

Tiden op mod Tycho Brahes død

Af Kaare Lund Rasmussen, CHART, Institut for Fysik, Kemi og Farmaci, Syddansk Universitet

Prøver af hår og knogler fra Tycho Brahes jordiske rester er blevet analyseret med avancerede kemiske målemetoder. To hår, hver 2 cm lange, er blevet skåret over i fire stykker og analyseret hver for sig. Kviksølvkoncentrationen var inden for normalområdet. Det kan således afvises, at Tycho Brahe blev forgiftet med kviksølv hverken, kort før sin død eller tidligere i livet. Koncentrationerne af sølv og guld overskred imidlertid normalværdierne for den nulevende befolkning. De kemiske data tyder på, at Tycho Brahes liv af en eller anden grund ændrede sig radikalt omtrent to måneder før sin død.

Det var en efterårsaften i Prag den 13. oktober 1601. Den danske astronom Tycho Brahe var til et middags-selskab for samfundets spidser hos greve Peter Vok von Rosenberg. Dette var begyndelsen på enden af livet for den berømte danske astronom. Legenden siger, at Tycho Brahe døde som følge af en sprængt blære, fordi han ville følge etiketten; han ville ikke rejse sig og gå for at lade sit vand sig under middagen. Denne forklaring finder imidlertid ikke megen klangbund i den moderne lægeverden. Faktum er i hvert fald, at Tycho blev syg, tog hjem, gik til sengs og døde 11 dage senere – den 24. oktober 1601.



Figur 1: Tycho Brahe (1546-1601)

Således fortalt strækker Tychos sygehistorie 11 dage; med alle de konsekvenser dette har for de mulige diagnoser. Som det kan ses i figur 3, er der for nyligt publiceret nye målinger på Tycho Brahes jordiske rester, som på afgørende vis ændrer på dette billede.



Figur 2: Tycho Brahes jordiske rester som de så ud ved udgravningen i 1901.

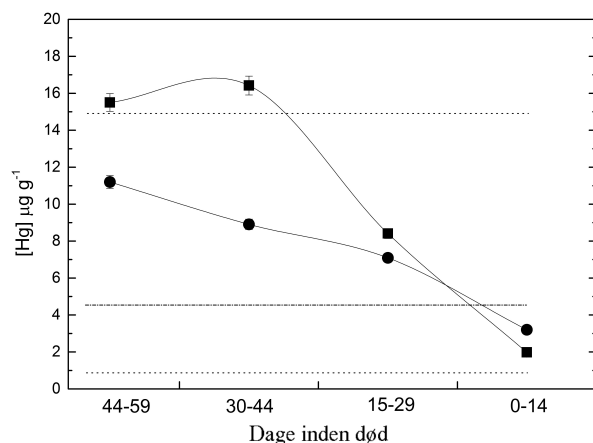
Tychos død har vedvarende været omgærdet af rygter om forgiftning. Mange så William Shakespeares skuespil Hamlet fra 1603 som en kommentar til Tycho Brahes mulige forgiftning, selvom der er flere andre mulige inspirationskilder til det berømte skuespil. Rygterne fortsatte gennem århundrederne og kulminerede i Gilder og Gilders bog fra 2004, hvori forfatterne kom med den groteske påstand, at det skulle være Johannes Kepler, der myrdede Tycho med kviksølv.

Dette var et af flere incitamenter til, at arkæolog Jens Velle fra Århus Universitet i 2010 samlede et forskerhold med både danske og tjekkiske forskere og fik lov til at genåbne Tycho Brahes grav.

Der var tale om en genåbning, for Tycho Brahes grav havde nemlig været åbnet en gang før. I 1901 drev nysgerrighed den tyske læge, Heinrich Matiega, til at søge om tilladelse til at åbne Tycho Brahes grav i Tyn Kirken i Prag. Tycho Brahes grav var forblevet lukket, siden hans kone Kirsten Barbara Jørgensdatter blev gravlagt ved hans side tre år efter sin mands død. Matiega havde tilsyneladende ikke noget videnskabeligt mål med sin

