

PALEORADIOLÓGIAI VIZSGÁLATOK HATÁRON INNEN, HATÁRON TÚL

KISS KRISZTIÁN¹ – LIBOR CSILLA²Magyar Régészet 11. évf. (2022) 1. szám, pp. 8–16. <https://doi.org/10.36245/mr.2022.1.3>

Habár az antropológia és a régészet is sokszor külön utakon járt, az elmúlt évek publikációi bizonyítják, mennyire fontos e két terület együttműködése a megfelelő következtetések levonása érdekében. Ugyanakkor az ilyen projekteknél nem csak archaeozoológusok, fizikusok, vagy genetikusok, de radiológusok is részt vesznek. A képalkotó módszerek már a 19. század óta kiveszik részüket a múlt vizsgálatában. Nem csupán emberi vagy állati maradványokat, de régészeti emlékeket is vizsgálhatunk velük. Munkánk során dolgoztunk már kerámiaedényekkel, fémtárgyakkal, mumifikálódott emberi maradványokkal, ember- és állatcsontokkal. A radiológiai módszerekkel többletinformációt szerezhetünk a csontok belső szerkezetét illetően, vagy eddig nem látható hibák tárulnak szemünk elé egy kard esetében, illetve in situ vizsgálhatunk egy földlabdában fekvő, törékeny mellékletet. Jelen írásunkban a szakirodalomból és saját kutatási tapasztalatainkból merítve mutatjuk be a radiológiai módszerek elméleti hátterét, alkalmazhatóságukat az antropológia és a régészet területén, hangsúlyozva előnyeiket és korlátaikat is azzal a céllal, hogy a hazai szakmai közösség minél több tagját ösztönözhesük az ilyen jellegű módszerek alkalmazására.

Kulcsszavak: paleoradiológia, paleopatológia, röntgen, CT, humánbiológia

BEVEZETÉS

A régészet és az antropológia egyre szorosabban fonódik össze az utóbbi évek kutatásaiban. Ez egy általános jelenség a tudományban: sok, eddig saját útját járt diszciplína találkozik egymással, hogy még tovább bővítsék eddigi ismereteiket. A régészet elsősorban tárgyi forrásokon keresztül tárja elénk az emberiség múltját, és eközben évről évre egyre több természettudományos módszert integrál eszköztárába. Ez alól nem kivétel az orvostudományokhoz tartozó radiológia sem.

A paleoradiológia a régészeti kontextusból előkerült leletek radiológiai módszerekkel történő vizsgálatát jelenti, mely során valamely képalkotó módszerrel adatgyűjtés és megfelelő interpretálás céljából felvételeket készítünk. A paleoradiológia kutatások egészen a 19. század végéig nyúlnak vissza. Alighogy Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923) 1895-ben először leírta az általa X-sugárnak elnevezett jelenséget (DUNN 2001), Koenig (1896) már a következő évben emberi és állati múmiák tanulmányozásához alkalmazta az új felfedezést. A paleoradiológia, mint kifejezés megszületése viszont közel 100 évet váratott magára (NOTMAN ET AL. 1987).

Ezzel a képalkotó módszerrel vizsgálhatók nem csak emberi és más élőlényekhez tartozó maradványok, de régészeti tárgyak is (BECKETT 2014). Ezáltal olyan elváltozásokat tárhatnak a szemünk elé, melyeket makroszkóposan nem vehetnénk észre. Emellett végezhetünk kvantitatív elemzéseket is a csontok szerkezetét illetően. Akár erősen korrodálódott tárgyak különböző féمبرakásait, illetve készítésük technikáját is elemezhetjük, valamint edények anyagszerkezetét, készítési technikáját és tartalmát fedhetjük fel, esetleg nehezen hozzáférhető, vagy a törékenyséjük miatt nehezen vizsgálható mintákat (pl. szarkofágban fekvő múmia) is kutathatunk.

A klinikai vizsgálatokhoz képest előny, hogy a vizsgálati alanyok (csontok és egyéb régészeti tárgyak) sugárterhelésére nem kell figyelni (ALARA-elv³), így sokkal jobb minőségű felvételeket készíthetünk egy

¹ Eötvös Loránd Tudományegyetem, Embertani Tanszék, Magyar Természettudományi Múzeum, Embertani Tár, e-mail: kisskr@caesar.elte.hu

² Eötvös Loránd Tudományegyetem, Embertani Tanszék, Szent István Király Múzeum, e-mail: libor.csilla@szikm.hu

³ ALARA-elv – az angol nyelvű *As Low As Reasonably Available* kifejezésből adódó sugárvédelmi, képalkotó diagnosztikai alapelv, amely szerint a kívánt diagnosztikai eredményt az észszerűen elérhető legalacsonyabb sugárterheléssel kell biztosítani.

