



KÉSŐ RÉZKORI TEMETKEZÉSEK RÉGÉSZETI ÉS BIOARCHEOLÓGIAI ELEMZÉSE

ARCHAEOLOGICAL AND BIOARCHAEOLOGICAL STUDIES
ON LATE COPPER AGE BURIALS



késő rézkori
temetkezési rítusok
genetika, antropoló
természettudomá
archeozoológia,
C14-es korhatá
késő rézkori te

Késő rézkori temetkezések
régészeti és bioarcheológiai elemzése

Archaeological and Bioarchaeological Studies
on Late Copper Age Burials

Késő rézkori temetkezések régészeti és bioarcheológiai elemzése

Archaeological and Bioarchaeological Studies on Late Copper Age Burials

Szerkesztő:
Bondár Mária

Közreműködő szerzők:

Bondár Mária, Demény Attila, Farkas Csaba, Gál Erika, Gerber Dániel,
Gugora Ariana, Hegyi István, Horváth Anikó, Jakucs János, Köhler Kitti,
Marton Tibor, Oross Krisztián, Palcsu László, Rácz Piroska,
Somogyi Krisztina, Somogyvári-Lajtár Enikő



HUN-REN
Magyar Kutatási Hálózat



HUN-REN Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet
MTA Kiváló Kutatóhely

Budapest 2023

A kötet megjelenését támogatta:

A Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal K-128413,
A Kárpát-medence késő rézkori temetkezéseinek komplex elemzése és a
MEC K_140620, *Késő rézkori temetkezések a Kárpát-medencében –*
Régészeti és bioarchaeológiai elemzések új eredményei című pályázata



Borító:

Fent: mintavétel a HUN-REN BTK AGI-ban; réz karperec (Balatonlelle-Rádpusztza 415. sír);
kettős temetkezés (Balatonszentgyörgy-Faluvégi-dűlő 2. lh. 774. sír)

Lent: DNS spirál (<https://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-image-dna-molecules-beautiful-background-image34490806>); gagát gyöngy (Balatonlelle-Rádpusztza 415. sír);
a gyöngy mikroszkópos felvétele; gyöngysor (Budakalász-Luppa-csárda 128. sír);
gyermeksír részlete (Balatonlelle-Rádpusztza 415. sír).

Technikai szerkesztő: Vajda Olga
Angol fordítás: Seleanu Magdaléna

ISBN 978-615-5766-64-0

© HUN-REN Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet, 2023

© Archaeolingua Alapítvány, 2023

© Szerzők, 2023

© Grafikusok, fotósok, számítógépes grafika és 3D rekonstrukció készítői, 2023

© Seleanu Magdaléna, 2023

Minden jog fenntartva. Jelen könyvet, illetve annak részeit tilos reprodukálni, adatrögzítő rendszerben tárolni,
bármilyen formában vagy eszközzel – elektronikus úton vagy más módon – közölni a kiadó engedélye nélkül.

2023



ARCHAEOLINGUA

ARCHAEOLINGUA ALAPÍTVÁNY

H-1067 Budapest, Teréz krt. 13.

www.archaeolingua.hu

Felelős kiadó: Jerem Erzsébet

Borítóterv: Kaszta Móni

Tipográfia és nyomdai előkészítés: Kovács Rita

Nyomda: Prime Rate Kft. Budapest

Tartalomjegyzék / Contents

BONDÁR MÁRIA	
Előszó	7
<i>Introduction</i>	10
BONDÁR MÁRIA	
Kutatástörténet – másképp. A reformkortól a bioarcheológiáig	15
<i>Research history with a different perspective. From the Age of Reform to bioarchaeology</i>	44
BONDÁR MÁRIA	
A temetkezések katalógusa	49
<i>Catalogue of burial sites</i>	262
1. Győr-Moson-Sopron vármegye	53
2. Vas vármegye	58
3. Veszprém vármegye	62
4. Zala vármegye	71
5. Komárom-Esztergom vármegye	83
6. Fejér vármegye	99
7. Tolna vármegye	100
8. Baranya vármegye	107
9. Pest vármegye	119
10. Budapest	135
11. Bács-Kiskun vármegye	143
12. Csongrád-Csanád vármegye	148
13. Békés vármegye	156
14. Jász-Nagykun-Szolnok vármegye	157
15. Heves vármegye	158
16. Nógrád vármegye	161
17. Borsod-Abaúj-Zemplén vármegye	162
18. Szabolcs-Szatmár-Bereg vármegye	174
19. Hajdú-Bihar vármegye	179
BONDÁR MÁRIA – SOMOGYI KRISZTINA	
20. Somogy vármegye	181
BONDÁR MÁRIA	
Irodalom / References	269
BONDÁR MÁRIA	
A temetkezési kategóriák és a temetési rítusok látható elemei	303
<i>Burial categories and the archaeologically visible elements of the mortuary rites</i>	330
RÁCZ PIROSKA	
Dunántúli késő rézkori temetkezések embertani vizsgálatának főbb eredményei	339
<i>The main results of the osteoarchaeological study of the Late Copper Age burials of Transdanubia</i>	412

GÁL ERIKA

Dunántúli késő rézkori temetkezésekben talált állatcsontleletek vizsgálatának főbb eredményei	423
<i>Main results of the analyses of animal bones from Late Copper Age burials in Transdanubia</i>	452

MARTON TIBOR

Pattintott kőeszközök késő rézkori temetkezésekben	455
<i>The chipped stones from the Late Copper Age burials</i>	478

JAKUCS JÁNOS

Az alkalmazott mintavételi stratégia elméleti megfontolásai és gyakorlati kivitelezése	481
<i>Theoretical and practical considerations of the employed sampling strategy</i>	490

OROSS KRISZTIÁN – JAKUCS JÁNOS – SOMOGYI KRISZTINA –
RÁCZ PIROSKA – KÖHLER KITTI – BONDÁR MÁRIA

A Baden-komplexum síregyütteseinek abszolút kormeghatározása a Kárpát-medence nyugati területein	493
<i>The absolute chronological dating of the funerary contexts of the Baden complex in the western Carpathian Basin</i>	554

GERBER DÁNIEL

Az archeogenomikai vizsgálatok múltja, jelene és jövője Magyarországon	557
<i>Archaeogenomic studies in Hungary. Past, present and future</i>	589

DEMÉNY ATTILA – GUGORA ARIANA – SOMOGYVÁRI-LAJTÁR ENIKŐ –
FARKAS CSABA – HEGYI ISTVÁN – PALCSU LÁSZLÓ – HORVÁTH ANIKÓ

Rézkori temetők csontvázleleteinek stabilizotóp-geokémiai elemzése	591
<i>Stable isotope analyses of Late Copper Age burials</i>	610

BONDÁR MÁRIA

Epilógus. A késő rézkori temetkezések elemzésének fontosabb eredményei, tanulságai és jövője	613
<i>Epilogue. The most important insights drawn from the study of Late Copper Age burials and potential directions for future studies</i>	624

A kötet szerzői / List of Contributors	631
--	-----

RÉZKORI TEMETŐK CSONTVÁZLELETEINEK STABILIZOTÓP-GEOKÉMIAI ELEMZÉSE

DEMÉNY ATTILA – GUGORA ARIANA – SOMOGYVÁRI-LAJTÁR ENIKŐ –
FARKAS CSABA – HEGYI ISTVÁN – PALCSU LÁSZLÓ – HORVÁTH ANIKÓ

Bevezetés, a stabilizotóp-geokémia alapjai

A klasszikus stabilizotóp-geokémia öt könnyű elem, a hidrogén, a szén, a nitrogén, az oxigén és a kén stabilis (radioaktív bomlást nem mutató) izotópjainak elemzésén alapul (pl. Sharp, 2017). Ezen elemek kiválasztása főként a hasonló mérés technikára épül, mivel klasszikus módon tömegspektrométerrel határozzuk meg a mintákból létrehozott gázokban az izotóparányokat. A vizsgált izotóparányok: $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$, $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ és $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$. A jelen munkában ezek közül csak a szén, a nitrogén és az oxigén izotóparányaival fogunk foglalkozni. Ez a három elem kibővül a stroncium izotópgeokémiájával. Ugyan a mérés technika eltér a könnyű elemek elemzésétől, a vizsgált ^{87}Sr és ^{86}Sr izotópok nem radioaktívak, így az összefoglaló „stabilizotóp-geokémia” tárgykörébe tartoznak.

Az NKFIH K-128413 sz. projektben szereplő késő rézkori temetkezések csontvázanyagát három fő stabilizotóp-geokémiai szempontból vizsgáltuk: a csontokban és fogakban levő stroncium $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arányának meghatározásával a mobilitásra utaló jeleket kutattuk, a csontok és fogak karbonáttartalmának szén- és oxigénizotópos elemzésével mind a táplálkozásra, mind a mobilitásra utaló információkat nyertük ki, valamint a csontokban és fogakban levő kollagén szén- és nitrogénizotópos elemzésével a táplálkozást, ezen belül is leginkább az állati fehérjebevitel mértékét határoztuk meg. A továbbiakban az egyes elemek izotópjainak tárgyalásakor az egyszerűség kedvéért elhagyjuk a „stabilis” jelzőt, mivel a jelen tanulmányban radioaktív izotópokkal nem foglalkozunk. A szén-, nitrogén- és oxigénizotóp-összetételeket $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ és $\delta^{18}\text{O}$ jelöléssel is megadhatjuk (a δ értékek jelentését ld. a módszertani leírásban).

A stronciumizotóp-geokémia alkalmazása

Az izotópgeokémia területéről a régészeti alkalmazásokban a leggyakoribb és talán legismertebb a stronciumizotóp-arányok vizsgálata. A vizsgált izotópok közül a ^{86}Sr nem radiogén, hanem a nukleosintézis során jött létre a Föld képződését megelőzően. A ^{87}Sr izotóp ezzel szemben radiogén, a $4,88 \cdot 10^{10}$ év felezési idejű ^{87}Rb bomlásából jött létre. A különböző kőzetek, és így a rajtuk keletkező talajok $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ aránya függ a kőzet Rb és Sr koncentrációjától, valamint a kőzet korától. A frissen a Föld köpenyéből a felszínre ömlött bazaltos láva $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ aránya 0,7 körüli, míg az idős kontinentális kéreganyag elérheti a 0,75-ös arányt is. Magyarország területén köpenyeredetű bazaltok (pl. a Balaton-felvidéken) és idős kéregkőzetek is vannak, amelyek $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arányai kb. 0,703-tól kb. 0,712-ig terjednek. A kőzeteken létrejött talajok, az ezeken a területeken élő növények, és a növényeket fogyasztó állatok Sr izotópösszetétele ezt a háttér tükörözi, mivel a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arány változás nélkül jelenik meg a kőzettől az állati szervezetig terjedve. Ezt használták fel Depaermentier et al. (2020) és Depaermentier et al. (2021) tanulmányai, akik több mint 50 neolitikus régészeti lelőhelyről származó emberi- és állati csontvázanyagokat elemeztek a Sr izotópos háttér megállapítására. Az adataik kb. 0,7085-től csaknem 0,714-ig terjednek, függően az adott helyszín geológiai felépítésétől. Egy adott vizsgált egyén $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arányának jelentős eltérése a lelőhelyre jellemző háttérértéktől mobilitásra utalhat. Ugyanakkor a



helyszíntől függetlenül a hasonló kőzeteknek hasonló lesz a Sr izotópösszetétele, így a vizsgálat egy adott helyszín azonosítására kevésbé alkalmas. Egy adott helyszínre jellemzőbb adatot ad több módszer kombinálása, mint például a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ arány és a jelen tanulmány tárgyát is képező oxigénizotóp-összetétel együttes vizsgálata (pl. Gerling et al., 2012; Depaermentier et al., 2020). Az oxigénizotópok geokémiájáról a következő alfejezetben lesz szó.