undersøgelse – han ville simpelthen bare gerne se, om den navnkundige Tycho Brahe virkelig lå i sin grav. Det viste sig, at det gjorde han. Tychos jordiske rester blev taget op og vendt og drejet. Blandt andet blev det flotte røde silkeklæde, der blev fundet i graven, skåret i mange små firkanter, som blev delt ud som memento for dagen – man må vel sige: en slags souvenirs. Der blev sikret en prøve af Tychos skæg, som har henligget på Prags Bymuseum indtil vore dage. Efter en rum tid blev Tycho Brahes jordiske rester genbegravet i Tyn Kirken; nu svejset ind i en ca. én meter lang tinkiste. Ansigtsgnolen blev anbragt i en glasbeholder, som også var anbragt inde i tinkisten. Kirsten Jørgensdatters lig blev ikke rørt.

Den første undersøgelse af de nye prøver fra 2010 gik ud på at måle kviksølv i hår og knogler, med det formål at be- eller afkræfte om Tycho var blevet myrdet med kviksølv. Kviksølv blev målt med to forskellige analysemetoder. Den ene var radiokemisk neutronaktiveringsanalyse (RNAA) udført på reaktoren i Rez udenfor Prag. Den anden metode var koldtdampsatomabsorptionsspektroskopi (CV-AAS), der blev udført på Syddansk Universitet i Odense.



Figur 3: Kviksølvkoncentrationen i Tycho Brahes hår som funktion af tiden før døden målt ved hjælp af radiokemisk neutronaktiveringsanalyse.

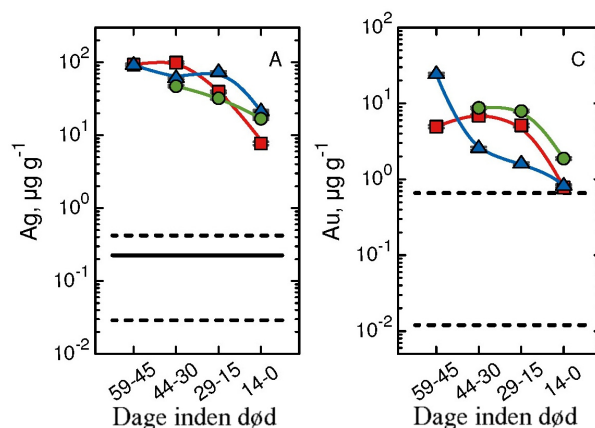
Nu har vi så kviksølv koncentrationerne målt med stor sikkerhed og på dekontaminerede prøver, men hvordan vurderer man disse tal? Hvad er normalt og hvad er forhøjet? Det er der lavet store undersøgelser over på nulevende mennesker med mange hundrede analyser. Samlet set viser disse undersøgelser, at normalniveauet ligger mellem 1 og 15 $\mu\text{g/g}$ [1]. Som det ses af figur 1, lå det ene hår helt indenfor normalområdet (fra 2 til 12 $\mu\text{g/g}$), mens det andet for to punkters vedkommende lå lige over, men ganske tæt ved normalområdet (omkring 16 $\mu\text{g/g}$).

Hvordan vil det se ud, hvis en person var kviksølvforgiftet? Det er også set i nyere tid, hvor mennesker af forskellige grunde har været udsat for eksponering med kviksølv. Ved en moderat kviksølvsforgiftning, hvor ofrene overlevede forgiftningen, lå koncentrationerne i håret på 200 – 800 $\mu\text{g/g}$ [2]. Fatal kviksølvsforgiftning, hvor ofrene altså ikke overlevede, har man heldigvis kun få af, og her har man kun kviksølvmålinger på blod-

prøver, men ekstrapolerer man den normalt accepterede sammenhæng mellem kviksølvskoncentrationerne i blod og hår [3], så ligger de anslåede kviksølvkoncentrationer i håret på over 10.000 $\mu\text{g/g}$ [4].

Resultatet af kviksølvmålingerne var meget klare [5]. Tycho Brahe var ikke blevet forgiftet med kviksølv. Han havde heller ikke tidligere i sit liv været udsat for kviksølv, hvad der for eksempel var tilfældet for Sir Isaac Newton [6]. Så der blev med disse målinger sat en effektiv stopper for rygterne omkring Johannes Keplers mordforsøg.