adott tárgyról, illetve maradványról annak érdekében, hogy minél több információt kaphassunk annak megtartási állapotáról, alapanyagáról, készítési módjáról. A csontok esetében figyelmesnek kell azonban lennünk, ha az adott mintán DNS vizsgálatot tervezünk végezni, annak ellenére, hogy egy kutatás szerint a hagyományos röntgen, CT és mikroCT gépek által használt sugárdózis nem éri el azt a kritikus értéket, mely kárt tehetne az értékes, paleogenetikai vizsgálatokhoz használható örökítőanyagban (IMMEL ET AL. 2016). Alternatívaként, ha a minta jellege megengedi, segítségül hívhatjuk a mágneses rezonancia általi képalkotást is (RÜHLI ET AL. 2007a; EPPENBERGER ET AL. 2018).

A jelen tanulmányban a hagyományos radiológia, a komputertomográfia (CT) és a mikro-komputertomográfia (mikroCT) működési elvét, a régészetben és az antropológiában való felhasználhatóságát, előnyeit, hátrányait és korlátait szeretnénk ismertetni a szakirodalom áttekintésével és saját kutatási példák bemutatásával.

MÓDSZEREK

Hagyományos radiológia

A hagyományos röntgenfelvételek elkészítésének feltétele, hogy a röntgensőben előállított röntgensugárzás elérje a filmet vagy digitális detektort úgy, hogy közben útját keresztesse a vizsgálati tárgy. A sugárgyengítési együttható írja le azt, hogy végül mennyi sugárzás jut át a vizsgálati anyagon és így mennyi éri el a detektort, ugyanis az átjutó sugarak mennyisége függ a vizsgálati anyag atomjainak rendszámától, sűrűségétől, vastagságától és a sugárzás hullámhosszától is (FRÁTER 2015). A röntgensugár alapvetően elfektetné a látott képet, azonban az útjába kerülő objektum tulajdonságaitól függően (pl. annak mérsz tartalma okán) elnyelheti azt, ezzel fehér mintázatot produkálva a felvételen (FRÁTER 2015; IMMEL, DiMEGLIO & BURR 2014).

Komputertomográfia

Egy hagyományos röntgenfelvétel esetén kétdimenziós, szummációs (összeadó jellegű) képet kapunk a mintánkról, tehát annak a háromdimenziós szerkezete elvész. Ez nehezítheti a képelemzést, hiszen pl. egy koponya különböző pontjai zavaróan átfedhetnek egymással. Ez a probléma részben kiküszöbölhető azzal, ha több irányból készítünk felvételt, ugyanakkor az igazi háromdimenziós információt a komputertomográfia segítségével kaphatjuk vissza. A CT gép úgy készít rengeteg különálló röntgenképet a vizsgálati alanyról, hogy a sugárforrás a vele szemben álló detektorral egyrészt végighalad a test tengelye mentén – mintha csak egy kenyeret szelnénk fel – (transzlációs mozgás), valamint minden egyes szeletnél megállva körbe is forog a test körül (rotációs mozgás). Az így begyűjtött információkat a számítógép képes 3D-ben rekonstruálni (FRÁTER 2015).

Mikro-komputertomográfia

A mikroCT a CT-hez hasonló elven működik, azonban térbeli felbontása az adott készüléktől függően a mikrométeres tartományban (3–500 μm) mozog (VÁSÁRHELYI ET AL. 2020). Ezáltal a kutatóknak lehetősége nyílik a mintát a fénymikroszkópokat megközelítő felbontásban, de mégis roncsolásmentesen „felszeleltetni” és háromdimenziós belső szerkezetét feltárni. A legtöbb ilyen készülékbe csak pár centiméteres minták férnek bele, cserébe viszont részletes kvantitatív méréseket is végezhetünk. A klinikai kutatások során gyakran vizsgálják egy-egy csontmintán a szivacsos- és kéregállomány egymáshoz viszonyított arányát, e két típus vastagságát, térfogatát, a szivacsos állományban lévő mikroszkopikus gerendák számát és a közöttük kialakuló kapcsolatok mennyiségét különböző betegségek jelenléte mellett (CAMPBELL & SOPHOCLEOUS 2014). Nem kizárt, hogy későbbiekben az ilyen jellegű vizsgálatok a bioarchaeológiai mintákon is gyakorivá válnak.