A bioapatit stabilizotóp-geokémiája

A csontok és fogak anyagának fő alkotóelemei a karbonáttartalmú hidroxapatit [$\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, az OH^- gyökök helyén CO_3^{2-} ionokkal], a kollagén és a H_2O . Ez a három alkotóelem kb. 45-33-22% megoszlásban van jelen a csontokban és a fogak dentinjében, míg a fogzománc gyakorlatilag kollagénmentes. A hidroxapatit, illetve a biológiai eredetre utalóan a bioapatit a stabilizotóp-geokémia szempontjából két fontos komponenst tartalmaz, az utólagos átalakulásokkal szemben rendkívül ellenálló, az eredeti oxigénizotóp-összetételt megőrző foszfátot, valamint a karbonátot, amiben mind a szén-, mind az oxigénizotóp-összetétel vizsgálható. Mint azt Demény et al. (2019) és Gugora et al. (2022) hazai régészeti lelőhelyeken végzett vizsgálataiból láthatjuk, a csontok karbonáttartalma érzékeny a talajban lezajló átalakulásokra, míg a fogzománc karbonáttartalma megőrizheti az egyén életében fennálló környezeti viszonyokra jellemző összetételeket.

A hidroxapatit a fogzománc körülbelül 96%-át, míg a dentin 70%-át, és a csontok nagyjából 50%-át alkotja (Smith, 1991). A tafonómiai folyamatokkal szemben a fogzománc a csontnál ellenállóbb anyag. Emellett a fogzománc apatitja a kollagénnél kevésbé degradálódik az eltemetődést követően. A zománc szerkezetét alkotó foszfátkristályok viszonylag nagyok és a köztük lévő rések pedig kicsik (Bentley, 2006).

Tekintettel arra, hogy az emberi szervezet állandó testhőmérsékletű, ezért a vízzel egyensúlyban levő karbonátok oxigénizotóp-összetételét egyébként meghatározó hőmérséklet (ld. McCrea, 1950) nem játszik szerepet, a bioapatit karbonátjának oxigénizotóp-összetétele az egyének által elfogyasztott víz és egyéb táplálék összetételét tükrözi (pl. Daux et al., 2005; Dotsika et al., 2020). A helyi ivóvíz $\delta^{18}\text{O}$ értéke függ a csapadékot adó pára forrásától (pl. Atlanti-óceán, Földközi-tenger, vagy lokális párolgás és újrakicsapódás), az adott hely és a páraforrás hőmérsékletének különbségétől, valamint az olyan másodlagos hatásoktól, mint például a párolgás. Így a csapadék és az ivóvíz $\delta^{18}\text{O}$ értéke helyszínről helyszínre változik, ami a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ aránnyal kombinálva fontos eszközt ad a kutató kezébe a helyszínmeghatározás és mobilitáskutatás céljára.

Mint említettük, a bioapatit foszfáttartalma az eredeti oxigénizotóp-összetételt hatékonyan őrzi meg. Az átalakulatlan fog és csont foszfátjának és karbonáttartalmának $\delta^{18}\text{O}$ értékei összefüggnek egymással, és mindkettőből kiszámítható a foszfáttal vagy karbonáttal egyensúlyban levő víz összetétele (Lecuyer et al., 1999; Daux et al., 2005; Chenery et al., 2012; Iacumin et al., 2022), ami az eredményeket összehasonlíthatóvá teszi (Depaermentier et al., 2020).

A $\delta^{18}\text{O}$ értékekkel szemben, amit az elfogyasztott folyadék, jellemzően az ivóvíz összetétele határoz meg, a bioapatit karbonátjának szénizotóp-összetétele a táplálékkal bevitt szénhidrát $\delta^{13}\text{C}$ értékét tükrözi (Krueger and Sullivan, 1984). A bioapatitok kollagéntartalma ezzel szemben a bevitt fehérje $\delta^{13}\text{C}$ értékét jelzi, így a két komponens együttes vizsgálata a táplálkozás kutatásának fontos eszköze. A szénizotóp-összetétel a fehérje- és szénhidrátbevitel relatív mennyisége mellett a helyi növényzet jellegét és a különböző táplálékok (növények, gyümölcsök, húsfélék, halak, stb.) megoszlását is jelzik, mint azt a következő alfejezetben láthatjuk.

A bioapatitok kollagéntartalmának stabilizotóp-geokémiája

A csontok és a fogak dentinjének szerves alkotórészében található a kollagén. Összetételét tekintve körülbelül 35% szenet és 11-16% nitrogént tartalmaz. A kollagénből mérhető $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{15}\text{N}$ értékek az elfogyasztott növényi- és állati fehérje összetételére utalnak, valamint ugyanezen értékek segítségével lehet azonosítani, hogy milyen mértékben volt jelen a szárazföldi, illetve a tengeri táplálékok aránya az éltrendben (DeNiro, 1987).

A csontok különböző gyorsaságú átépülési folyamatainak köszönhetően a stabilizotóp-geokémiai elemzések lehetőséget adnak egy adott egyén táplálkozási szokásainak megismerésére más és más életszakaszokban. A fogak dentin része elhanyagolható átépülésen megy csak keresztül, így az arra az időszakra szolgál információval, amíg a fog kifejlődik, azaz többnyire a gyerekkori fehérje fogyasztását tükrözi. Ezzel szemben a csontok folyamatosan újrafarmálódnak az élő szervezetekben. A csontokból mérhető stabilizotóp-arányok a halál előtti néhány év életmódját mutatják, szem előtt tartva a csontok típusát és az egyén elhalálzási életkorát (Arneborg et al., 1999; Hedges and Reynard, 2007). A bordákból feltárt kollagén stabilizotóp-arányai nagyjából a halál előtti 3 évről szolgáltatnak információt, míg a hosszú csontok (pl. femur/combsont) hozzávetőlegesen az utolsó 7-10 évről (Arneborg et al., 1999; Hedges and Reynard, 2007). A többpontos mintavételnek köszönhetően (fogak és csontok egyaránt) szinte teljes képet kaphatunk egy egyén táplálkozási szokásait illetően fiatal gyermekkorától kezdve egészen a halálát megelőző időszakig.

A táplálkozási célú izotópgeokémiai kutatások többé-kevésbé abból a jól ismert mondásból indulnak ki, hogy *az vagy, amit megeszel*, tehát az élőlények rögzítik az általuk elfogyasztott táplálék izotóp-geokémiai jellemzőit (Ambrose and Krigbaum, 2003). Emellett a táplálék izotópos jellemzőit nagyban meghatározza annak környezete (Chenery et al., 2010), tehát a táplálkozásra utaló adatok a környezetre is információt nyújtanak. Az emberek (és az állatok) a táplálkozás során elfogyasztott élelemben és vízben található stabilis izotópokat beépítik a különböző szöveteikbe (csont, haj, köröm, légyszövet és fog). A kollagénből mérhető szénizotóp-összetétel a növényi fehérje fogyasztásának hányadát mutatja, az apatit alkotórész $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ aránya a szénhidrát-fogyasztás mértékét jelzi, míg a kollagénből mérhető $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ arányok az állati fehérje fogyasztásra utalnak. Ezekén felül olyan további tényezők is módosítják a mért izotópösszetételeket, mint a táplálkozásban a főzés jelentősége, vagy a földrajzi elhelyezkedés, a környezet stabilizotóp-összetételei jellemzői. Ezen információk segítségével a bioarcheológusok képesek rekonstruálni a táplálkozási szokásokat, a mobilitást, a szoptatás és elválasztás folyamatait, és bizonyos mértékig még a táplálkozási problémákat is.

A szénizotóp-összetételek ($\delta^{13}\text{C}$) segítségével elkülöníthetők az eltérő fotoszintézist folytató, és ezért nagyon különböző $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ arányokkal jellemzett C_3 és C_4 típusú növények, valamint lehetséges a tengeri és a szárazföldi táplálékok (C_3 típusú) szétválasztása is (Ambrose, 1991). A táplálékláncon felfelé haladva az egyes táplálkozási/trofikus szinteken a szénizotóparányokban eltolódás figyelhető meg, például húsevők és mindenevők esetében ez +9‰-es dúsulást jelent (Bocherens and Drucker, 2013).

A legtöbb szárazföldi növény a C_3 típusba sorolható be, ilyen például az árpa (*Hordeum vulgare*), a zab (*Avena*), búza (*Triticum aestivum*), a különböző leveleszöldségek és a hüvelyesek. Ezek a növények általában őshonosok a mérsékelt éghajlati övben, mint például Európában, a Közel-Keleten és Ázsia egyes részein (DeNiro, 1987). A C_4 típusú növények azonban elsősorban a melegebb és szárazabb klímával rendelkező területeken fordulnak elő, mint például Afrika és Ázsia egyes részei. Ide tartoznak többek között a kukorica (*Zea mays*), a köles (pl. *Panicum sp.*) és a cukornád (*Saccharum sp.*) (DeNiro, 1987). Ezek közül a növények közül azonban csak a közönséges/termesztett köles (*Panicum miliaceum*) és az olasz muhar/rókafarkú köles (*Setaria italica/Panicum italicum L.*) fordultak elő Európában

egészen Amerika felfedezéséig. A C_3 típusú növények $\delta^{13}C$ értékei jellemzően -33‰ és -22‰ között helyezkednek el, -27‰-es átlagértékkel. A C_4 típusú növények $\delta^{13}C$ értékeire pedig a -16‰ és -9‰ közötti tartomány, és a -12,5‰-es átlag a jellemző. Az értékekben megfigyelhető eltérések a különböző fotoszintetizálási módra vezethetőek vissza (Calvin-ciklus és Hatch–Slack-útvonal, ld. O’Leary, 1981). Mivel a C_4 típusú növények szinte változatlan $^{13}C/^{12}C$ aránnyal tudják megkötni a légköri CO_2 -t, ezért a szén 13-as izotópjából is többet tartalmaznak, mint a C_3 típusú növények (Papathanasiou, 2003).

Mint azt Richard and Hedges (1998), valamint Papathanasiou (2003) kutatásai mutatták, az emberi csontkollagén $\delta^{13}C$ értékei kizárólag C_3 típusú növények fogyasztása esetén kb. -20‰ körül, míg a tengeri eredetű táplálékokban gazdag étrend eredményeként a kollagén $\delta^{13}C$ értékek -12‰ körül szórnak. Ebben a -12‰-es átlagértékben már benne van az 5‰-es táplálkozási szint-emelkedés is (a tengeri eredetű táplálékok átlagos $\delta^{13}C$ értéke -18‰ körül adódik).

A nitrogén izotópok elsősorban a táplálékláncban elfoglalt táplálkozási szintek meghatározására alkalmasak (Ambrose, 1991; Chenery et al., 2010). A bioarcheológusok a nitrogénizotóp-összetételekkel ($\delta^{15}N$) tudják megállapítani az állati fehérje fogyasztásának mértékét és milyenségét a táplálkozási szokásokban. A táplálékláncon felfelé haladva az elsődleges termelőktől (növények) egészen a fogyasztókig (állatok és emberek) a nitrogén $^{15}N/^{14}N$ izotóparánya folyamatosan emelkedik. Mivel a tengeri tápláléklánc általában hosszabb a szárazföldinél, ezért itt nagyobb fokú ^{15}N -dúsulással kell számolni (DeNiro, 1987). A kontinensek belsejében élő földművelő és állattartó közösségek tagjainak, akik kevés tengerből származó táplálékot fogyasztanak, átlagosan alacsonyabb a $\delta^{15}N$ értéktartománya, mint azoknak, akik a tengerpart közelében telepedtek le és étrendjükben nagyobb arányban szerepelnek az ilyen forrásból származó táplálékok. Richards and Hedges (1998) kutatásai alapján a többségében szárazföldi táplálékot fogyasztók átlagértékei 5-12‰ közé tehetők, míg a tengeri eredetű ételeket fogyasztóké 12-22‰ között mozog. A növényi fehérjeforrást az állattal összehasonlítva látható, hogy az utóbbi magasabb nitrogénizotóp-értékekkel fog rendelkezni, mert az állatok a táplálékláncban magasabb szinten helyezkednek el, mint a növények (Richards and Hedges, 1998).

