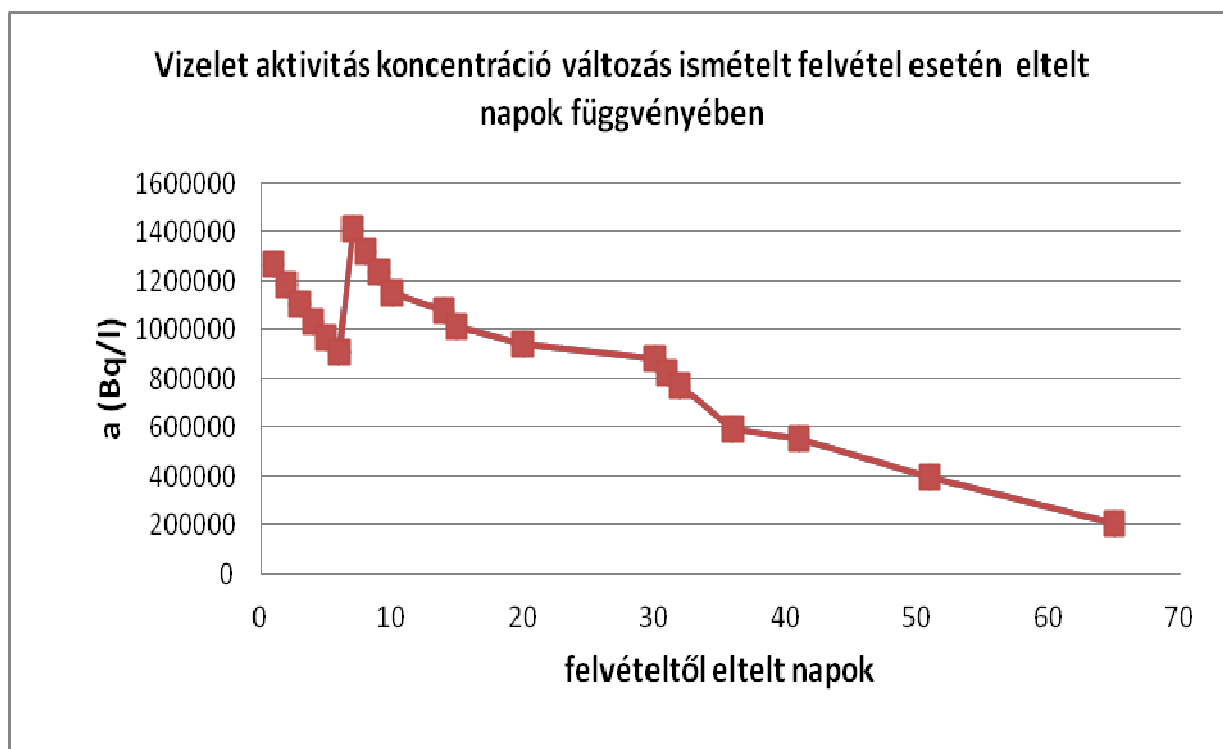
Lekötött effektív dózis meghatározás ismételt felvételek esetén

Többszörös felvétel esetén, ha ismert a második felvétel időpontja, akkor az első felvételtől meghatározzuk a t= második felvételt követő mérés időpontjára számított vizelet aktivitáskoncentrációt és ezt kivonjuk a t=második felvétel után mért aktivitáskoncentrációból. Az így kapott értékből számíthatjuk ki a második felvétel időpontjára az újlag felvett aktivitást, majd ebből a lekötött effektív dózist.

Ismételt felvétel eset leírása

A referencia dolgozó OTH gőzt lélegzik be. Mintavétel történik az inkorporációt követő következő napon t=1. Tovább dolgozik majd a 6-ik napon ismét OTH gőzt lélegzik be. A számolásnál feltételezzük hogy az első felvétel 55,5MBq [1mSv] a második felvétel 27,2 MBq [0,48mSv] trícium.

Vizelet trícium aktivitás koncentrációjának változása az alábbi diagramon látható:



Vizelet aktivitás koncentrációk változása időben táblázat:

Felvételtől számított eltelt napok száma	1Bq trícium felvételtől származó aktivitás hányad vizeletben [Bq/l/Bq]	trícium felvétel vizelet aktivitás koncentráció a_1 [Bq/l]
1	2,28E-02	1,27E+06
2	2,13E-02	1,18E+06
3	1,99E-02	1,11E+06
4	1,86E-02	1,03E+06
5	1,74E-02	9,67E+05
6	1,63E-02	9,06E+05
7	2,28E-02	1,41E+06
8	2,13E-02	1,32E+06

Ismételt felvételtől származó lekötött effektív dózis meghatározás

$t=1$ nap mérési eredményéből számított felvétel I_1

$$I_{1t=0} = a_{1t=1} + 0,0228 = 55,5 \text{ [MBq]}$$

$$H_{1t=1} = a_1 + 0,0228 \cdot 1,8 \cdot 10^{-11} \cdot 1000 = 1 \text{ [mSv]}$$