Den næste undersøgelse gik ud på at analysere Tycho Brahes hår og knogler for andre grundstoffer end kviksølv. Man kan aflæse mange aspekter af det levede liv ved at se på sporstofkoncentrationerne i knogler fra arkæologiske udgravninger. For eksempel kan strontium og barium afsløre, hvor man har opholdt sig; bly kan afsløre ens sociale klasse; og kviksølv hvorvidt man har været under medicinsk behandling i middelalderen (se detaljer i fx Rasmussen *m.fl.* [7, 8]). Målingerne blev udført med instrumentel neutronaktiveringsanalyse (INAA) i Prag og induktivt koblet plasmamassespektrometri (ICP-MS) udført i Odense. De fleste grundstoffer viste koncentrationer, som var forventelige, hvis man sammenligner med almindelige nulevende mennesker, men to af grundstofferne fandtes i bemærkelsesværdigt høje koncentrationer, nemlig guld og sølv. Det er klart ud fra målingerne, at Tycho Brahe må have været voldsomt eksponeret for både guld og sølv.



Figur 4: Grundstofferne sølv (Ag) og guld (Au) som funktion af tiden op mod Tycho Brahes død

Har nogen da forsøgt at slå Tycho ihjel med guld eller sølv? Næppe. Og det ville nok heller ikke være så let, da de fleste salte af disse grundstoffer ikke er specielt toksiske. Vi tror, der er en helt anden grund.

Tycho Brahe var umådelig rig. Dels havde han arvet mange penge, dels fik han store mængder penge af sin velynder, den danske konge Frederik II. Derfor er det helt tænkeligt og endda rimeligt at antage, at han spiste af guldallerkener, eller brugte knive og gafler af guld og sølv, eller drak vin af guldbægere. Måske drak han vin med bladguld i. Vi ved det ikke, men for lige netop ham, er et unormalt højt niveau af guld og sølv i knoglerne ikke så mærkeligt.

Det mest bemærkelsesværdige ved målingerne er derfor ikke selve koncentrationsniveauerne for guld og

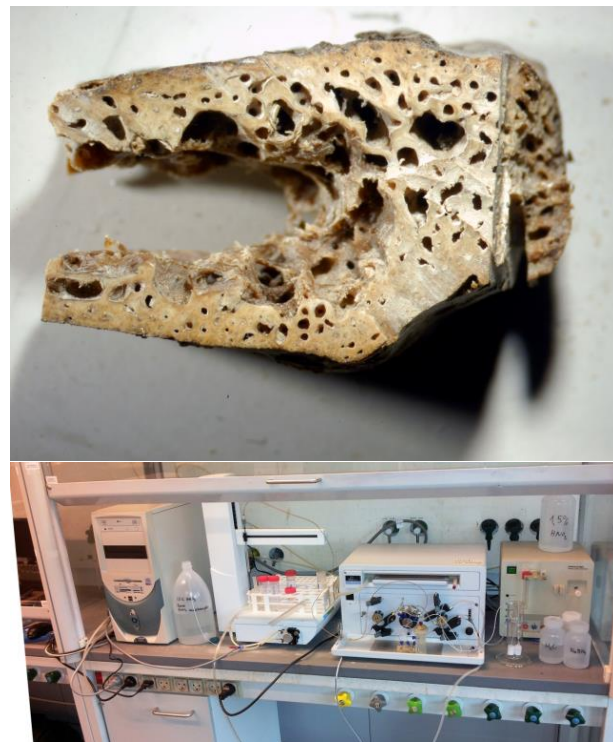
sølv. Faktisk er der heller ikke noget bemærkelsesværdigt ved koncentrationerne af nogen af de andre grundstoffer. Det spændende ligger i *variationerne* af koncentrationerne med tiden.



Figur 5: Observatoriet Uraniborg er et af Tycho Brahes observatorier på øen Hven i Øresund, opført omkring 1580.