Gyermekkorú egyének vizsgálata esetén az emelkedett $\delta^{15}N$ értékek az anyatejes táplálás jelei is lehetnek (Dupras and Tocheri, 2007). A szoptatott gyerekek $\delta^{15}N$ tartománya átlagosan 2-3‰-kel magasabb, mint édesanyjuké. Ennek az a magyarázata, hogy a gyerekek helyezkednek el a tápláléklánc legfelső szintjén, magasabban, mint az anyák, hiszen ők anyatejjel táplálkoznak. Ez a jelenség egészen az elválasztásig tart. Azonban más táplálkozási vagy egészségügyi körülményekkel is magyarázhatóak az emelkedett $\delta^{15}N$ értékek (Hedges and Reynard, 2007), valamint patológiás állapottal (Katzenberg and Lovell, 1999; Olsen et al., 2014) és szárazság vagy aszály idején fellépő vízhiánnyal is (Ambrose, 1991). Száraz és félszáraz területeken a környezeti páratartalom változása miatt számolni kell azzal, hogy az ezekre a körülményekre közvetlenül reagáló növények elfogyasztása is emelkedést mutathat a nitrogénizotóp-összetételekben (van Groeningen and van Kessel, 2002; Hartman, 2011). Ahol ezek az éghajlati körülmények nem jellemzőek, ott az adatok értelmezése során ezzel a lehetőséggel természetesen nem kell számolni.

Módszertani kérdések

Az apatit és a kollagén C-N-O stabilizotóp-elemzése a HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont (CsFK) Földtani és Geokémiai Intézetében (FGI), a $^{87}Sr/^{86}Sr$ arányok meghatározása a HUN-REN Atommagkutató Intézetben történt. Az izotópösszetételek meghatározásának módszertana részletesen szerepel Gugora et al. (2022) szabadon elérhető tanulmányában, így itt a módszertani leírásra nem térünk ki.

Minden minta előkészítését és feltárását a HUN-REN CsFK FGI archeozotópos laboratóriumában végeztük el. A csontok és fogak kollagéntartalmából származó eredmények használhatóságának a kritériumai a kinyert kollagén százalékos aránya, a mintában található szén (%C) és nitrogén (%N) tartalom százalékos aránya, valamint ennek a két elemnek az atomszám-aránya (C/N ratio) (ld. a *Függelék 1. táblázatát*). A kinyert kollagén a mintafeltárást követően megmaradt anyag, ami már közvetlenül használható mérésre. Régészeti korú minták esetében a kinyert kollagéntartalomnak minimum 2%-nak kell lennie (Ambrose, 1991; DeNiro, 1985; van Klinken, 1999). Jó megtartású kollagén minta 15,3–47% szenet és 5,5–17,3% nitrogént tartalmaz (Ambrose, 1990), a C/N aránynak pedig 2,9 és 3,6 közötti értéknek kell lennie (DeNiro, 1985). Amennyiben egy minta ezeknek a kritériumoknak megfelel, akkor az eredmény megbízhatónak tekinthető és bevonható a további adatelemzésbe.

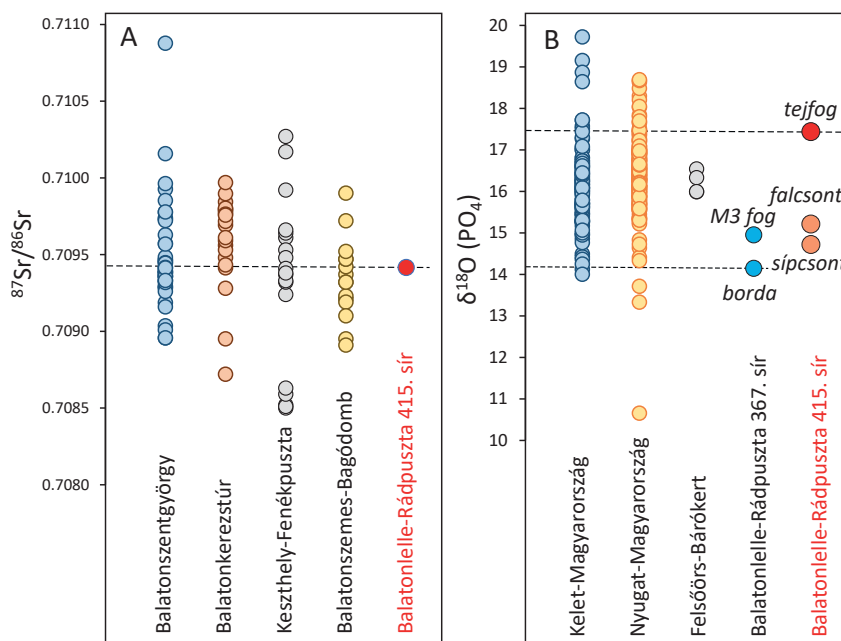
Azokban a laboratóriumokban (CsFK, Scottish Universities Environmental Research Centre [SUERC]) mért kollagén minták esetében, ahol a megtartási jelzőket is feltüntették a mérési értékek mellett, a fentebb említett kritériumoknak megfeleltek az elemzési eredmények. Azonban 6 esetben a kinyert kollagén százalékos aránya 2% alatti volt (a táblázatban pirossal jelölve, *Függelék 1. táblázat*), így ezeket a mintákat nem tudtuk további adatértékelésbe bevonni. A lengyelországi laboratóriumban (Poznań Radiocarbon Laboratory, a táblázatban „Poz” jelöléssel) a mintákat elsősorban radiokarbon datálás céljából elemezték és a $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{15}\text{N}$ értékek mellett nem szerepeltek megtartási (%C, %N, C/N) adatok (a táblázatban kék színnel jelölve, *Függelék 1. táblázat*). Az adatok értékelése során fokozott óvatossággal jártunk el és csak a többi megtartási adattal is rendelkező mérési eredmény függvényében vizsgáltuk azokat. A lengyelországi laboratórium mérési eredményeit a további régészeti szempontú értelmezésbe nem tudtuk bevonni.

Mobilitás és táplálkozás a réz korban

Mit mondanak a stabilis izotópok a balatonlellei gyermekről?

Mint azt a régészeti fejezetekben olvashatjuk, a Balatonlelle-Rádpusztza, Romtemplom mellett (67/5. lh.) lelőhelyen a 415. sírban talált 8-9 éves gyermek csontváza több szempontból is különleges. A gyermek feje mellett további koponyák voltak elhelyezve, amit Bondár and Szécsényi-Nagy (2020) a koponyakultusz bizonyítékaként értelmezett. Emellett több különleges ékszer, mint például rézgyöngy, réz karperec, gagát gyöngy is előkerült a csontvázhhoz kapcsolódóan (Bondár, 2020). A gagát gyöngyről számos vizsgálat készült (Bondár, 2020; Bondár et al., 2021), a kombinált infravörös spektroszkópos és stabilizotópos elemzések arra utaltak, hogy a legvalószínűbb kőzetforrás karbon korú kőszénlelőhely lehetett. Ilyen, ékszerek készítésére használt kőszénlelőhelyek az Ibériai-félszigeten, Dél-Franciaországban, és a németországi Ruhr-vidéken fordulnak elő. Ezzel összhangban levőnek tűnik a gyermek genetikai vizsgálatának eredménye is, ami ibériai és franciaországi genetikai kapcsolatokra utal (Gerber et al., 2022). Mindezek alapján felmerül a kérdés, hogy mennyire volt különleges egyed a szóban forgó „lellei gyermek”, helyben született és nevelkedett, vagy a temetkezési helytől eltérő területről vándorolt be, illetve hogy a sírba helyezés különleges módjából következő jelentőség megnyilvánult-e a táplálkozásában is. Ezekre a kérdésekre a kombinált C-N-O-Sr izotópösszetételek meghatározásával kaphatunk választ.

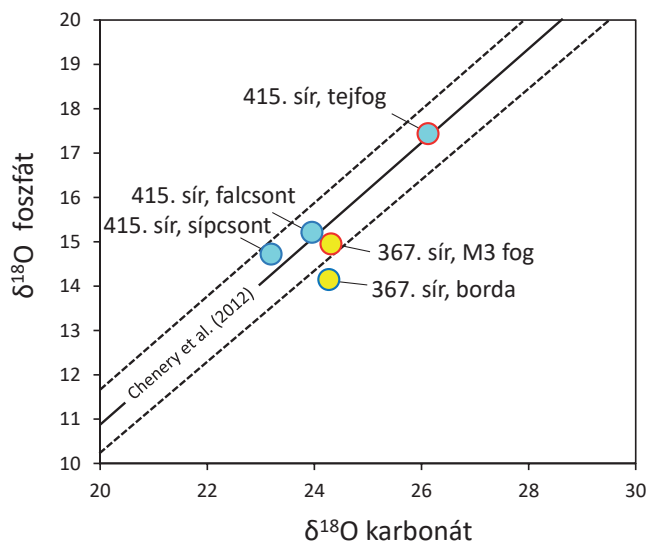
Mint a Bevezetésben láthattuk, a stroncium-izotópösszetétel, a $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotóparány elemzése a leggyakrabban alkalmazott geokémiai eszköz a mobilitás kutatásában, de a $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ arányok meghatározásával kiegészítve még pontosabb eredményekhez juthatunk. Így a Balatonlelle-Rádpusztza lelőhely 415. sírjában talált gyermek csontvázából a megfelelő mennyiségben rendelkezésre álló tejfogból készült Sr izotópösszetételi elemzés, valamint a gyermek jobb alsó őrlő tejfogából, M2



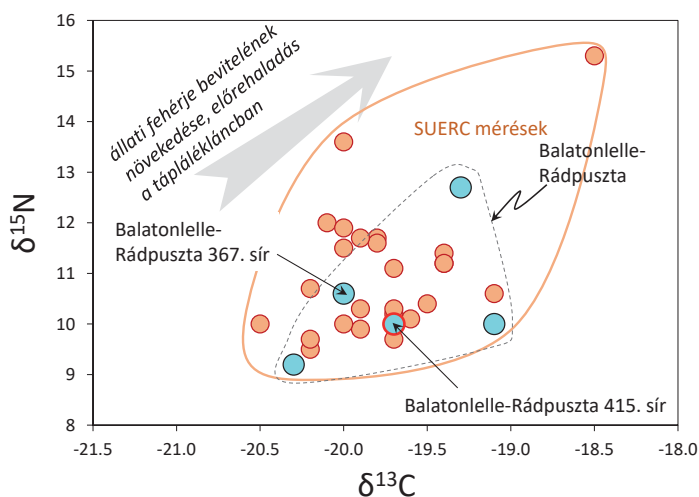
1. ábra: **A:** Stronciumizotóp-összetételek a Balaton környéki lelőhelyeken. Balatonszentgyörgy: jelen projekt. Balatonkeresztúr: Gerber et al. (2022). Keszthely-Fenekpuszta és Balatonszemes-Bagódomb: Depaermentier et al. (2020). Balatonlelle-Rádpusztza 415. sír: jelen tanulmány; **B:** az apatit foszfát-tartalmának stabilizotóp-összetétele ($V\text{-SMOW}$, ‰). A kelet-magyarországi, nyugat-magyarországi és felsőörs-bárókertről Depaermentier et al. (2020) tanulmányából származnak, Balatonlelle-Rádpusztza eredményei a jelen munkában születtek

moláris zománcból, a csípőcsontból (os ilium), a falcsontból (os parietale) és a sípcsonkból (tibia) is elvégeztük a karbonáttartalom szén- és oxigénizotóp-összetételek elemzését. Emellett a közeli 367. sírban talált női csontváz esetében szemfog és M3 moláris zománcból, valamint falcsontból és bordából végeztünk $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{18}\text{O}$ elemzést. Ezeket az elemzéseket kiegészítettük a csontok és fogak apatitjából kinyert foszfát oxigénizotópos elemzésével. Kihasnálva, hogy a Sr izotópösszetételek közvetlenül összehasonlíthatóak a szakirodalmi adatokkal, az 1. A ábrán a „lellel gyermek” adatán kívül a közeli Balatonszemesről és a környező településekről Depaermentier et al. (2020) által kapott eredményeket, valamint a Balatonszentgyörgyről a jelen kutatási projektben kapott adatokat is bemutatjuk. Mint az 1. A ábrán látható, a „lellel gyermek” $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ aránya illeszkedik a területéről kapott adatokhoz, nem jelez semmilyen eltérő kőzet/talajterülettel való kölcsönhatást.