A RADIOLÓGIA ALKALMAZÁSA A RÉGÉSZETBEN ÉS ANTROPOLÓGIÁBAN

Kerámiák és fémek a röntgenső alatt

Nem csak a csontok, de kerámiák és fémek is őrizhetnek titkokat a felszín alatt. A 2021-es évben a Szent István Király Múzeumban beszerzésre került egy állatorvosok részére kifejlesztett mobil röntgenberendezés,

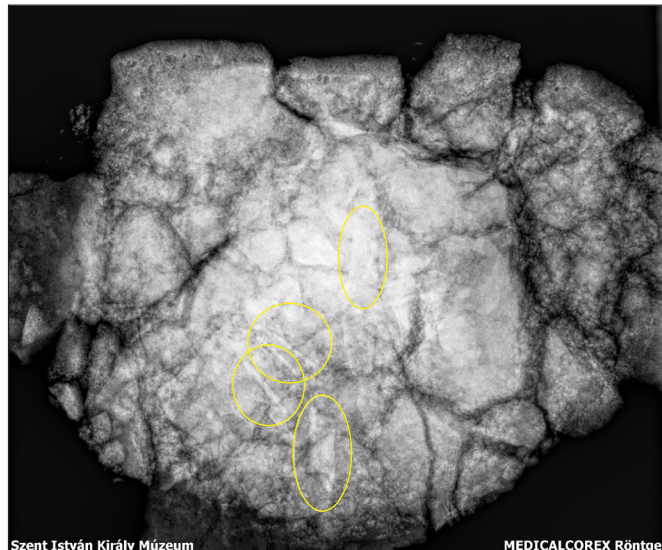
mellyel új távlatokat nyitva kutatásainkban már több lelet típuson kipróbálhattuk az eszközt. Egyik kiemelendő példánk a Csákberény-Arató-szerű lelőhelyen újonnan felfedezett avar kori temető kerámiamellékleteinek radiológiai elemzése. Az ásatás végeztével minden egyes ép kerámiaedényről röntgenfelvételt készítettünk még földdel teli, restaurálatlan állapotban azért, hogy minél több olyan értékes információhoz jussunk, amelyek a bontás, tisztítás, restaurálás során eltűnhetnek vagy sérülhetnek. Már az 1930-as évektől kezdve láthatunk példákat a szakirodalomban hasonló vizsgálatokra (BERG 2008; KARL ET AL. 2014; PÁLFALVI ET AL. 2021). Az edény profilja minden kézi mérést és rajzot felülmúlva tökéletesen láthatóvá vált, így az edény alakja a profilrajzzal együtt méretarányosan rögzítésre is került (1. kép). További előnye a röntgenezésnek, hogy a kézzel formált kerámiák esetében rekonstruálhatóvá válik a készítés menete, valamint észrevehetjük a szabad szemmel nem látható hibákat és azok javítási kísérleteit. A legérdekesebb megfigyelések viszont az edények tartalmából származtak. Lévén ezek avar kori temető leletei, nem számítottunk az edényekben magokon és ételmellékleteken kívül másra. Röntgenfelvétel nélkül viszont nem vehettük volna észre, hogy az edény betöltésében rétegek különíthetők el. Feltételezhetjük, hogy az alsó rétegben az eredeti tartalmat láthatjuk, míg a fenti részen inkább az utólag behullott földet. Ez a felismerés azért lehet fontos az ilyen edények esetében, mert így pontosabban megmondható, honnan érdemes a paleobotanikai vagy másfajta mintákat kivenni. Elképzelésünket még alá kell támasztanunk mintavételezéssel is, ám mindenképpen javasoljuk a hasonló leletek ilyen korai stádiumban való röntgenzését.

Sajnálatos módon, ha egy urna túlságosan nagy méretű, akkor a röntgengéppel való betekintés nehézségekbe ütközik. Ezzel a problémával a Kajászóról a raktárunkba került bronzkori urnák esetében is találkoztunk. A nagyobb, több edényt és mellékleteket magába foglaló urnák tartalmának megtekintéséhez inkább CT (HIGGINS ET AL. 2020) vagy ipari röntgenberendezés használata javasolt. A kisebb méretű urnák belsejében azonban apróbb csontmaradványokat figyeltünk meg, és az is előre felmérhető volt, hogy fémleleteket nem tartalmazott (2. kép).