Som man kan se af graferne, der viser sølv og guld som funktion af tiden, så sker der et konstant fald i koncentration helt fra to måneder før døden (så langt tilbage i tiden, som det 2 cm lange hår rakte). Samme tendens ses også i koncentrationerne af kviksølv. Det interessante her er, at den ændring, der sker i Tycho Brahes kost eller medicinering, ikke indtræder 11 dage før døden, men omtrent to måneder før døden (eller tidligere). Dette faktum betyder meget for udvalget af mulige diagnoser for, hvad Tycho Brahe kunne være død af. Der indtraf ubestrideligt en akut situation eller forværring den 13. oktober, men der var forudgående sket en ændring i hans liv cirka 2 måneder før, som havde betydet, at hans kost eller medicinering må have ændret sig drastisk. Præcis, hvad det var, der indtraf 2 måneder før døden, ved vi ikke, men sikkert er det, at vi nu har bevæget os væk fra det 400 år gamle scenarie med en akut indtrådt sygdom 11 dage før døden.

Hvad så fremadrettet? Der er stadig rigtigt meget at undersøge ved de prøver, som blev udtaget i 2010. Først og fremmest venter undersøgelserne af Kirsten Jørgensdatter, der levede tæt og trofast sammen med Tycho gennem godt og ondt. De to har utvivlsomt spist den samme mad, rejst de samme steder hen gennem næsten 30 år. De forskelle, der måtte være i grundstofsammensætningen af de to mennesker, kan måske skyldes Tychos astronomiske eller kemiske arbejde. Måske vil det være muligt at afsløre nogle hidtil ukendte aspekter af Tycho Brahes videnskabelige arbejder, for eksempel om han eksperimenterede med alkymi – ligesom sin søster.



Figur 6: Knogleprøve med spongiøst væv af Tycho Brahe og CV-AAS apparatur.

Radiokemisk neutronaktiveringsanalyse (RNAA)

Ved radiokemisk neutronaktiveringsanalyse anbringes prøven i en lille beholder, der sænkes ned i en atomreaktor sammen med andre prøver der indeholder kendte koncentrationer af de grundstoffer, som man ønsker at analysere for. Prøven udsættes for et bombardement af neutroner, der omdanner isotoperne i prøven til mere neutronrige udgaver. Nogle af disse er radioaktive. I denne undersøgelse omdannedes $^{202}\text{Hg} + n$ til ^{203}Hg , der er radioaktiv med en halveringstid på 46 dage. Prøven hejses op, beholderen knuses og prøven opløses i stærk syre. Opløsningen, der nu er stærkt radioaktiv, anbringes i en tæller bestående af en hul natriumiodidkrystal. Ved at sammenligne med tællertallene for de kendte prøver kan man nu beregne koncentrationen af kviksølv i prøven. Fordelen ved metoden er, at man opnår en meget lav detektionsgrænse, hvilket man i denne undersøgelse udnytter til at kunne måle prøver med en meget lille masse – et hår på kun 5 mm.

Instrumentel neutronaktiveringsanalyse (INAA)

Ved instrumentel neutronaktiveringsanalyse anbringes prøven i en lille beholder, der sænkes ned i en atomreaktor sammen med andre prøver der indeholder kendte koncentrationer af de grundstoffer, som man ønsker at analysere for. Prøven udsættes for et bombardement af neutroner, der omdanner isotoperne i prøven til mere neutronrige udgaver, hvoraf mange er radioaktive. Efter endt bestråling trækkes prøven op og anbringes på en meget følsom energidispersiv røntgenspektrometer tæller, der både kan tælle antallet af henfald og hvilken energi de har. Ved at sammenligne med tællertallene for de kendte prøver kan man nu beregne koncentrationen af flere grundstoffer i prøven – hvert grundstof har en karakteristisk energi i deres gammastråling.

Kolddamps-atomabsorptionsspektrometri analyse for kviksølv (CV-AAS)

