

## Középkori bűntény nyomában

2009. november 5-én régészek azzal a szándékkal ásták ki prágai sírhelyéből Tycho Brahe (1546-1601) testét, hogy tisztázzák a híres dán csillagász halálának okát. Feltételezések szerint ugyanis higanymérgezés végzett a tudóssal. A kutatók remélik, hogy a modern diagnosztikai eszközök tisztázzák Brahe kórtörténetét. A halál valódi okát csontjai, haja és ruházata maradványainak elemzésével szeretnék megtudni.



Ez a feladatsor Tycho Brahe halálának rejtélyén keresztül a higanymérgezés és a higanyszennyezés egyes problémáival is foglalkozik.

Tycho Brahe a középkorban közismert személyiség, igazi sztár-tudós volt – talán ahogyan ma mondanánk: celeb. Kapcsolatot tartott korának vezető tudósaival, politikusaival, számos uralkodóval (köztük a magyar Rudolf királlyal).

Tizennégy évesen, egy részleges napfogyatkozást látott Koppenhágában: ez meghatározta érdeklődését: kérdésen felül állt, hogy csillagászzal szeretne foglalkozni – noha szülei jogi pályára szánták. Pártfogója, II. Frigyes norvég és dán király Hven szigetén az akkori Európa talán legmodernebb (és korában leghíresebb) obszervatóriumát építtette meg Tycho Brahe számára: vállalva a műszerek

beszerzésének és a munkatársak bérének költségét is. Hven szigetén az „Urániborg”-ban (azaz „Az ég kapujában”, ahogyan Brahe nevezte) a csillagvizsgáló mellett gazdasági épületek, lakóépületek és nyomda illetve papírmalom is állt, hogy a friss eredményeket helyben publikálhassák.

Kalandos és számos fordulatban gazdag életének egyik epizódja során jellegzetes sérülést szerzett. Mikor a németországi Rostock egyetemén tanult, egy dán nemessel, bizonyos Manderup Parsbjerggel folytatott párbaja során (1566. december 29-én) elveszítette orrának egy részét. Maga a párbaj egy korábbi vita következménye volt: Lucas Bacmeister professzor házában, egy esküvői mulatság kapcsán Tycho már korábban összeszólalkozott Parsbjerggel – először 10-én, majd 27-én ismét. A két napra rá, az éj leple alatt zajló párbajban Tycho tehát elveszítette orrnyergét. Az eset következtében Tycho élénken érdeklődni kezdett az alkímia és az orvoslás tudománya iránt. Állítólag élete hátralévő részében arany és ezüst ötvözetéből álló, speciális ragasztó keverék segítségével rögzített műorrot viselt. Néhány kutató (így Fredric Ihren és Cecil Adams) szerint a pótorr rezet tartalmazott: Ihren például azt írja, hogy mikor a csillagász sírját 1901. június 24-én kihantolták, a koponyán a réz jelenlétére utaló zöldes foltokat találtak. Adams a tudós földi maradványainak vizsgálata során tapasztalt zöld színváltozással járó reakcióról beszél. Más történészek szerint Tycho Brahe számos protézist próbált ki, sőt esetleg felváltva viselte ezeket – talán a rézből készült orr kényelmesebb és könnyebb lehetett, mint a nemesfém-ötvözetből készült megoldás.



*1Jacob de Gheyn metszete: Tycho Brahe – a kép, amely állítólag Shakespeare-t is megihlette*

Tycho Brahe váratlanul halt meg, egy prágai díszvacsora után, pontosabban a bankettet követő tizenegyedik napon, 1601. október 24-én. Kepler jól értesült beszámolója nyomán tudjuk, hogy a díszvacsorán, szorult helyzete ellenére Tycho Brahe nem kívánta elhagyni a termet, hiszen az az udvari etikett megsértését jelentette volna. Miután azonban hazaért, már nem volt képes vizeletet üríteni – pontosabban: csak rendkívül csekély mennyiségben, óriási fájdalmak közepette. Közvetlenül halála előtt delíriumos állapotba került:

egyre azt hajtogatta, reméli, nem hiába élt. Halála előtt még sürgette Kepler, fejezze be a Rudolf-féle táblázatok című munkáját (melyet Kepler végül csak 1627-ben adat ki) és hogy ebben Kopernikusz tanai helyett Tycho saját bolygómozgásokról alkotott rendszerét veszi alapul.