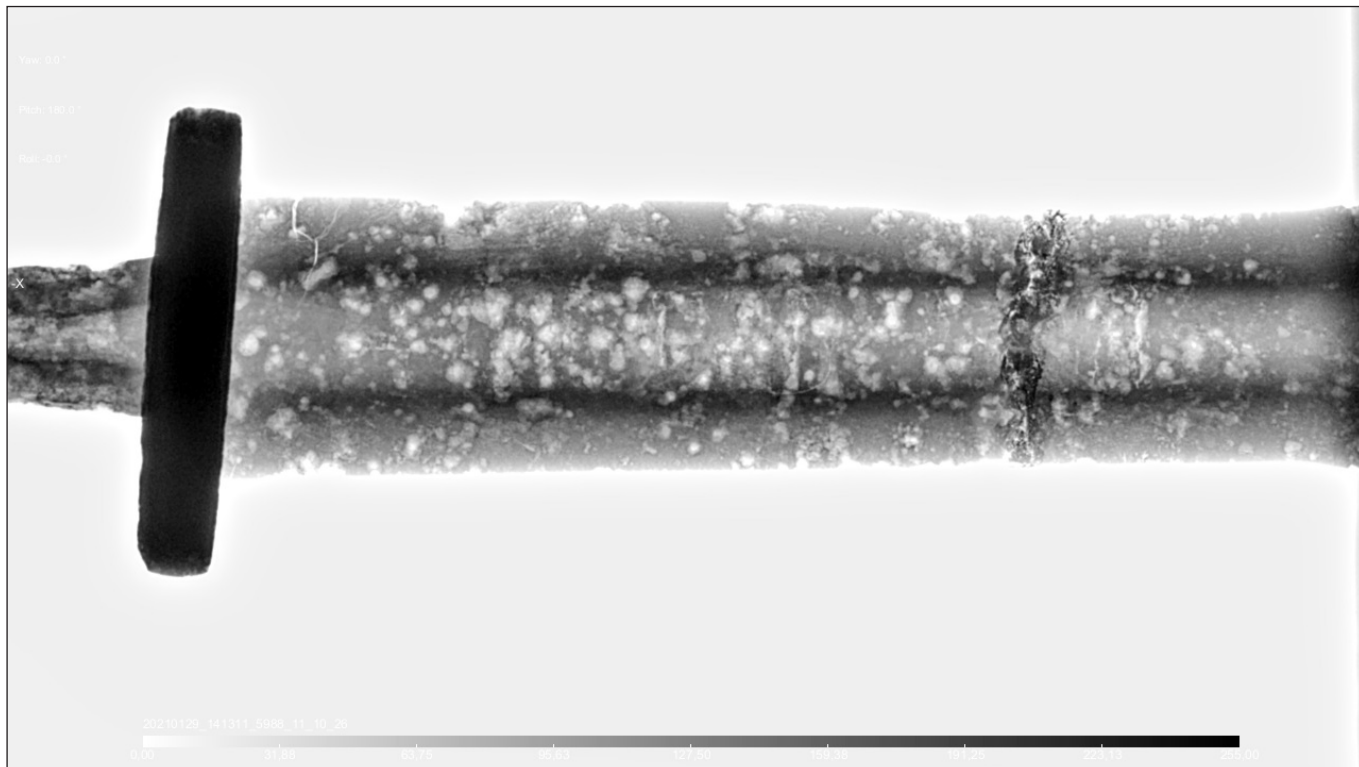
A fém tárgyak esetében az elkészítés módjáról és a szabad szemmel már nem látható díszítésekről tudhatunk meg többet. Ismét a múzeum gyűjteményéből példát hozva, a Székesfehérvár területén előkerült 10–11. századi kardokon készítettünk röntgenfelvételeket, melyek jelenleg még kiértékelés és közlés alatt állnak (3. kép) (ZÁGORHIDI-CZIGÁNY ET AL. 2021).



1. kép. Csákberény-Arató-szerű SNR 04 számú temetkezéséből előkerült, földdel teli edény melléklet röntgenfelvétele



2. kép. Kajászó-Keskeny-dűlőn előkerült, sérült urna röntgenfelvétele



3. kép. Székesfehérvár-Rádiótelep egyik kardjának röntgenképe, melyet a Dragonfly képelemző programmal más színskálára helyeztünk

Csontok és múmiák vizsgálata

Emberi és állati maradványok esetén – ha csak nem mumifikálódott mintáról van szó – a vázrendszer a leggyakoribb vizsgálandó minta, melynek leginkább ásványianyag-tartalma (főleg kalcium és foszfát, hidroxilapatit formájában) rendelkezik jelentős sugárfogó képességgel. A csontszövetben napi szinten zajlik a csontépítősejtek (oszteoblaszt) általi csontépítés, valamint csontfalósejtek (oszteoklaszt) segítségével történő csontlebontás, mely folyamatok között az egészséges csontállományban egyensúly áll fenn. Ha ez az egyensúly valamilyen kóros folyamat vagy a szervezet öregedése miatt megbomlik, annak jele a radiológiai felvételeken is megmutatkozik (FONYÓ 2011; ALLEN & BURR 2014).