Az 1. B ábrán ábrázoltuk a jelen tanulmányban kapott foszfát $\delta^{18}\text{O}$ adatokat és a Depaermentier et al. (2020) által Magyarország területéről közölt összetételeket. Mind a 367. sír női csontvázából származó, mind a „lellel gyermek” (415. sír) fog és csont $\delta^{18}\text{O}$ adatai átfednek Depaermentier et al. (2020) nyugat-magyarországi adataiból számolt értékekkel. A „lellel gyermek” tejfogának $\delta^{18}\text{O}$ értéke jelentősen magasabb, mint a többi balatonlellel adat. Ez adódhat a tejfog által rögzített szoptatáskori ^{18}O -dúsulásból, de következhet utólagos – bár a foszfát esetében nem valószínű – átalakulásból is. Ennek vizsgálatára összevetettük a fogak és csontok oxigénizotóp-összetételeit. Több más tanulmány mellett Chenery et al. (2012) összefoglaló munkája is kimutatta, hogy a foszfát és a karbonát $\delta^{18}\text{O}$ eredeti, átalakulásmentes értékei között erős korreláció van. A 2. ábra mutatja, hogy mind a „lellel gyermek”, mind a 367. sír női csontvázának anyagai esetében a foszfát és a karbonát értékek megfelelnek a Chenery et al. (2012) által megállapított egyensúlynak, így nemhogy a foszfát, de még a karbonát sem mutatja az



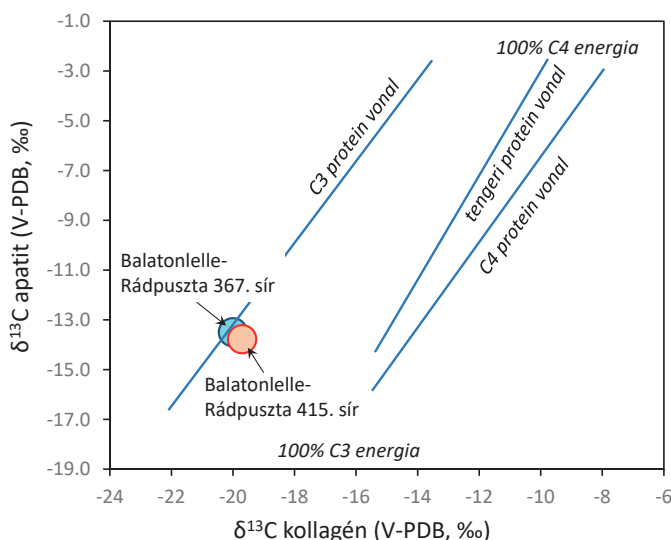
2. ábra: A Balatonlelle-Rádpusza 367. és 415. sírokból származó fogak és csontok stabiloxigénizotóp-összetételei (V-SMOW, ‰)



3. ábra: A csontok és fogak kollagéntartalmának stabilszén- és nitrogénizotóp-összetételei ($\delta^{13}\text{C}$ V-PDB, $\delta^{15}\text{N}$ AIR, ‰)

utólagos átalakulás jeleit, a fogak karbonáttartalma is őrzi az eredeti stabilizotóp-összetételeket. A „lellei gyermek” tejfogának többenél nagyobb $\delta^{18}\text{O}$ értéke valóban leginkább a szoptatásra, tehát táplálkozásbeli eltérésekre vezethető vissza. A „lellei gyermek” csontmintáinak és a 367. sír fog- és csontanyagának $\delta^{18}\text{O}$ -egyezése arra utal, hogy a gyermek a nővel megegyező környezetben élt, a $\delta^{18}\text{O}$ értékek átfednek a Depaermentier et al. (2020) által adott nyugatmagyarországi $\delta^{18}\text{O}$ -tartománnyal (1. ábra B).

A „lellei gyermek” bordacsontjának kollagéntartalmában a szén- és nitrogénizotóp-összetételeket a skóciai SUERC laboratóriumában határozták meg a radiokarbon elemzésekhez kapcsolódóan. Önmagában egy adat ebben az esetben sem hordoz jelentést, össze kell hasonlítani a többi, környezetében levő egyedről kapott eredményekkel. A 3. ábrán az összes, a jelen projektben a humán maradványok



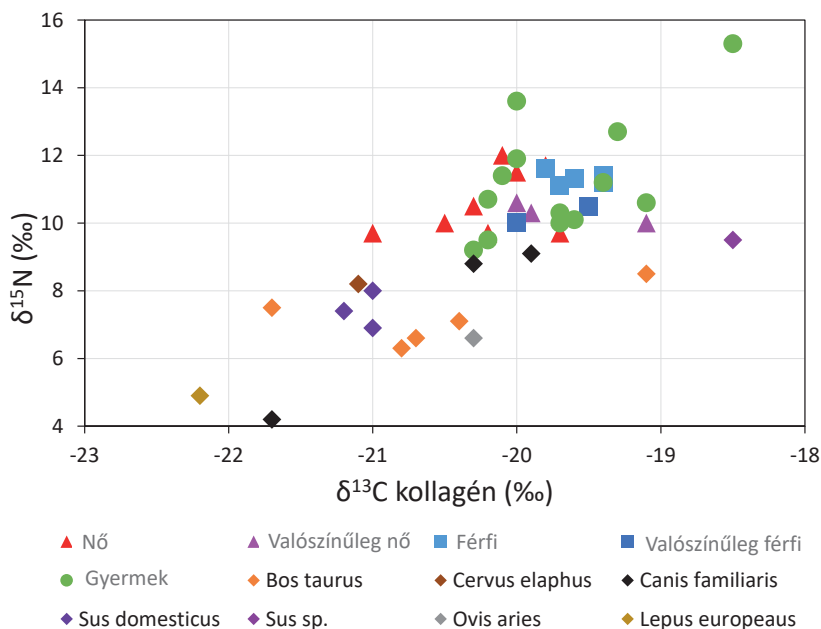
4. ábra: A karbonát és kollagén $\delta^{13}C$ értékeinek (V-PDB, ‰) összefüggése Kellner and Schoeninger (2007) ábráján, valamint a jelen munkában vizsgált Balatonlelle-Rádpusztza 367. és 415. sírok adatai

kollagénjéről kapott $\delta^{15}N$ és $\delta^{13}C$ adatokat ábrázoltuk. Egyes lelőhelyek anyagát a poznaí radiokarbon laboratóriumban, másokat a skóciai SUERC laboratóriumban elemezték. A laboratóriumi módszertani különbségek okozhatnak eltéréseket a mért izotópösszetételekben, így a SUERC adatokat elkülönítve ábrázoltuk. Emellett feltüntettük a fokozott állati fehérjebevitelhez, valamint a táplálékláncban elfoglalt magasabb helyzethez kapcsolódó $\delta^{15}N$ - $\delta^{13}C$ eltolódás irányát is (ld. pl. Gugora et al., 2023 összefoglaló munkáját). A poznaí és SUERC adatok között (Függelék 1. táblázat) észlelhető szisztematikusan tűnő eltérés, de hogy ez az eltérő módszertanból vagy a vizsgált lelőhelyek közötti különbségből adódik, azt itt nem tárgyaljuk. Átfedő, több laboratóriumban vizsgált mintákkal lehet a kérdést eldönteni, amire a következő fejezetben fogunk utalni. Ami viszont a „lellel gyermek” táplálkozásával kapcsolatban szembetűnő, hogy a fehérjebevitel megfelel a többi, ugyanabban a laboratóriumban, ugyanarról a lelőhelyről vizsgált egyed értékeinek, így a „lellel gyermek” táplálkozás tekintetében nem foglalt el kitüntetett helyzetet. A 367. és a 415. sírből kapott karbonát és kollagén $\delta^{13}C$ értékeket a Kellner and Schoeninger (2007) által adott ábrán ábrázolva (4. ábra) látható, hogy az apatitkarbonát által jelzett szénhidrátfogyasztás és a kollagén által mutatott fehérjebevitel relatív mértékében a 367. sírban eltemetett nő és a „lellel gyermek” között ismét nem látható különbség.

A C-N-O-Sr izotópösszetételek együttes értelmezése alapján a legvalószínűbb értelmezés az, hogy a „lellel gyermek” helyben született és nevelkedett, a Kárpát-medencétől eltérő genetikai jellemzőket az ide vándorló felmenők hozták magukkal, és ugyan a temetési rituálé tekintetében kitüntetett társadalmi helyzet feltételezhető, része volt a helyi társadalomnak, ugyanott élt és ugyanúgy táplálkozott, mint a környezetében levő többi ember.

A kollagén $\delta^{13}C$ és $\delta^{15}N$ adatok mint a rézkori táplálkozás indikátorai

A humán eredetű csontkollagén $\delta^{13}C$ értékei (5. ábra és Függelék 1. táblázat) alapján az étrend növényi részét túlnyomó többségben a C_3 típusú növények tették ki, néhány egyed esetében nagyon kismérvű C_4 típusú növény fogyasztásával lehet még számolni. A köles (*P. miliaceum* vagy *Setaria italica*/*P. italicum* L.) megjelenésével és fogyasztásának elterjedésével, amely egy elég vitatott téma, jelenleg a bronzkor



5. ábra: Késő rézkori temetkezések csontkollagén-tartalmának szén- és nitrogénizotóp-összetételei (‰-ben, a $\delta^{13}\text{C}$ értékek a V-PDB, a $\delta^{15}\text{N}$ értékek az AIR sztenderdekhez viszonyítva) nemek és az állatok faja szerint csoportosítva

előttig nem számolhatunk (Gamarra et al., 2018), habár néhány tanulmány (Lightfoot et al., 2013; Motuzaitė-Matuzevičiūtė et al., 2013) feltételezi, hogy a köles valamikor 6000-4400 cal BC között már megjelenhetett a Kárpát-medencében. Az ellentmondások fényében nem jelenthetjük ki egyértelműen, hogy a tanulmányban vizsgált egyének vagy állatok fogyasztottak kölest. Ennek tisztázására további makro- és mikropaleobotanikai vizsgálatok (növényi magvak és fogkőminták elemzése) elvégzésére lenne szükség.