Mások szerint Tycho Brahe halálának oka vesekő volt – de erre az 1901-es exhumálást követő vizsgálatok nem szolgáltak meggyőző bizonyítékokkal. A ma leginkább elfogadott nézet szerint a halál legvalószínűbb közvetlen oka az urémia<sup>1</sup> (krónikus veseelégtelenség) lehetett. De mitől állhattak le a vesék? Fertőzést kapott a híres tudós? Vagy talán meggyilkolták?

Számos elmélet szól arról, kinek és miért állhatott érdekében Tycho Brahe megmérgezése. Vannak, akik szerint maga IV. Keresztély dán király fizette a bérgyilkost – ennek az elméletnek a hívei szerint a híres csillagász volt egyik ihletője Shakespeare: Hamlet című drámájának is. Mások Keplert gyanúsítják – ennek ellentmondani látszik, hogy Kepler élete fő művéhez, a már említett Rudolf-táblákhoz

<sup>1</sup> Az urémia szó szerint húgyvérűséget jelent. Oka lehet előrehaladott vesekárosodás. Ilyenkor a vese szűrőteljesítményének nagyfokú csökkenése miatt a termelt vizeletben a szervezetből ürítendő anyagok mennyisége nagyon lecsökken, ezáltal azok felhalmozódnak a szervezetben, a vérben kimutatható koncentrációjuk megemelkedik. Az állapotot gyakran fáradékonyság, étvágytalanság, émelygés és bőrviszketés tünetei kísérik. Az urémia kezelés nélkül súlyos következményekkel, nem ritkán akár halállal járhat.

nagy nehézségek árán, fáradságot nem kímélve szerezte meg Tycho Brahe adatait annak családtagjaitól. Ismét mások úgy vélik, hogy a díszvacsorán egy jezsuita szerzetes csepegtetett mérget Tycho Brahe poharába.

Ha az indítékok felderítése négyszáz év távlatából nem is egyszerű, talán a gyilkosság ténye mégis bizonyítható.

1991-ben a Prágai Nemzeti Múzeum engedélyével Brahe náluk őrzött bajuszának egyes szálain Dániában tudományos tesztek végeztek. Az analízis során a mintákban a normális százszorosának számító higanytartalmat találtak.

A Múlt-kor történelmi portál cikke<sup>2</sup> szerint: *„Öt évvel később a Lundi Egyetem orvosai protonmikroszkóppal végeztek további tesztek, és ennek alapján az is kiderült, hogy a végzetes higany mennyiség a halál előtt 13 órával került Brahe testébe. Joshua Gilder amerikai szakértő akkor úgy vélte, hogy a merénylő higany kloridot használhatott, amelyet Brahe poharába csepegtetett, és ami bőven elegendő volt a biztos halálhoz.”*

Az eredmények azonban még mindig nem bizonyultak meggyőzőnek. Ezért a 2010-es exhumálás során a tudóscsoport mintegy 100 milligramm csontmintát, hajat, ruhamaradványokat illetve Brahe feleségének (aki híres férje után három évvel halt meg) feltételezett maradványaiból származó csontokat vett. Ezek vizsgálatával kívántak közelebb kerülni a rejtély megoldásához.

(1)

A tudományos eljárásokban a bizonyítékokat nagyon szigorú szempontok szerint értékelik.

- Megállapítható-e teljes bizonyossággal a csontmintákról, hogy azok Tycho Brahe feleségéhez tartoztak-e?

Nézz utána!

- Milyen szervezetben előforduló anyagok alapján azonosíthatnak teljes bizonyossággal egy személyt?
- Milyen maradványokkal, hogyan dolgoznak az azonosítás során?