Egy adott betegség elvezethet a csont mésztartalmának egyenletes (pl. csonttritkulás esetén) vagy jól körülírt (pl. gyulladások során) megfogyatkozásához, vagy az ásványianyag-tartalom növekedéséhez (pl. jóindulatú csontdaganat, ún. osteoma esetén). Az ásványianyag-tartalom kóros rendezetlensége mellett (pl. osteodysplasia esetén) a csont szerves és szervetlen összetevőinek aránybeli eltolódása is alapelváltozásnak számít, így pl. üvegcsont-betegség során arányaiban kevesebb és rosszabb minőségű a szerves alkotó. A csont szerves állományának elhalása, mint az utolsó említendő alapelváltozás pedig pl. a csont infarktusa esetén figyelhető meg. Ha a megfigyelt alapelváltozásokon túl figyelembe vesszük ezen jelenségek pontos helyét, a csont alakbeli változását, az egyén nemét és életkorát, akkor felállíthatjuk a végső diagnózist, vagy legalábbis nagyon közel kerülhetünk hozzá (FRÁTER 2015).

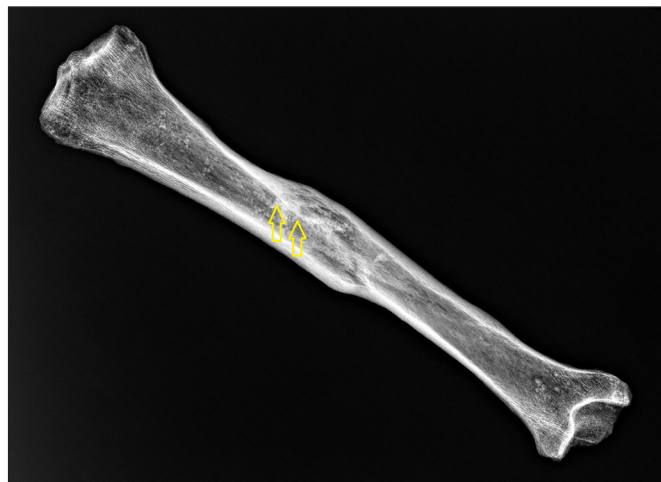
A paleoradiológia kifejezést hazánkban leginkább az antropológiai vizsgálatokkal kötjük össze és sokszor a paleopatológiai elemzések kiegészítéseként használják; ugyanakkor akad példa populációszintű vizsgálódásra is. Hazánkban Bodajk avar kori és 10. századi temetőinek embertani anyagán, valamint Albertírsa, Szentmártoni út és 22. sz. lelőhelyek esetén végzünk hasonló, egész populációt érintő elemzéseket. A nemzetközi publikációk közül Papagrigrakis et al. (2012) munkája kiváló példa erre a megközelítésre. Összesen 240 jelenkori és 141 történelmi korú koponya három irányú röntgenvizsgálatát végezték el. Eredményeik alapján a történelmi korú koponyák körében hét csonttritkulást mutató koponyát azonosítottak, valamint kiemelt céljuk volt az agyalapi mirigyet magába foglaló töröknnyereg alaki sajátosságainak vizsgálata is, hiszen annak formavilága sok háttérben meghúzódó betegség hatására torzulhat. Így

28 olyan koponyán látták e régióknak olyan különféle elváltozásait, melyek vagy anatómiai variációként, vagy különböző betegségek (pl. Down-szindróma, Prader-Willi szindróma, agyhártyadaganat, aneurizma, Rathke tasak ciszta, Wermer-szindróma, agyalapi mirigy daganatai, pajzsmirigy alulműködés vagy egykori koponya alapi törés) indikátoraként lehettek jelen.

A paleopatológiai vizsgálatok egy fájó pontja, hogy a kutatóknak nincs alkalma egy több tíz, több száz vagy néha több ezer síros temető szisztematikus radiológiai vizsgálatára. Ezért rengeteg olyan betegség kerülheti el figyelmünket, mely a csont belsejében jelenik meg. Kehida-Fövényes vizsgálata során több esetben is bevetettünk képalkotó eljárásokat (KISS ET AL. 2019). Egy 30–40 éves, késő avar kori férfi esetében a homlokcsont jóindulatú daganata (osteoid osteoma) radiológiai vizsgálat nélkül egy nem megfigyelt elváltozás lett volna. Hasonlóképp, egy római kori szórvány koponya is meglepő izgalmat rejtegetett számunkra, mely Budapest III. kerületi Bécsi út 102 lelőhelyen, Fodor Fanni ásatásán került feltárásra. Szabad szemmel a falcsont elvékonyodását és a koponya belső felszínének kórosan kifejezett érlenyomatait láttuk. A koponya kissé eltorzult volt, a varratok pedig szinte nyom nélkül el voltak csontosodva. Elképzelhető, hogy a látottak a varratok elcsontosodási zavarának tudhatók be. A koponyáról 3D modell és röntgenfelvétel is készült, utóbbi segítségével érszövet eredetű elváltozásra emlékeztető képletet fedeztünk fel a bal falcsontban, mely a koponyán belüli és kívüli nagyobb vénák összeköttetéséért felelős vénás öböl, az ún. vénás emisszárium fejlődési variációja (4. kép).