A vizsgált humán csontkollagén $\delta^{15}\text{N}$ értékei (5. ábra és Függelék 1. táblázat) szignifikáns különbségeket mutatnak, azonban nem hasonlíthatók össze teljes mértékben a lelőhelyekről származó alacsony mintaszám és a más hasonló korú adatok hiányában. Ettől függetlenül egyfajta trend megállapítható, mégpedig, hogy a vizsgált egyének étrendjének nagyrésztét a C_3 típusú növények – feltételezhetően gabona – tették ki, kisebb arányú állatifehérje-fogyasztással párosulva (Richards and Hedges, 1998). A tengeri eredetű táplálékok egyértelműen kizárhatóak (Richards and Hedges, 1998), mivel a lelőhelyek távol esnek a tengerektől vagy óceánoktól. Amennyiben édesvízből származó eledellel számolni lehet (hal vagy puhatestűek), az annyira kismértékű lehetett (pl. ínségtáplálék), hogy a csontkollagénből mért stabilizotóp-összetételei értékekből nem lehetséges kimutatni (Boric et al., 2004; Halfmann and Velemínský, 2015). Régészeti adatok alapján a háziállatok közül a szarvasmarha (*Bos taurus*) dominált, ezt követték a kiskérődzők (pl. *Ovis aries*), amit a viszonylag kicsi $\delta^{15}\text{N}$ értékek alá is támasztanak. Az átlagosnál nagyobb nitrogénizotóp-arányokkal rendelkező egyének esetében nagyobb mértékű sertésfogyasztással is lehet számolni, mert ennek jellemzője humán minták esetében az enyhén megnövekedett $\delta^{15}\text{N}$ érték (Bayliss et al., 2004). Két gyermeknél az átlagosnál jóval nagyobb $\delta^{15}\text{N}$ értéket tudtunk megfigyelni. Az első, BAFG02A azonosítójú 1-2 éves gyermek neme nem volt meghatározható, $\delta^{15}\text{N}$ értéke 13,60‰, a második, egy 0,5-1 éves, szintén meghatározhatatlan nemű egyén értéke pedig 15,30‰ volt. Mindkét esetben a minták a halál előtti 7-10 évet reprezentáló femurból és a tibiából származtak. A csontátépülési időket figyelembe véve ezek a $\delta^{15}\text{N}$ értékek vonatkozhatnak

egyszerre az édesanyjukra és a gyermekek magzati korára, valamint a halál előtti 1-2 évkre is. Ezek az értékek azonban túl magasak ahhoz, hogy a gyermekek táplálkozási szokásait és édesanyjuk állati fehérjebevitelét tükrözzék. Valószínűsíthetően ezekben az esetekben inkább valamilyen betegséggel, vagy bizonyos ideig fennálló táplálkozási, szociális, környezeti, stb. stresszel lehet számolni az édesanyák szülés előtti 7-10 évében, a terhesség alatt, valamint a gyerekek rövid élete során. Mivel ezek az értékek csontokból és nem fogból (maradó M1) származnak, a szoptatás, mint magyarázat kizárható.

A vizsgált anyagban a nők felülreprezentáltak, azonban elhalálási életkoruk átlagosan kisebb, mint a férfiaknak. Összességében megállapítható, hogy a nemek tekintetében nincs különbség a táplálkozási szokásokban, különösen az állati fehérjebevitel terén. Néhány lelőhely esetében a férfiak átlagosan magasabb $\delta^{15}\text{N}$ értékkel rendelkeznek, azonban az alacsony mintaszám miatt további következtetés nem vonható le. Emellett a nem felnőtt egyének $\delta^{15}\text{N}$ tartománya is magasabbnak tűnik, mint a felnőtteké, de biztosabb következtetések ebből sem vonhatóak le, mert az eltérés egyik magyarázatául a vizsgált minták túlságosan kis száma is szolgálhat.

Összefoglalás és további kutatási irányok

A jelen tanulmány egyrészt röviden összefoglalja a stabilizotóp-geokémia eszköztárának a mobilitás és a táplálkozás kutatásában történő alkalmazását, másrészt esettanulmányokat mutatunk be az NKFIH K-128413 sz. projekt keretében végzett vizsgálatokból. A balatonlellel temető 415. sírjában talált gyermek származásának meghatározására a csontvázelemek apatitján kombinált stroncium-, szén-, és oxigénizotóp-összetételi méréseket végeztünk. A szeparált apatitok $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ aránya, valamint a kinyert foszfát $\delta^{18}\text{O}$ értékei alapján a gyermek helyben született és nevelkedett. A csontminták kollagénjének szén- és nitrogénizotóp-összetételi elemzésével a gyermek táplálkozására nyertünk információt. A csontminták kollagénjének és apatitjának kombinált szén- és nitrogénizotóp-összetételi elemzése alapján a gyermek táplálkozása nem különbözött a környezetében levőktől, így összességében ugyan a sírmellékletei kiemelt jelentőséget mutatnak, minden szempontból hasonlít a többi vizsgált egyénhez. A projektben vizsgált temetők csontanyagából kivont kollagénből készült szén- és nitrogénizotóp-összetételi mérések arra utalnak, hogy a vizsgált populáció táplálkozásában dominált a szokásos szárazföldi (C_3 típusú) növények fogyasztása. A C_4 típusú növények fogyasztása, mint pl. a korai bronzkorban még vitatott kölesfogyasztás alárendelt volt, ha egyáltalán fogyasztottak ilyen típusú növényeket. Az egyébként C_4 típusú növények fogyasztására utaló, egyesek esetében megfigyelt, a többieknél nagyobb $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ arány az átlagosnál nagyobb $\delta^{13}\text{C}$ értékű C_3 növény fogyasztására is utalhat, erre vonatkozó bizonyítékokat paleobotanikai elemzésekből kaphatunk.

A jelen tanulmány nem tekinthető véglegesen lezárható munkának, viszont hasznos eredményeket hozott a további kutatás megtervezésével kapcsolatban. Az adatok alapján kijelenthető, hogy a stronciumizotóp-arányok elemzését ki kell egészíteni a fogzománcok és csontok foszfát tartalmának $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ arányának meghatározásával. Fontos szempont, hogy a kutatás megtervezésekor a stabilizotóp-geokémia eszközeinek kombinált alkalmazása és az ennek megfelelő, az eltérő tulajdonságú csontvázelemeket (pl. M2 fog, borda, combcsont) is tartalmazó, konzisztens adatokat szolgáltatató mintavétel történjen meg. További fejlesztési irány az archeobotanikai vizsgálatok bevonása a kutatási munkába. Az egyes laboratóriumok módszertani különbségei az adatok eltéréséhez és a limitált felhasználhatósághoz vezethetnek. A jelen tanulmány is rávilágít arra, hogy fontos az egyes mintatípusok (különböző fogak, csontok, nemek, helyszínek, stb.) statisztikai mértékű mintavételezése, ami természetesen csak megfelelő mértékű finanszírozás mellett valósítható meg.

Irodalom

- Ambrose, S.H. (1990). Preparation and characterization of bone and tooth collagen for isotopic analysis. *Journal of Archaeological Science*, 17(4), 431–451.
[https://doi.org/10.1016/0305-4403\(90\)90007-R](https://doi.org/10.1016/0305-4403(90)90007-R)
- Ambrose, S.H. (1991). Effects of diet, climate and physiology on nitrogen isotope abundances in terrestrial food. *Journal of Archaeological Science*, 18(3), 293–317.
[https://doi.org/10.1016/0305-4403\(91\)90067-Y](https://doi.org/10.1016/0305-4403(91)90067-Y)
- Ambrose, S.H., Krigbaum, J. (2003). Bone chemistry and bioarchaeology. *Journal of Anthropology and Archaeology*, 22(3), 193–199.
[https://doi.org/10.1016/S0278-4165\(03\)00033-3](https://doi.org/10.1016/S0278-4165(03)00033-3)
- Arneborg, J., Heinemeier, J., Lynnerup, N., Nielsen, H.L., Rud, N., Sveinbjörnsdóttir, Á.E. (1999). Change of diet in Greenland Vikings determined from stable carbon isotope analysis and ¹⁴C dating of their bones. *Radiocarbon*, 41(2), 157–168.
<https://doi.org/10.1017/S0033822200019512>
- Bayliss, A., Shepherd Popescu, E., Beavan-Athfield, N., Bronk Ramsey, C., Cook, G.T., Locker, A. (2004). The potential significance of dietary offsets for the interpretation of radiocarbon dates. An archaeologically significant example from Medieval Norwich. *Journal of Archaeological Science*, 31(5), 563–575.
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2003.10.004>
- Bentley, R.A. (2006). Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton. A review. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 13(3), 135–187.
<https://doi.org/10.1007/s10816-006-9009-x>
- Bocherens, H., Drucker, D.G. (2013). Carbonate stable isotopes. Terrestrial teeth and bones. In: *Encyclopedia of Quaternary Science*. Eds.: Elias, S.A., Mock, C.J. 2nd edition. Amsterdam: Elsevier, 304–314.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53643-3.00341-1>
- Bondár M. (2020). Késő rézkori különleges temetkezések Balatonlelléről (Somogy megye). *A Kaposvári Rippl-Rónai Múzeum Közleményei*, 7, 89–108.
<https://doi.org/10.26080/krrmkozl.2020.7.89>
- Bondár, M., Szécsényi-Nagy, A. (2020). Skull cult in the Late Copper Age. *Ziridava. Studia Archaeologica*, 34, 91–104.
- Bondár M., Demény A., Németh P., Karlik M., Fintor K., Tóth M. (2021). Különleges „gagát” gyöngy egy különleges késő rézkori sírból. *Archeometriai Műhely*, 18, 143–155.
<https://doi.org/10.55023/issn.1786-271X.2021-012>
- Borić, D., Grupe, G., Peters, J., Mikić, Ž. (2004). Is the Mesolithic–Neolithic subsistence dichotomy real? New stable isotope evidence from the Danube Gorges. *European Journal of Archaeology*, 7(3), 221–248.
<https://doi.org/10.1177/1461957104056500>
- Chenery, C., Müldner, G., Evans, J., Eckardt, H., Lewis, M. (2010). Strontium and stable isotope evidence for diet and mobility in Roman Gloucester, UK. *Journal of Archaeological Science* 37(1) 150–163.
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.09.025>