---

<sup>2</sup> <http://www.mult-kor.hu/cikk.php?id=22977%C2%A0&pldx=2&print=1>

- Mikor állítható biztosan, hogy egy csontminta adott személytől származik? (10 pont)

(2)

- Okozhatta-e Tycho Brahe halálát az orr-implantátumból szervezetébe kerülő fém-szennyeződés? Válaszodat kémiai érvekkel indokold!

Nézz utána!

- Milyen típusú „zöldes színeződés” illetve „zöld színváltozás” köthető a réz jelenlétéhez? (10 pont)

(3)

Nézz utána az alábbi kérdéseknek, majd válaszaid alapján írd 10-15 soros érvelő szöveget! (10 pont)

- Milyen formában kerülhet a higany az emberi szervezetbe?
- Milyen tünetei vannak a higanymérgezésnek?
- Mire használták a higanyt Tycho Brahe idejében?
- Elképzelhető-e, hogy a tudós testében kimutatott nagy mennyiségű higany alkímiai illetve jatrokémiai kísérletei során került Tycho Brahe szervezetébe?

(4)

A Múlt-kor idézett cikke higany-kloridról beszél.

Nézz utána!

- Milyen fizikai, kémiai tulajdonságokkal rendelkezik a kalomel illetve a szublimát nevű higany-klorid?
- Honnan származik, mire utal hagyományos nevük?
- Mi a két vegyület kémiai neve?
- Kémiai tulajdonságaik alapján milyen élettani hatások köthetők ezekhez a higany-származékokhoz?

Eredményeidet foglalld táblázatba! Táblázatod alapján írd rövid beszámolót arról, melyik higany-klorid okozhatta Tycho Brahe halálát! (10 pont)

(5)

A kémiai nevek eredete utáni nyomozás is izgalmas összefüggéseket tárhat fel.

- A higany mely tulajdonságaira utalnak az alábbi idegen nyelvű nevei: hydrargyrum (ógörög), argentum vivum (latin), Quecksilber (német), mercury (angol)?
- Miért gondolhatta Schuszter János, a higany mai nevének megalkotója, hogy az addig a török nyelvből (könösü) magyarított kéneső névre hallgató elemet lehetne szerdanyinak is nevezni? (5 pont)

Tervezz a higany nevének eredetére, tulajdonságaira utaló „periódusos névjegyet”! A Periodic Table Printmaking Project talán inspirálhat ebben: <http://www.azuregrackle.com/periodictable/table/> ! (5 pont)

Az ENSZ és az Európai Unió is egyezményekben állapodott meg a higany-kibocsátás és a higany-származékok felhasználásának csökkentéséről. Az ENSZ Környezetvédelmi Programjának (UNEP) Globális Higany Programja (Global Mercury Program)<sup>3</sup> felmérte a higany-kibocsátással, szennyezéssel és annak ökológiai és egészségvédelmi vonatkozásaival kapcsolatos helyzetet, amelyet számos jelentésben (köztük a 2002-ben, Genfben kiadott Global Mercury Final Report-ban) tett közzé. Az alábbi feladatok ezekkel az adatokkal kapcsolatosak.

(6)

- Az alábbi táblázat alapján készíts diagramot, amelyen a különböző forrásból származó higany-mennyiségeket hasonlítod össze.
- Indokold meg, miért az adott diagram-típust választottad az összehasonlításhoz.
- Az elkészített diagram segítségével hasonlítsd össze az egyes higany expozíció értékeket! (10 pont)

Az adatok az ENSZ Egészségügyi Világszervezetének (WHO) 1990-es felméréséből származnak. Az adatok becslésen alapulnak, ugyanakkor egyes országok között

---

<sup>3</sup> <http://www.chem.unep.ch/MERCURY/Report/Final%20Assessment%20report.htm>

jelentős eltérések tapasztalhatók: például ott, ahol több tengeri halat fogyasztanak, a metil-higany mennyisége nagyobb lehet a táblázatban feltüntetett értékeknél.