4. kép. A bal oldali falcsont belső szerkezetében (diploé) a koponya külső és belső vénáit összekötő vénás emisszárium fejlődési variációja látható



5. kép. Tengelytéréssel és oldalirányú elmozdulással gyógyult sípcsont (diáfízis) törés radiológiai képe. Végigkövethető az eredeti kortikális (tömör csontkéreg) állomány lefutása is

A képalkotó eljárások a már azonosított patológiák (betegség okozta elváltozások) pontosabb leírásában is segítséget nyújtanak; a szintén Kehida-Fövényes lelőhelyen előkerült 20–25 éves nő síp- és szárcapocscsontjának összenövése (tibiofibularis synostosis) kapcsán megállapítható volt, hogy az elváltozás a két csont hosszbeli növekedésének végeztével, a közöttük lévő ízület folyamatos mikrosérülései miatt keletkezett. Egy 45–50 éves férfi lágyrész eredetű, csontba áttéteket adó daganatának pontosabb behatárolása (prosztata tumor) vált lehetővé azáltal, hogy a CT-felvételeknek köszönhetően pontosabb képet kaphattunk az elváltozások pontos helyéről. A röntgenfelvételek gyógyult törések azonosításában is segíthetnek, illetve a szabad szemmel látható csontmegvastagodások okait is megtudhatjuk, azaz hogy vajon csontvelőgyulladás, vagy egy gyógyult törés végett alakult-e ki a látott morfológia (5. kép).

Virtuális röntgenszemünk használata kifejezetten hasznos lehet egy szarkofágban fekvő egyiptomi múmia vagy annak kanópuszedényekben tárolt szerveinek vizsgálatakor. Múmiák esetén a radiológiai felvételek által nem csak a belső szervek, de a lágyrészek fedettségében lévő csontok is áttekinthetők. Ennek előnyét a hazai kutatók is tapasztalhatták több alkalommal a váci múmiák vizsgálata során, ahol a CT-felvételek segítségével többek között a tuberkulózis-fertőzés egyik egyértelmű jelét, a meszes gümős

képletet sikerült azonosítani több elhunyt egyén tüdőszövetében (PAP ET AL. 1999). A közelmúltban a Fejér megyei Ercsi település híres Szapáry-Eötvös kápolnájában nyugvó emberi maradványok vizsgálatai során is nélkülözhetetlenné vált mind a CT-, mind pedig a röntgenelemzések használata⁴, hiszen e technikák nélkül az egyik természetes úton mumifikálódott maradvány életkor-becslése és nem-meghatározása, valamint csontjainak és ízületeinek vizsgálata sem valósulhatott volna meg (6. kép). Az is kimutatható volt, hogy az adultus korú férfi ízületein degeneratív (kóros) eltérés nem látható.

A CT-felvételek nem csak betegségek felfedezésében segítenek, de az életmód-rekonstrukcióban is hasznunkra válhatnak. A hosszúcsontok keresztmetszetének geometriájából felmérhetjük, hogy az adott egyén/közösség mennyire élt fizikailag aktív életmódot (JURMAIN ET AL. 2011).

Bizonyos esetekben a differenciáldiagnózis⁵ kedvéért szövettani metszetek készítése szükséges a régészeti korú maradványokból. Így sejtes szinten láthatjuk a csontszövetben lezajló patológiás folyamatokat. Ez viszont a minta roncsolásával jár, és az elváltozás 3D-s szerkezetét sem vizsgálhatjuk vele. A mikroCT, ha nem is olyan jó felbontásban, de részben képes kiváltani a paleohisztológiai (történeti szövetmaradványok vizsgálata) elemzéseket. A szövettani elemzésnél gyorsabban, automatizált módon szolgáltat adatot számunkra, ugyanakkor a kollagénrostok rendezettségének megítélésében és az érett, valamint éretlen csontszövet elkülönítésében a polarizációs fénymikroszkópos technika bizonyul továbbra is alkalmasabb módszernek (RÜHLI ET AL. 2007b).