- Chenery, C.A., Pashley, V., Lamb, A.L., Sloane, H.J., Evans, J.A. (2012). The oxygen isotope relationship between the phosphate and structural carbonate fractions of human bioapatite. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 26(3), 309–319.
<https://doi.org/10.1002/rcm.5331>
- Daux, V., Lécuyer, C., Adam, F., Martineau, F., Vimeux, F. (2005). Oxygen isotope composition of human teeth and the record of climate changes in France (Lorraine) during the last 1700 years. *Climatic Change*, 70, 445–464.
<https://doi.org/10.1007/s10584-005-5385-6>
- Demény, A., Gugora, A.D., Kesjár, D., Lécuyer, C., Fourel, F. (2019). Stable isotope analyses of the carbonate component of bones and teeth. The need for method standardization. *Journal of Archaeological Science*, 109, 104979.
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.104979>
- DeNiro, M.J. (1985). Postmortem preservation and alteration of *in vivo* bone collagen isotope ratios in relation to paleodietary reconstruction. *Nature*, 317(6040), 806–809.
<https://doi.org/10.1038/317806a0>
- DeNiro, M.J. (1987). Stable isotopy and archaeology. *American Scientist*, 75(2), 182–191.
- Depaermentier, M.L.C., Kempf, M., Bánffy, E., Alt, K.W. (2020). Tracing mobility patterns through the 6th–5th millennia BC in the Carpathian Basin with strontium and oxygen stable isotope analyses. *Plos One*, 15, e0242745.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242745>
- Depaermentier, M.L.C., Kempf, M., Bánffy, E., Alt, K.W. (2021). Modelling a scale-based strontium isotope baseline for Hungary. *Journal of Archaeological Science*, 135, 105489.
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105489>
- Dotsika, E. (2020). Correlation between $\delta^{18}\text{O}_{\text{w}}$ and $\delta^{18}\text{O}_{\text{e}}$ for estimating human mobility and paleomobility patterns. *Scientific Reports*, 10, 15439.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-71683-7>
- Dupras, T.L., Tocheri, M.W. (2007). Reconstructing infant weaning histories at Roman period Kellis, Egypt using stable isotope analysis of dentition. *American Journal of Physical Anthropology*, 134(1), 63–74.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.20639>
- Gamarra, B., Howcroft, R., McCall, A., Dani, J., Hajdú, Zs., Nagy, E.G., D. Szabó, L., Domboróczki, L., Pap, I., Raczky, P., Marcsik, A., K. Zoffmann, Zs., Hajdu, T., Feeney, R.N.M., Pinhasi, R. (2018). 5000 years of dietary variations of Prehistoric farmers in the Great Hungarian Plain. *Plos One* 13(5), e0197214.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197214>
- Gerber, D., Szeifert, B., Székely, O., Egyed, B., Gyuris, B., Giblin, J.I., Horváth, A., Köhler, K., Kulcsár, G., Kustár, Á., Major, I., Molnár, M., Palcsu, L., Szeverényi, V., Fábíán, Sz., Mende, B.G., Bondár, M., Ari, E., Kiss, V., Szécsényi-Nagy, A. (2022). Interdisciplinary analyses of Bronze Age communities from Western Hungary reveal complex population histories. *bioRxiv* preprint.
<https://doi.org/10.1101/2022.02.03.478968>
- Gerling, C., Heyd, V., Pike, A., Bánffy, E., Dani, J., Köhler, K., Kulcsár, G., Kaiser, E., Schier, W. (2012). Identifying kurgan graves in Eastern Hungary. A burial mound in the light of strontium

- and oxygen isotope analysis. In: *Population Dynamics in Prehistory and Early History*. Eds.: Kaiser E., Burger J., Schier W. Berlin: De Gruyter, 165–176.
<https://doi.org/10.1515/9783110266306.165>
- Giblin, J.I. (2009). Strontium isotope analysis of Neolithic and Copper Age populations on the Great Hungarian Plain. *Journal of Archaeological Science*, 36(2), 491–497.
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2008.09.034>
- van Groeningen, J.-W., van Kessel, C. (2002). Salinity-induced patterns of natural abundance carbon-13 and nitrogen-15 in plant and soil. *Soil Science Society of America Journal*, 66(2), 489–498.
<https://doi.org/10.2136/sssaj2002.4890>
- Gugora, A., Demény, A., Fóthi, E., Hováth, A., Palcsu, L., Karlik, M. (2022). Detection of diagenetic alteration, migration, and diet. A combined FTIR and C-N-O-Sr isotope study on 10th century CE cemeteries in Northeastern Hungary. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 14, 58.
<https://doi.org/10.1007/s12520-022-01532-3>
- Gugora, A., Dupras, T.L., Fóthi, E., Demény, A. (2023). A Kenézlő-Fazekaszug I–II temetőben feltárt honfoglalás kori népesség táplálkozási szokásainak rekonstrukciója szén és nitrogén stabilizotóp-arányainak elemzésével. In: *Hadak útján. A népvándorláskor kutatóinak XXIX. konferenciája*. Budapest, 2019. november 15–16. 2. kötet. Szerk.: Jancsik B., Sudár B. *Studia ad archaeologiam Pazmaniensia* 24. 1. Magyar Őstörténeti Kutatócsoport Kiadványok 4. 2. Budapest: Martin Opitz Kiadó, 171–198. In print.
- Halfman, C.M., Velemínský, P. (2015). Stable isotope evidence for diet in early medieval Great Moravia (Czech Republic). *Journal of Archaeological Science. Reports*, 2, 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2014.12.006>
- Hartman, G. (2011). Are elevated $\delta^{15}\text{N}$ values in herbivores in hot and arid environments caused by diet or animal physiology? *Functional Ecology*, 25(1), 122–131.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01782.x>
- Hedges, R.E.M., Reynard, L.M. (2007). Nitrogen isotopes and the trophic level of humans in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 34(8), 1240–1251.
<https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.10.015>
- Iacumin, P., Rossi, M., Selmo, M., Venturelli, G. (2022). Oxygen isotopes in carbonate and phosphate of modern mammal bioapatite. New data and critical revision after about 25 years from the first recognitions. *Minerals*, 12(10), 1204.
<https://doi.org/10.3390/min12101204>
- Katzenberg, M.A., Lovell, N.C. (1999). Stable isotope variation in pathological bone. *International Journal of Osteoarchaeology*, 9(5), 316–324.
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1212\(199909/10\)9:5<316::AID-OA500>3.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1212(199909/10)9:5<316::AID-OA500>3.0.CO;2-D)
- Kellner, C.M., Schoeninger, M.J. (2007). A simple carbon isotope model for reconstructing Prehistoric human diet. *American Journal of Physical Anthropology*, 133(4), 1112–1127.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.20618>
- van Klinken, G.J. (1999). Bone collagen quality indicators for paleodietary and radiocarbon measurements. *Journal of Archaeological Science*, 26(6), 687–695.
<https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0385>

- Krueger, H.W., Sullivan, C.H. (1984). Models for carbon isotope fractionation between diet and bone. In: *Stable Isotopes in Nutrition*. Eds.: Turnlund, J.R., Johnson, P.E. ACS Symposium Series 258. Washington, DC: American Chemical Society, 205–220.
<https://doi.org/10.1021/bk-1984-0258.ch014>
- Lécuyer, C., Grandjean, P., Sheppard, S.M.F. (1999). Oxygen isotope exchange between dissolved phosphate and water at temperatures $\leq 135^{\circ}\text{C}$. Inorganic versus biological fractionations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(6), 855–862.
[https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00096-4](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00096-4)
- Lightfoot, E., Liu, X., Jones, M. (2013). Why move starchy cereals? A review of the isotopic evidence for Prehistoric millet consumption across Eurasia. *World Archaeology*, 45(4), 574–623.
<https://doi.org/10.1080/00438243.2013.852070>
- McCrea, J.M. (1950). On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *The Journal of Chemical Physics*, 18(6), 849–857.
<https://doi.org/10.1063/1.1747785>
- Motuzaitė-Matuzėviciūtė, G., Staff, R.A., Hunt, H.V., Liu, X., Jones, M.K. (2013). The early chronology of broomcorn millet (*Panicum miliaceum*) in Europe. *Antiquity*, 87(338), 1073–1085.
<https://doi.org/10.1017/S0003598X00049875>
- O’Leary, M.H. (1981). Carbon isotope fractionation in plants. *Phytochemistry*, 20(4), 553–567.
[https://doi.org/10.1016/0031-9422\(81\)85134-5](https://doi.org/10.1016/0031-9422(81)85134-5)
- Olsen, K.C., White, C.D., Longstaffe, F.J., von Heyking, K., McGlynn, G., Gruppe, G., Rühli, F.J. (2014). Intraskeletal isotopic compositions ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) of bone collagen: nonpathological and pathological variation. *American Journal of Physical Anthropology*, 153(4), 598–604.
<https://doi.org/10.1002/ajpa.22459>
- Papathanasiou, A. (2003). Stable isotope analysis in Neolithic Greece and possible implications on human health. *International Journal of Osteoarchaeology*, 13(5), 314–324.
<https://doi.org/10.1002/oa.705>
- Richards, M.P., Hedges, R.E.M. (1998). Stable isotope analysis reveals variations in human diet at the Poundbury Camp cemetery site. *Journal of Archaeological Science*, 25(12), 1247–1252.
<https://doi.org/10.1006/jasc.1998.0307>
- Sharp, Z.D. (2017). *Principles of stable isotope geochemistry*. 2nd edition. Online.
<https://doi.org/10.25844/h9q1-0p82>
- Smith, B.H. (1991). Standards of human tooth formation and dental age assessment. In: *Advances in Dental Anthropology*. Eds.: Kelley M.A., Larsen C.S. Wiley: California, 143–168.

Függelék

I. táblázat: A kutatásban szereplő késő rézkori minták csontkollagéntartalmának stabilizotóp-összetételei eredményei és a megtartási értékek. Minden minta esetében feltüntettük a minta eredetét és hogy mely laboratórium végezte a feltárást és mérést. Piros színnel láthatóak a 2% alatti kinyert kollagén százalékok, valamint két színnel azok a mérési eredmények, ahol nem voltak megtartási értékek. A $\delta^{13}\text{C}$ és $\delta^{15}\text{N}$ értékek ‰-ben, a V-PDB, illetve az AIR sztenderekhez viszonyítva szerepelnek

Lelőhely	Objektszám	ID	Kor (év), nem	Csonttípus	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	PC_4 (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Kinyert kollagén (%)	%N	%C	C:N	Labor	Labor ID
Kaposvár-61-es elkerülő út, 1. lh. (61/1)	766	KAE01	20-25, nő	Fibula	-20,40		9,30					Poz	Poz-127076
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	439/1, nyugati fele	KAV01	20-22, nő	Costa	-20,80		8,90					Poz	Poz-127078
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	439/2, keleti fele	KAV02	20-30, nő	Os metacarpale	-21,10		8,80					Poz	Poz-127079
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	679, kemence	KAV11	20-30, nő	Cranium	-21,00	0,00	9,70				3,40	SUERC	SUERC-98449
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	745/1	KAV03	20-30, nő	Costa	-20,20		9,00					Poz	Poz-127080
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	745/2	KAV04	Infans I (0-7)	Calvaria	-20,60		9,70					Poz	Poz-127081
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	745/3	KAV05	Infans II (8-14)	Calvaria	-20,60		9,00					Poz	Poz-127082
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	745/4	KAV06	Infans I (0-7)	Radius	-20,70		8,60					Poz	Poz-127083
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	745/5	KAV07	14-18	Calvaria	-20,70		9,40					Poz	Poz-127084
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	745/6	KAV08	Infans I (0-7)	Calvaria	-20,60		8,70					Poz	Poz-127085
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	745/7	KAV09	25-35, nő	Calvaria	-20,80		9,20					Poz	Poz-127126
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	745/8	KAV10	49-55, nő	Calvaria	-20,60		9,40					Poz	Poz-127127
Tikos-Homokgödörök (M7 S-44. lh.) 2004	B-1476/S-1	TIH01	23+, nő	Tibia	-20,80		9,90					Poz	Poz-127128
Tikos-Homokgödörök (M7 S-44. lh.) 2004	B-1476/S-3	TIH03	0	Tibia	-20,10		9,90					Poz	Poz-127129
Tikos-Homokgödörök (M7 S-44. lh.) 2004	B-1476/S-4	TIH04	0	Femur	-20,20		9,80					Poz	Poz-127130
Fonyód-Vásút-dűlő 2 – Mémőki telep (M7/S-34)	89	FON01	25-35, nő?	Fibula	-19,90	8,20	10,30				3,40	SUERC	SUERC-93325
Balatonszemes-Szemesi-berek (M7 S-13) (1.)	372/1	BASE01	30-40, férfi?	Radius	-20,00	7,40	10,00				3,40	SUERC	SUERC-93326