*1. Táblázat Becsült napi higanyfelvétel és –tárolás (a szervezetben maradó higany mennyiségét a zárójelben feltüntetett adatok jelzik) átlagos életmódot folytató, nem higany-származékokkal dolgozó populációban. Az adatok µg/ nap egységekben értendők. (WHO/IPCS, 1991).*

Forrás/ Expozíció	elemi higany (higanygőzök)	szervetlen higanyvegyületek	metil-higany
levegő	0.03 (0.024)*	0.002 (0.001)	0.008 (0.0069)
amalgám fogtömés	3.8-21 (3-17)	0	0
étel			
- halfélék	0	0.60 (0.042)	2.4 (2.3)**
- egyéb	0	3.6 (0.25)	0
ivóvíz	0	0.050 (0.0035)	0
összesen	3.9-21 (3.1-17)	4.3 (0.3)	2.41 (2.31)

Megjegyzés:

A zárójeles adatok felnőtt szervezetére vonatkoznak.

\* Ha a koncentráció városi területen 15 ng/m<sup>3</sup> (például égetőüzem közelében), az adat 0.3 (0.24) µg/nap értéket érne el.

\*\*Heti 100 g hal elfogyasztását feltételezve, a halban található higany-koncentrációt átlagosan 0.2 mg/kg-nak tekintve.

(7)

Az amerikai ATSDR (Toxikus Anyagok és Betegségek Ellenőrző Hivatala) szerint például a szervezetből rendkívül kis mennyiségű (0,01%-nál kevesebb) fém higany szívódik fel, még akkor is, ha azt valaki lenyeli. Ha viszont ugyanezt a higanymennyiséget gőzként belélegzik, annak kb. 80%-a bekerül a véráramba, sőt a metil-higanynak (amely elsősorban a halakban és a tenger gyümölcseiben feldúsulhat) kb. 95%-a felszívódik a bélrendszerben<sup>4</sup>.

- A fenti adatok és a táblázat alapján számítsd ki, melyik a veszélyesebb: egy 5 éven keresztül viselt amalgám fogtömés vagy napi 100 gramm tengeri hal elfogyasztása? (10 pont)

<sup>4</sup> <http://www.labtestsonline.hu/tests/Mercury.html>

(8)

Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatalának<sup>5</sup> adatai az alábbi táblázatban láthatók. Az adatok kiszámításánál az alábbi átlagértékeket vették figyelembe:

- a fogyasztók átlagos testtömegét 72 kg-nak tekintették;
- egy halféléből készült étel esetén 0,23 kg hallal számoltak;
- egy hónapot 30,44 napos időtartamnak tekintettek;
- a szervezetben megengedett metil-higany esetén 0.1 µg/kg testtömeg napi értékkel kalkuláltak.
- A fenti adatok alapján ismételd meg a számítást a táblázat egyik, szabadon választott sora alapján!
- Havonta legfeljebb milyen tömegű halat fogyaszthatunk akkor, ha átlagosan 0,4 mg/kg metil-higanyt tartalmaz a hal szövete?
- Évente legfeljebb hányszor ehet halféléket egy 60 kg tömegű ember, ha a hal szervezetében mért metil-higany koncentráció 0,1 ppm?
- Készíts grafikont a táblázat adatainak felhasználásával. Fogalmazd meg, hogyan függ össze a halak metil-higany tartalma és az ajánlott halfogyasztás mértéke!
- Mekkora tömegű higany kerül be egy 72 kg-os ember szervezetébe, ha havonta négyszer fogyaszt 0,2 ppm metil-higanyt tartalmazó halat? (A szervezetbe a metil-higany 95%-a szívódik fel.)

Az EPA ajánlásai alapján a halfélék illetve a tengeri rák, kagyló fogyasztásakor a táplálék metil-higany tartalmának egészségügyi határértékére 0,3 mg/kg-ot állapítottak meg. Ehhez napi 17,5 gramm halféle elfogyasztását vették alapul.

- Hogyan viszonyul ez az egészségügyi határérték a halfogyasztással kapcsolatos EPA ajánlásokhoz? (Véleményedet számítással támaszd alá!)