6. kép. Ercsiben előkerült, természetesen mumifikálódott testrész felvétele

ÖSSZEFOGLALÁS

A paleoradiológiai vizsgálatokból származó felvételek nem csak a kutatásokat segítik, de az oktatásban és ismeretterjesztésben is felhasználhatóak. Háromdimenziós modelleket alkothatunk, melyeket akár ki is nyomtathatunk, így hasznosítva őket tantermekben, másolatként a kiállítóterekben, vagy elküldhetjük vizsgálat céljából az Atlanti-óceán túlsópartján dolgozó kollégáinknak, aki a járványhelyzet miatt vagy egyéb okból kifolyólag nem utazhat el hozzánk kutatni vagy személyes megbeszélést folytatni. A paleoradiológiai módszereknek és alkalmazási lehetőségeiknek rendkívül széles palettája tárul szemünk elé a szakirodalmat böngészve. Jelen tanulmányunkban e változatosságnak csupán szűk szeletét mutattuk be a publikált és/vagy saját példáinkon keresztül annak érdekében, hogy érzékeltessük, milyen kulcsszerepe lehet e módszereknek a hazai kutatásokban is. Magyarországon elsősorban a hagyományos röntgen- és a CT-vizsgálatok vannak túlsúlyban a paleoradiológiai vonatkozású munkákban, mely eszközök a kerámiák, fémek, és csontok esetében is korábban nem látott részleteket adnak hozzá múltunk megismeréséhez.

⁴ A CT-felvételekért köszönetet mondunk a Kaposi Mór Oktató Kórház Dr. Baka József Diagnosztikai, Onkoradiológiai, Kutatási és Oktatási Központnak.

⁵ A differenciáldiagnózis a betegségek diagnosztikai érvényű megkülönböztetése a páciens tünetei és a szükséges kiegészítő szakvizsgálatok alapján.

IRODALOM

- Allen, M. R., & Burr, D. B. (2014). Bone modeling and remodeling. In: Burr, D. B. & Allen, M. R. (eds). *Basic and applied bone biology*. Academic Press. Amsterdam, Elsevier, 75–90.
- Beckett, G. R. (2014). Paleoimaging: a review of applications and challenges. *Forensic Science Medicine and Pathology* 10:423–436. <https://doi.org/10.1007/s12024-014-9541-z>
- Berg, I. (2008). Looking through pots: recent advances in ceramics X-radiography. *Journal of Archaeological Science*, 35 (5), 1177–1188. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.08.006>
- Campbell, G. M., & Sophocleous, A. (2014). Quantitative analysis of bone and soft tissue by micro-computed tomography: applications to ex vivo and in vivo studies. *BoneKEY reports*, 3.
- Dunn, P. M. (2001). Wilhelm Conrad Roentgen (1845–1923), the discovery of X-rays and perinatal diagnosis. *Archives of Disease in Childhood – Fetal and Neonatal Edition* 84 (2), 138–139. <https://doi.org/10.1136/fn.84.2.F138>
- Eppenberger, P. E., Cavka, M., Habicht, M. E., Galassi, F. M., & Rühli, F. (2018). Radiological findings in ancient Egyptian canopic jars: comparing three standard clinical imaging modalities (X-rays, CT and MRI). *European radiology experimental* 2 (1), 1–9.
- Fonyó A. (2011). *Orvosi Élettan tankönyve*. Budapest, Medicina Könyvkiadó Zrt. ISBN: 9789632263441
- Fráter, L. (2015). *Radiológia*. Medicina Könyvkiadó Zrt. ISBN: 9789632261317
- Higgins, O. A., Vazzana, A., Scalise, L. M., Riso, F. M., Buti, L., Conti, S. & Benazzi, S. (2020). Comparing traditional and virtual approaches in the micro-excavation and analysis of cremated remains. *Journal of Archaeological Science: Reports* 32, 102396.
- Immel, E. A., DiMeglio, L. A., & Burr, D. B. (2014). In: Burr, D. B. & Allen, M. R. (eds). *Basic and applied bone biology*. Academic Press. Amsterdam, Elsevier, 317–344. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05817-9>
- Immel, A., Le Cabec, A., Bonazzi, M., Herbig, A., Temming, H., J. Schuenemann, V., I. Bos, K., Langbein, F., Harvati, K., Bridault, A., Pion, G., Julien, M-A., Krotova, O., J. Conard, N. C. Münzel, S., G. Drucker D., Viola B., Hublin, J-J., Tafforeau, P. & Krause, J. (2016). Effect of X-ray irradiation on ancient DNA in sub-fossil bones – Guidelines for safe X-ray imaging. *Scientific Reports* 6, 32969. <https://doi.org/10.1038/srep32969>
- Jurmain, R., Cardoso, F.A., Henderson, C., & Villotte, S. (2011). Bioarchaeology's Holy Grail: The reconstruction of activity. In: L. Grauer, A. *A companion to paleopathology*, Oxford, Blackwell Publishing, 531–552.
- Karl, S., Jungblut, D., Mara, H., Wittum, G. & Krömker, S. (2014). Insights into manufacturing techniques of archaeological pottery: Industrial X-ray computed tomography as a tool in the examination of cultural material. In: Martínón-Torres, M. (ed.). *Craft and science: International perspectives on archaeological ceramics*. Doha, 253–261. <https://doi.org/10.5339/uclq.2014.cas.ch27>
- Kiss K., Szeniczey T., Marcsik A., Szvák E., Karlinger K., Mészáros Kis Z., Szabó L., Skláňitz A., Buczkó K., Szőke B. M. & Hajdu T. (2019). Kehida-Fővenyes 8–9. századi népességének történeti embertani vizsgálata. *Anthropológiai Közlemények* 60, 3–25.