Ved kolddampsatomabsorptionsspektrometrisk analyse bestemmer man kun et grundstof. Prøven opløses i stærk syre blandet med koncentreret hydrogenperoxid. Kviksølvet i prøven holdes på ionisk form ved at tilsætte kaliumpermanganat. Lige før målingen foretages blandes den med natriumborhydrid, hvorved kviksølv reduceres og bringes på dampform. En strøm af argon bobles igennem prøver og tvinger kviksølvdampen med sig. Gassen føres igennem en 30 cm lang cuvette med fine optiske vinduer i enderne. Lys fra en kviksølvlampe sendes ind ad det ene vindue, gennem gassen og opfanges af et spektrometer i den anden ende. Her måles absorptionsen fra kviksølvatomerne og ved hjælp af Lambert-Beers lov og en standardkurve fremstillet ved prøver af kendte koncentrationer beregnes kviksølvs-koncentrationen. Denne teknik er bedre end ICP-MS netop for kviksølv, når man måler på knoglemateriale, fordi bare en prøve med meget højt kviksølvindhold vil forurene de tynde slanger i ICP-MS'en i flere dage og dermed give en forhøjet baggrund. Ved CV-AAS er eventuelle store mængder kviksølv relativt hurtigt ude af systemet igen.

Induktivt koblet plasma masse spektrometri (ICP-MS)

Induktivt koblet plasma masse spektrometri fungerer på den måde at prøven bringes i opløsning i stærk syre og fortyndes passende. Dernæst forstøves væsken som små dråber, der blandes med en strøm af argon. Argongassen ioniseres og opvarmes til en temperatur på mellem 6000 og 10.000 grader C. Herved ioniseres også alle atomerne i prøvematerialet. Temperaturen er indstillet således at de fleste atomer kun ioniseres en gang (mister en elektron). Ionstrålen renses og konditioneres på forskellig vis og sendes til slut ind i et massespektrometer, i vores maskine en kvadropol. Sluttelig måles antal ioner per sekund i en tæller. Ud over prøven forbereder man en serie opløsninger af kendte koncentrationer af alle de grundstoffer man ønsker at måle, hvorved man kan fremstille kalibreringskurver for de ønskede grundstoffer. Maskinen har et lineært respons over et exceptionelt stort område, $1 : 10^9$ hvor f.eks. atomabsorptionsmaskiner normalt har her lineært responsområde på en faktor 100. Man bestemmer det enkelte grundstofs koncentration på nogle få millisekunder, men gentager bestemmelsen mange gange, så målingen af en suite af grundstoffer er afsluttet på få minutter.

Referencer

1. R. C. Baselt, *Disposition of toxic drugs and chemicals in man* (Biomedical Publications, Seal Beach, CA, 2011).
2. H. B. Gerstner, J. E. Huff, Clinical toxicology of mercury. *Journal of Toxicology and Environment Health* **2**, 491–526 (1977).
3. S. C. Foo., A. H. N. Y. Khoo, L. H. Chua, S. E. Chia, C. N. Ong, C. H. Ngim, J. Jeyaratnam, Metals in hair as biological indices for exposure. *International Archives of Occupational and Environmental Health* **65**, 583–6 (1993).
4. P. Triunfante, M. E. Soares, S. Santos, S. Tavares, H. Carmo, M. D. L. Bastos, Mercury fatal intoxication: two case reports. *Forensic Science International* **184**, e1–e6 (2009).
5. K. Rasmussen, J. Kučera, L. Skytte, J. Kameník, V. Havránek, J. Smolík, P. Velemínský, N. Lynnerup, J. Bruzek, J. Vellev, Was he murdered or was he not? – Part I: Analyses of mercury in the remains of Tycho Brahe. *Archaeometry*, 1187–1195 (2013).
6. M. Keynes, The personality of Isaac Newton. *Notes and Records of the Royal Society of London* **49**, 1–56 (1995).
7. K. Rasmussen, J. Boldsen, H. Kristensen, L. Skytte, K. Hansen, L. Mølholm, P. Grootes, M.-J. Nadeau, K. Eriksen, Mercury levels in Danish Medieval human bones. *Journal of Archaeological Science* **35**, 2295–2306 (2008).
8. K. Rasmussen, L. Skytte, A. Jensen, J. Boldsen, Comparison of mercury and lead levels in the bones of rural and urban populations in Southern Denmark and Northern Germany during the Middle Ages. *Journal of Archaeological Science: Reports* **3**, 358–370 (2015).



Kaare Lund Rasmussen er dr.scient. og lektor ved Institut for Fysik, Kemi og Farmaci ved Syddansk Universitet. Han leder forskningsgruppen CHART, der beskæftiger sig med kemiske analyser af kulturarvsmaterialer.