(20 pont)

---

<sup>5</sup> US Environmental Protection Agency, EPA



II. Táblázat Az EPA halfogyasztással kapcsolatos ajánlásai a halak szöveteiben mért metil-higany értékek alapján (US EPA, 2001).

Halfogyasztás maximális gyakorisága havonta	A halszövet metil-higany koncentrációja (ppm = mg/kg, nedves tömeg)
16	> 0.03–0.06
12	> 0.06–0.08
8	> 0.08–0.12
4	> 0.12–0.24
3	> 0.24–0.32
2	> 0.32–0.48
1	> 0.48–0.97
0.5	> 0.97–1.9
nincs (<0.5)*	> 1.9

Megjegyzés:

\* nincs = egyáltalán nem javasolt a fogyasztása.

> jelentése "több mint" (például "> 0.06–0.08" esetén: "több mint 0.06-től 0.08-ig terjedő tartomány")

(9)

Az alábbi táblázat tanulmányozása után írd legalább tíz megállapítást a higany kibocsátásával kapcsolatban! (10 pont)

III. Táblázat Higany-emisszió az összes higany részarányában

Higany emisszió	Széntüzelésű hőerőművek	szénégetés – más források	Kőolaj égetése	Cementgyártás	Fémgyártás (kivéve vas)	Nyersvas és vas gyártása	Klór-alkáli vegyületek	Hulladékégetés	Egyéb	Az összes forrás átlaga
Hg <sup>0</sup> (g)	0.5	0.5	0.5	0.8	0.6	0.8	0.7	0.2	0.8	0.64
Hg(II)	0.4	0.4	0.4	0.15	0.3	0.15	0.3	0.6	0.15	0.285
Hg (kötött)	0.1	0.1	0.1	0.05	0.1	0.05	0	0.2	0.05	0.075

**Hasznos linkek:**

[http://www.nembulvar.hu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=402:tycho-brahe-a-csillagasz&catid=51:gondolkodo&Itemid=92](http://www.nembulvar.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=402:tycho-brahe-a-csillagasz&catid=51:gondolkodo&Itemid=92)

<http://www.hir24.hu/tudomany/170600/exhumaltak-tycho-brahet.html>

[http://hvg.hu/vilag/20101027\\_tycho\\_de\\_brahe\\_csillagasz\\_sir](http://hvg.hu/vilag/20101027_tycho_de_brahe_csillagasz_sir)

[http://csillagaszattortenet.csillagaszat.hu/egyetemes\\_kesokozepkor\\_csillagaszata/20040422\\_brahe.html](http://csillagaszattortenet.csillagaszat.hu/egyetemes_kesokozepkor_csillagaszata/20040422_brahe.html)

[http://csillagaszattortenet.csillagaszat.hu/egyetemes\\_kesokozepkor\\_csillagaszata/20081028\\_hamlet\\_csillaga.html](http://csillagaszattortenet.csillagaszat.hu/egyetemes_kesokozepkor_csillagaszata/20081028_hamlet_csillaga.html)

<http://www.hartnell.cc.ca.us/faculty/jhughey/Files/dnaextractionburnedbones.pdf>

[http://en.wikipedia.org/wiki/DNA\\_profiling](http://en.wikipedia.org/wiki/DNA_profiling)

[http://en.wikipedia.org/wiki/Forensic\\_archaeology](http://en.wikipedia.org/wiki/Forensic_archaeology)

<http://www.dgci.sote.hu/file.download.php?id=3332>

<http://www.space.com/9567-bones-danish-astronomer-tycho-brahe-yield-clues-death.html>

<http://www.kfki.hu/chemonet/hun/olvaso/histchem/alkem/jatro.html>

<http://www.kfki.hu/chemonet/hun/teazo/gyujt/elem.html>

<http://www.labtestsonline.hu/tests/Mercury.html>

<http://www.laboratoriumkft.hu/mintaveteli-es-egyeb-tajekoztato/metabolit-vizsgalati-modszerek/>