Kiss Krisztián – Libor Csilla • Paleoradiológiai vizsgálatok határon innen, határon túl

Koenig, W. (1896). *14 Photographien von Roentgen-Strahlen aufgenommen im Physikalischen Verein zu Frankfurt A.M.* Leipzig, Verlag von Johann Ambrosius Bath.

Notman, D. N., Anderson, L., Beattie, O. B. & Amy, R. (1987). Arctic paleoradiology: portable radiographic examination of two frozen sailors from the Franklin expedition (1845–1848). *American Journal of Roentgenology* 149 (2), 347–350. <https://doi.org/10.2214/ajr.149.2.347>

Pálfalvi Zs., Vass B., Balogh I., Nagy Á., Horváth M., Sörös F. Zs. & Czifra Sz. (2021). Lépésről lépésre: késő vaskori sírmellékletek (edény, bronz karperecek és vasfibula) restaurálása, *GLAEBÁ* (1), 154–166. <https://doi.org/10.54098/glaeba.2021.1.6>

Pap I., Józsa L., Repa I., Bajzik G., Lakhani, S. R., Donoghue, H. D. & Spigelman, M. (1999). 18–19th century tuberculosis in naturally mummified individuals (Vác, Hungary). In: Pálfi Gy., Dutour O., Deák J., Hutás I. (eds.). *Tuberculosis: past and present*. Budapest, 421–428.

Papagrigorakis, M. J., Karamesinis, K. G., Daliouris, K. P., Kousoulis, A. A., Synodinos, P. N. & Hatziantoniou, M. D. (2012). Paleopathological findings in radiographs of ancient and modern Greek skulls. *Skeletal Radiology* 41(12), 1605–11. <https://doi.org/10.1007/s00256-012-1432-3>.

Rühli, F. J., von Waldburg, H., Nielles-Vallespin, S., Böni, T. & Speier, P. (2007a). Clinical magnetic resonance imaging of ancient dry human mummies without rehydration. *JAMA* 298 (22), 2618–2620.

Rühli, F. J., Kuhn, G., Evison, R., Müller, R. & Schultz, M. (2007b). Diagnostic value of micro-CT in comparison with histology in the qualitative assessment of historical human skull bone pathologies. *American Journal of Physical Anthropology*, 133(4), 1099–1111.

Vásárhelyi L., Kónya Z., Kukovecz Á. & Vajtai R. (2020). Microcomputed tomography-based characterization of advanced materials: a review. *Materials Today Advances* 8, 100084.

Zágorhidi-Czigány B., Harangi F., Libor Cs. & Barta B. (2021). Tausírozott szerelékű 10–11. századi kardok Székesfehérvár-Rádiótelep lelőhelyről. In: Kulcsár M. & Varga B. Zs. (szerk.). „*Hadak útján.*” *A népvándorlaskor fiatal kutatóinak XXX. konferenciája. Absztraktkötet.* Székesfehérvár, Siklósi Gyula Várostartó Kutatóközpont, 34.

AJÁNLOTT IRODALOM:

Beckett, R. G. & Conlogue, G. J. (2009). *Paleoimaging: Field Applications for Cultural Remains and Artifacts*. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton.

Beckett, R. G. & Conlogue, G. J. (2020). *Advances in Paleoimaging: Applications for Paleoanthropology, Bioarchaeology, Forensics, and Cultural Artifacts*. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton.

Casali, F. (2006): X-ray digital radiography and computed tomography for cultural heritage. *Archeometriai Műhely* 1, 24–28.

Licata, M. & Pinto, A. (2020): Radiology in Archaeology: Fundamentals and perspective – Examination of the Living. In: Lo Re, G., Argo, A., Midiri, M. & Cattaneo, C. (eds.): *Radiology in Forensic Medicine*. New York, Springer, 43–54.

Kiss Krisztián – Libor Csilla • Paleoradiológiai vizsgálatok határon innen, határon túl

Ortner, D. J. (2003): *Identification of a pathological conditions in human skeletal remains*. Academic Press, San Diego.

Uda, M., Demortier, G. & Nakai, I. (2005). *X-rays for Archaeology*. New York, Springer.