$t=7$ nap mérési eredménye 1413093 Bq/l. Ha tudom, hogy a trícium OTH *Teff effektív* ideje 10 [nap] kiszámolom, hogy az első felvétel 55,5MBq tríciumból mennyi aktivitás van még a 7-ik napon a testben:

$$I_{1t=7} = I_{t=0} \cdot e^{-\frac{0,692 \cdot 7}{10}} = 55,5 \cdot 0,693 = 34,1 \text{ [MBq]}$$

A $t=7$ napi mérésből kiszámolom, mennyi aktivitás van a testben összesen (korábbi és az új esemény együttes aktivitása)

$$I_{1+2t=7} = a_{1+2t=7} \div 0,0228 = 1413093 \div 0,0228 = 61,9 \text{ [MBq]}$$

$$I_{1+2t=7} = I_{1t=7} + I_{2t=1}$$

Kivonom a $I_{1+2t=7}$ felvételtől származó $t=7$ napon még a testben lévő $I_{t=0}$ -ból maradt $t=7$ napon lévő aktivitás megkapom az új felvételtől származó aktivitás növekményt (*IDEAS Guideline 27 old.*).

$$I_{2t=1} = I_{1+2t=7} - I_{1t=7} = 61,9 - 34,1 = 27,2 \text{ [MBq]}$$

$$H_{2t=1} = I_{2t=1} \cdot 1,8 \cdot 10^{-11} \cdot 1000 = 0,48 \text{ [mSv]}$$

Tehát a második felvételi esemény 27,2 [MBq] trícium aktivitás növelte a lekötött effektív dózist 0,4 [mSv] –el. A két lekötött effektív dózis összege a két felvételtől származó összes lekötött effektív dózis:

$$H_{1t=7} + H_{2t=1} = H_{\text{összes}} = 1 + 0,48 = 1,48 \text{ [mSv]}$$

Ha nem végzem el a fenti felvétel korrekciót, hanem a második felvétel utáni mérési adatból számolok, akkor a lekötött effektív dózis 1,1 [mSv]. Ha azt a hibát követem el, hogy az első felvétel

értéket, úgy számolom, mint ha 7 nappal korábbi felvételtől származott volna, akkor a lekötött effektív dózisa 1,3 [mSv] értéket kapok.

Adatok közzéte, értékelése

A felvételi esetek számításánál nagyon fontos az részletes esemény leírása. Külön részletezni kell a bejutás módját és minden egyéb olyan információt, ami később esetleg módosíthat a számításokon. A számításoknál fel kell tüntetni a paramétereiket, és a felvétel idejét vagy, hogy mi alapján becsültük meg az időpontot.

A mérési eredményeket jegyzőkönyvben rögzítjük. Esetleges hatósági vizsgálatkor ügyeljünk arra, hogy mindig aktuálisan kalibrált műszerrel és érvényes referencia anyagokkal dolgozzunk.

Gyakorlat elvégzése:

Feladat natív vizelet minta trícium aktivitás koncentráció meghatározása LSC mérés technikával.

1. mintavétel (önként jelentkező)
2. minta előkészítés (mintajelzés, QC készítés Mc értéknek megfelelően)
3. mérés (1 óra mérés) Mérés alatt számolási gyakorlatok elvégzése
4. kapott eredmények kiértékelése
5. Jegyzőkönyvkészítés

Felhasznált irodalom

1. Sugárvédelem című könyv, Fehér István, Deme Sándor, ELTE Eötvös Kiadó, 2010 ,Andrási Andor belső sugárterhelések fejezet
2. IDEAS General Guidelines (June 2006)
3. MI 19398-80 Tríciumtól származó belső sugár terhelés meghatározása vizelet analízissel
4. MSZ 62-7:2011 Ionizáló sugárzás elleni védelem
5. MARRSIM Revision 1. (2000)

Mellékletek

TRCARB 2200 CA típusú folyadék szcintillációs készülék használata:

A készüléket üzembe helyezése a bekapcsoló gombbal történik. Mérést csak akkor végezhető el, ha a termosztát megfelelő hőmérsékletre hűtötte a készüléket. Előkészített mintákat helyezük be a mintatartóba. Helyezzük a minta tartóba a megfelelő lovas.(lovas egy protokoll szám jelző, amely egy adott mérési procedúrát jelent.PI mérési idő és csatorna ablakozás) Ellenőrizzük az adott protokollhoz tartozó mérési beállításokat. F2 gombbal indítjuk el a mérést. Az F8 gombbal a spektrumokat lehet megnézni mérés közben. Mérés végén a készülék kinyomtatja az eredményeket. Az eredmények [cpm] értékiből számítsuk ki az mintához tartozó detektálási hatásfokot. Számítsuk ki a vizelet minta aktivitás koncentrációját. Az aktivitás koncentrációból határozzuk meg a lekötött effektív dózist egyszeri és ismételt felvétel esetén.