Leőhely	Objektumszám	ID	Kor (év), nem	Csonttípus	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	PC_4 (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Kinyert kollagén (%)	%N	%C	C:N	Labor	Labor ID
Balatonszemes-Szemesi-berek (M7 S-13) (2.)	372/2	BASE02	20-40, férfi?	Os metacarpale	-19,50	11,10	10,50				3,30	SUERC	SUERC-93327
Balatonszemes-Szemesi-berek (M7 S-13)	434/1 („gyerek”)	BASE03	11-13	Radius	-19,60	10,40	10,10				3,30	SUERC	SUERC-93328
Balatonszemes-Szemesi-berek (M7 S-13)	434/2 („felnöt”)	BASE04	10-12	Radius	-20,20	5,90	9,50				3,30	SUERC	SUERC-93329
Balatonszemes-Szemesi-berek (M7 S-13)	656	BASE05	10-12	Radius	-20,20	5,90	10,70				3,30	SUERC	SUERC-93330
Balatonszemes-Szemesi-berek	441	BASE06		Calvaria	-19,10	14,10	10,00				3,40	SUERC	SUERC-93334
Balatonlelle-Rádpusztia, Temetőajja-dűlő (67/4)	70	BAR01	30-35, nő?	Fibula	-19,1	14,10	10,00				3,40	SUERC	SUERC-93335
Balatonlelle-Rádpusztia, Romtemplom mellett (67/5)	367/1	BAR03	35-45, nő?	Fibula	-20,00	7,40	10,60				3,40	SUERC	SUERC-93337
Balatonlelle-Rádpusztia, Romtemplom mellett (67/5)	415/1	BAR04	8-9	Costa	-19,70	9,60	10,00				3,40	SUERC	SUERC-93338
Balatonlelle-Rádpusztia, Romtemplom mellett (67/5)	415/2	BAR05	3-4	Calvaria	-19,30	12,60	12,70				3,30	SUERC	SUERC-93339
Balatonlelle-Rádpusztia, Romtemplom mellett (67/5)	870. sír	BAR06	7-10	Costa	-20,30	5,20	9,20				3,30	SUERC	SUERC-106966 (GU62138)
Balatonkeresztúr-Rét-dűlő	S-39	BAKR01	35-45, nő	Os parietale	-19,80		9,00					Poz	Poz-127132
Palotabozsok-Szarvas-hegy II (gödör)	OBJ 2/SNR 91	PBO01	0-4	Os parietale	-20,00		12,00					Poz	Poz-127133
Palotabozsok-Szarvas-hegy II (kemence)	OBJ 5/SNR 57	PBO02	35-50, nő	Calvaria	-20,40		9,40					Poz	Poz-127144
Palotabozsok-Szarvas-hegy II (kemence)	OBJ 6/SNR 53	PBO03	6-12	Calvaria	-20,20		9,10					Poz	Poz-127146
Palotabozsok-Szarvas-hegy II (árok)	OBJ 20/SNR 87	PBO04	23-40, nő	Os parietale	-20,40		9,70					Poz	Poz-127147
Palotabozsok-Szarvas-hegy II (gödör)	OBJ 47/SNR 78	PBO05	30-40, férfi	Costa	-20,00		9,60					Poz	Poz-127148
Palotabozsok-Szarvas-hegy II (árok)	OBJ 33/SNR 82	PBO06	25-29	Femur	-20,30		8,90					Poz	Poz-127149
Balatonlelle-Felső-Gamász	7. sír, 472	BAFG01A	40-49, férfi	Fibula	-19,70	9,60	11,10				3,30	SUERC	SUERC-106958 (GU62130)
Balatonlelle-Felső-Gamász	8. sír, 406	BAFG02A	1-2	Femur	-20,00	7,40	13,60				3,30	SUERC	SUERC-106959 (GU62131)
Balatonlelle-Felső-Gamász	16. sír, 405	BAFG05A	20-29, nő	Femur	-20,00	7,40	11,50				3,30	SUERC	SUERC-106960 (GU62134)

Letőhely	Objektszám	ID	Kor (év), nem	Csonttípus	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	PC_4 (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Kinyert kollagén (%)	%N	%C	C:N	Labor	Labor ID
Balatonlelle-Felső-Gamász	21. sír, 291	BAFG06A	40-59, férfi	Femur	-19,40	11,90	11,20				3,30	SUERC	SUERC-106961 (GU62135)
Pécs-Hőerőmű	3. gödör	PEH01	60-70, nő	Os metacarpale	-19,70	9,60	10,20				3,30	SUERC	SUERC-98450
Pécs-Hőerőmű	9. gödör	PEH02	20-30, nő	Pars petrosa	-20,50	3,70	10,00				3,40	SUERC	SUERC-98451
Balatonszentgyörgy-Faluvégi-dűlő 2. lh.	774/1	BAFA01	15-19, nő	Costa	-19,80	8,90	11,70				3,40	SUERC	SUERC-98430
Balatonszentgyörgy-Faluvégi-dűlő 2. lh.	780/1	BAFA02	60+, férfi	Fibula	-19,80	8,90	11,60				3,40	SUERC	SUERC-98431
Balatonszentgyörgy-Faluvégi-dűlő 2. lh.	794	BAFA03	50-59, férfi	Costa	-19,40	11,90	11,40				3,30	SUERC	SUERC-98432
Balatonszentgyörgy-Faluvégi-dűlő 2. lh.	794	BAFA03B	50-59, férfi	Costa	-19,60	10,40	11,30	1,70	11,40	33,40	3,40	CsFK	BAFA03B
Balatonszentgyörgy-Faluvégi-dűlő 2. lh.	1171	BAFA04	8-10	Costa	-19,40	11,90	11,20				3,30	SUERC	SUERC-98433
Balatonszentgyörgy-Faluvégi-dűlő 2. lh.	1196	BAFA05	0,5-1	Tibia	-18,50	18,50	15,30				3,30	SUERC	SUERC-98437
Balatonszentgyörgy-Faluvégi-dűlő 2. lh.	1211	BAFA06	3-5	Femur	-19,90	8,20	11,70				3,30	SUERC	SUERC-98438
Balatonszentgyörgy-Faluvégi-dűlő 2. lh.	1211	BAFA06B	3-5	Femur	-20,10	6,70	11,40	2,00	12,60	36,40	3,40	CsFK	BAFA06B
Balatonszentgyörgy-Faluvégi-dűlő 2. lh.	1223	BAFA07	40-59, nő	Os parietale	-20,10	6,70	12,00				3,40	SUERC	SUERC-98439
Balatonszentgyörgy-Faluvégi-dűlő 2. lh.	807	BAFA11	9-14	Tibia	-20,00	7,40	11,90				3,30	SUERC	SUERC-98443
Balatonszentgyörgy-Faluvégi dűlő 2. lh.	800	BAFA13 (BAID50)	40-49, nő	Pars petrosa	-20,30	5,20	10,50				3,20	SUERC	SUERC-106965 (GU62137)
Veszprém-Jutasi út	470. obj., 10. sír	VEJU01	1-3	Costa	-19,10	14,10	10,60				3,20	SUERC	SUERC-106967 (GU62139)
Sármellék-Száraz eleje	8/1	SAM01	20-29, nő	Costa	-19,70	9,60	9,70				3,30	SUERC	SUERC-106968 (GU62140)
Sármellék-Száraz eleje	8/4	SAM02	6-7	Tibia	-19,70	9,60	10,30				3,30	SUERC	SUERC-106969 (GU62141)
Sármellék-Száraz eleje	81/1	SAM03	20-29, nő	Costa	-20,20	5,90	9,70				3,30	SUERC	SUERC-106970 (GU62142)
				Min:	-21,00	0,00	9,20						
				Max:	-19,10		13,60						
				Átlag:	-19,80		10,60						

Letőhely	Objektumszám	ID	Faj	Csonttípus	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	PC_4 (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Kinyert kollagén (%)	%N	%C	C:N	Labor	Labor ID
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	439, gödör	KAV13	<i>Bos taurus</i>	Os sacrum	-21,10	0,00	7,70				3,40	SUERC	SUERC-98447
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	439, gödör	KAV13B	<i>Bos taurus</i>	Os sacrum	-21,70	0,00	7,50	7,30	14,90	42,00	3,30	CsFK	KAV13B
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	439, gödör	KAV13C	<i>Bos taurus</i>	Humerus	-20,90	0,70	7,60	1,60	13,50	38,30	3,30	CsFK	KAV13C
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	333, gödör	KAV14B	<i>Bos taurus</i>	Humerus	-20,70	2,20	6,60	4,60	13,20	37,70	3,30	CsFK	KAV14B
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	333, gödör	KAV17B	<i>Cervus elaphus</i>	Femur	-21,10	0,00	8,20	4,80	12,90	37,10	3,40	CsFK	KAV17B
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	333, gödör	KAV19B	<i>Canis familiaris</i>	Humerus	-21,70	0,00	4,20	5,10	14,90	42,60	3,30	CsFK	KAV19B
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	679. kemence, 1. váz	KAV12	<i>Sus domesticus</i>	Mandibula	-21,30	0,00	7,60				3,40	SUERC	SUERC-98448
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	679. kemence, 1. váz	KAV12B	<i>Sus domesticus</i>	Mandibula	-21,20	0,00	7,40	4,60	14,30	41,00	3,30	CsFK	KAV12B
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	679. kemence, 1. váz	KAV12C	<i>Sus domesticus</i>	Costa	-21,00	0,00	6,90	2,90	14,50	41,20	3,30	CsFK	KAV12C
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	679. kemence, 1. váz	KAV12D	<i>Sus domesticus</i>	Ulna	-20,90	0,70	7,00	3,80	14,80	42,20	3,30	CsFK	KAV12D
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	745	KAV15B	<i>Bos taurus</i>	Metatarsus	-19,10	14,10	8,50	6,50	14,50	41,20	3,30	CsFK	KAV15B
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	815	KAV16B	<i>Canis familiaris</i>	Radius	-20,30	5,20	8,80	1,10	11,90	33,40	3,30	CsFK	KAV16B
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	815	KAV16C	<i>Canis familiaris</i>	Costa	-20,40	4,40	8,60	0,50	5,50	16,20	3,40	CsFK	KAV16C
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	679. kemence, 2. sertés váz	KAV18B	<i>Sus domesticus</i>	Costa	-21,20	0,00	7,30	1,80	14,80	41,70	3,30	CsFK	KAV18B
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	679. kemence, 2. sertés váz	KAV18C	<i>Sus domesticus</i>	Ulna	-21,20	0,00	7,40	2,90	15,10	42,60	3,30	CsFK	KAV18C
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	333, gödör	KAV20B	<i>Canis familiaris</i>	Mandibula	-19,90	8,20	9,10	3,80	10,20	29,60	3,40	CsFK	KAV20B
Kaposújlak-Várdomb-dűlő (61/29)	439, gödör	KAV21B	<i>Sus sp.</i>	Mandibula	-18,50	18,50	9,50	6,50	14,30	40,90	3,30	CsFK	KAV21B
Pécs-Hőerőmű	9. gödör, 2. váz	PEH03	<i>Bos taurus</i>	Os sacrum	-19,80	8,90	7,00				3,40	SUERC	SUERC-98452

Leíróhely	Objektumszám	ID	Faj	Csonttípus	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	PC_4 (%)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	Kinyert kollagén (%)	%N	%C	C:N	Labor	Labor ID
Pécs-Hőerőmű	9. gödör, 2. váz	PEH03B	<i>Bos taurus</i>	Os sacrum	-20,10	6,70	7,10	5,20	13,80	39,50	3,30	CsFK	PEH03B
Pécs-Hőerőmű	9. gödör, 2. váz	PEH03C	<i>Bos taurus</i>	Humerus	-20,80	1,50	6,30	3,30	14,50	41,50	3,30	CsFK	PEH03C
Pécs-Hőerőmű	9. gödör, 2. váz	PEH03D	<i>Bos taurus</i>	Os occipitale	-20,80	1,50	6,70	3,60	12,20	35,20	3,40	CsFK	PEH03D
Pécs-Hőerőmű	9. gödör, 1. szarvasmarha váz	PEH04B	<i>Bos taurus</i>	Humerus	-20,40	4,40	7,10	4,70	13,40	38,40	3,30	CsFK	PEH04B
Pécs-Hőerőmű	9. gödör, 1. szarvasmarha váz	PEH04C	<i>Bos taurus</i>	Costa	-20,10	6,70	7,10	4,20	13,90	40,30	3,40	CsFK	PEH04C
Pécs-Hőerőmű	9. gödör	PEH05B	<i>Ovis aries</i>	Humerus	-20,30	5,20	6,60	3,30	14,60	41,50	3,30	CsFK	PEH05B
Pécs-Hőerőmű	9. gödör	PEH06B	<i>Lepus europeus</i>	Ulna	-22,20	0,00	4,90	2,00	14,60	41,30	3,30	CsFK	PEH06B
Pécs-Hőerőmű	9. gödör	PEH07B	<i>Sus domesticus</i>	Humerus	-21,00	0,00	8,00	0,70	12,10	34,50	3,30	CsFK	PEH07B
				Min:	-21,70		4,20						
				Max:	-20,70		8,20						
				Átlag:	-21,20		7,10						

Stable isotope analyses of Late Copper Age burials

ATTILA DEMÉNY – ARIANA GUGORA – ENIKŐ SOMOGYVÁRI-LAJTÁR –
CSABA FARKAS – ISTVÁN HEGYI – LÁSZLÓ PALCSU – ANIKÓ HORVÁTH

This study briefly summarizes the application of stable isotope analysis in dietary and mobility research, alongside presenting case studies, as part of the NKFIH-128413 project. The child burial in Grave 415 at Balatonlelle represented an interesting case, for which we used both strontium and oxygen isotope composition measurements from skeletal apatite to determine his/her geographical origin. The apatite $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio and the phosphate $\delta^{18}\text{O}$ values indicated that the child was born and raised locally to the area. We also used carbon and nitrogen isotope composition measurements from skeletal collagen to determine the child's diet. The carbon and nitrogen isotope data from bone apatite and collagen showed that the child's diet did not differ from that of the individuals buried with him/her. Thus, while the child's grave goods may suggest a prominent status, the stable isotope results are similar to the data of the other individuals.

The carbon and nitrogen isotope results from the skeleton bone samples indicated that the studied individuals primarily consumed terrestrial C_3 plants, as expected, with potentially a minimal quantity of C_4 plants, perhaps millet, although the latter's presence in the Carpathian Basin during the Early Bronze Age is still disputed. The C_4 -like $\delta^{13}\text{C}$ values may instead reflect consumption of C_3 plants with $\delta^{13}\text{C}$ values that are higher than average. However, in the absence of palaeobotanical samples, we cannot determine the cause of the C_4 -like $\delta^{13}\text{C}$ data.

While this study yielded interesting and useful results, it raises further questions and research directions. The strontium ratio analyses must be complemented with $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios from enamel and bone phosphate. It is also important that the skeletal samples be collected with stable isotope analysis in mind, involving the sampling the same elements (M2, rib, and femur) from each individual, if possible, as this will ensure consistency. This consistency should also extend to the laboratories from which the stable isotope results are obtained. Different labs use different methods to process skeletal material and measure the stable isotopes, which may lead to discrepancies in the results that limit their usefulness. In the future, increased attention should be paid not merely to sample collection, but also to the careful selection of research sites and individuals (i.e., their sex and age) as well, to ensure that the obtained data are statistically significant. This final point, of course, depends upon funding.

List of illustrations

- Fig. 1. **A:** The strontium isotope ratios for the study sites in the Balaton area. Balatonszentgyörgy: current project. Balatonkeresztúr: Gerber et al. (2022). Keszthely-Fenekpuszta and Balatonszemes-Bagódomb: Depaermentier et al. (2020). Grave 415 from Balatonlelle-Rádpusztá: current study; **B:** The stable oxygen isotope values (V-SMOW, ‰) from apatite phosphate. The data for eastern Hungary, western Hungary and Felsőörs-Bárókert are taken from Depaermentier et al. (2020), while the results for Balatonlelle-Rádpusztá are from the current study
- Fig. 2. The stable oxygen isotope values (V-SMOW, ‰) for the individuals from Graves 367 and 415 of the Balatonlelle-Rádpusztá site, analysed from dental enamel and bone
- Fig. 3. The stable carbon and nitrogen isotope values ($\delta^{13}\text{C}$ V-PDB, $\delta^{15}\text{N}$ AIR, ‰) from bone and dentin collagen

Fig. 4. Comparing the relationship between the carbonate and collagen $\delta^{13}\text{C}$ values (V-PDB, ‰) from this study with those of Kellner and Schoeninger (2007). Also, data for the individuals from Graves 367 and 415 at Balatonlelle-Rádpusztá were obtained in this study

Fig. 5. The bone collagen carbon and nitrogen isotope values (in ‰, with the $\delta^{13}\text{C}$ and the $\delta^{15}\text{N}$ values expressed in V-PDB and AIR, respectively) of human individuals and fauna from the Late Copper Age, with an indication of the sex of the human individuals and the animal species

Table 1. The stable isotope results and preservation markers from the Late Copper Age collagen samples analysed in this study, as well as the skeletal element they came from and the laboratory undertaking the analysis. The insufficient collagen yields are marked in red; the samples for which preservation information is not known are marked in blue

A kötet szerzői / List of Contributors

BONDÁR Mária

HUN-REN Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet
HUN-REN Institute of Archaeology, Research Centre for the Humanities
1097 Budapest, Tóth Kálmán utca 4.
bondar.maria@abtk.hu

DEMÉNY Attila

HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet
HUN-REN Institute for Geological and Geochemical Research,
Research Centre for Astronomy and Earth Sciences
1112 Budapest, Budaörsi út 45.
attila.demeny@csfk.hu

FARKAS Csaba

HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet
HUN-REN Institute for Geological and Geochemical Research,
Research Centre for Astronomy and Earth Sciences
1112 Budapest, Budaörsi út 45.
farkas.csaba@csfk.org

GÁL Erika

HUN-REN Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet
HUN-REN Institute of Archaeology, Research Centre for the Humanities
1097 Budapest, Tóth Kálmán utca 4.
gal.erika@abtk.hu

GERBER Dániel

HUN-REN Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Archeogenomikai Intézet
HUN-REN Institute of Archaeogenomics, Research Centre for the Humanities
1097 Budapest, Tóth Kálmán utca 4.
gerber.daniel@abtk.hu

GUGORA Ariana

HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet
HUN-REN Institute for Geological and Geochemical Research,
Research Centre for Astronomy and Earth Sciences
1112 Budapest, Budaörsi út 45.
ariana.gugora@csfk.org

HEGYI István

HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet
HUN-REN Institute for Geological and Geochemical Research,
Research Centre for Astronomy and Earth Sciences
1112 Budapest, Budaörsi út 45.
hegyi.istvan@csfk.org

HORVÁTH Anikó

HUN-REN Izotópklimatológiai Laboratórium (IKER), Atommagkutató Intézet
HUN-REN Isotope Climatology and Environmental Research Centre, Institute for Nuclear Research
4026 Debrecen, Bem tér 18/C.
horvatha@atomki.hu

JAKUCS János

HUN-REN Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet
HUN-REN Institute of Archaeology, Research Centre for the Humanities
1097 Budapest, Tóth Kálmán utca 4.
jakucs.janos@abtk.hu

KÖHLER Kitti

Magyar Természettudományi Múzeum, Embertani Tár
Department of Anthropology, Hungarian Natural History Museum
1083 Budapest, Ludovika tér 2–6.
kohler.kitti@hnmus.hu

MARTON Tibor

HUN-REN Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet
HUN-REN Institute of Archaeology, Research Centre for the Humanities
1097 Budapest, Tóth Kálmán utca 4.
marton.tibor@abtk.hu

OROSS Krisztián

HUN-REN Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet
HUN-REN Institute of Archaeology, Research Centre for the Humanities
1097 Budapest, Tóth Kálmán utca 4.
oross.krisztian@abtk.hu

PALCSU László

HUN-REN Izotópklimatológiai Laboratórium (IKER), Atommagkutató Intézet
HUN-REN Isotope Climatology and Environmental Research Centre, Institute for Nuclear Research
4026 Debrecen, Bem tér 18/C.
palcsu.laszlo@atomki.hu

RÁCZ Piroska

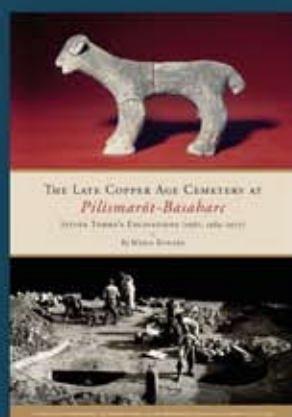
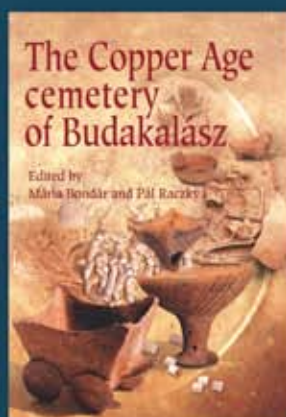
HUN-REN Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Régészeti Intézet
HUN-REN Institute of Archaeology, Research Centre for the Humanities
1097 Budapest, Tóth Kálmán utca 4.
racz.piroska@abtk.hu

SOMOGYI Krisztina

Rippl-Rónai Vármegyei Hatókörű Városi Múzeum
Rippl-Rónai Museum
7400 Kaposvár, Fő u. 101.
lasinja.somogyi@gmail.com

SOMOGYVÁRI-LAJTÁR Enikő

HUN-REN Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont, Földtani és Geokémiai Intézet
HUN-REN Institute for Geological and Geochemical Research,
Research Centre for Astronomy and Earth Sciences
1112 Budapest, Budaörsi út 45.
lajtar.eniko@csfk.org



A Kr. e. 4. évezred temetkezéseinek sokrétű halottkultusza különböző hagyományok, eltérő gyökerű és fejlettségű közösségek széleskörű kapcsolatainak lenyomatát őrzi.

Az önálló nagy temetők közlése után a szerzők azt vizsgálták, mit tudhatunk meg a korszak többi temetkezéséről régészeti, antropológiai, archeozoológiai elemzések látható adatain kívül a csontokból vizsgálható láthatatlan információ forrásból, a bioarcheológia különböző módszereinek segítségével. A nagy mintaszámú radiokarbon kormeghatározás, valamint az archeogenetikai és izotóp-geokémiai elemzések rávilágítanak a késő rézkori emberek egészségi állapotára, fertőzéseire, táplálkozására és kisgyermekkoruk helyszínére is.

A látható és láthatatlan információk együtt jóval gazdagabb képet adnak az egyéni sorsokról és a kisebb közösségek mindennapjairól.

The burials of the fourth millennium BC attest to a rich diversity of elaborate mortuary practices, the imprints of a colourful world of beliefs and of communities with differing traditions and ancestries.

Following up previous work on the period's large cemeteries, this volume explores the period's other burials, looking at both the visible elements of the archaeological record that can be examined using traditional archaeological, osteoarchaeological and zooarchaeological methods, and the invisible information that can be extracted from skeletal remains using the different analytical techniques of bioarchaeology. The large series of radiocarbon dates allow for a more precise dating of the burials, while the archaeogenetic and stable isotope analyses shed light on the health, the diet and the ancestry of Late Copper Age communities. Taken together, the visible and invisible information provide a more detailed picture of individual biographies and the daily lives of smaller communities.